

Biología y Sociedad



Una publicación de la
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Dr. Santos Guzmán López
Rector

Dr. Juan Paura García
Secretario General

QFB. Emilia Edith Vásquez Farías
Secretario Académico

Dr. Celso José Garza Acuña
Secretario de Extensión y Cultura

Lic. Antonio Ramos Revillas
Director de Publicaciones

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

Cuerpo Editorial de Biología y Sociedad

Dr. Jesús Ángel de León González
Editor en Jefe

Dra. María Elena García-Garza
Editor Técnico

Editores adjuntos:

Dr. Juan Gabriel Báez-González
Alimentos

Dr. Sergio I. Salazar-Vallejo
Dra. Evelyn Patricia Ríos-Mendoza
Biología Contemporánea

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

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

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

Jorge Ortega Villegas
Diseñador Gráfico

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

Ing. Jorge Alberto Ibarra Rodríguez
Página web

BIOLOGÍA Y SOCIEDAD, año 4, No. 8, 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, biologyandsociety@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

AVANCES EN EL DESARROLLO DE INGREDIENTES NATURALES BIOACTIVOS CON USO EN COSMETOLOGÍA	4
LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA COMO PROFESIÓN	15
LAS SERPIENTES VENENOSAS DEL NORESTE DE MÉXICO II. CASCABEL DIAMANTADA OCCIDENTAL (CROTALUS ATROX)	28
LOS AGROECOSISTEMAS COMO REFUGIOS DE LA BIODIVERSIDAD: EL CASO DE LOS ANFIBIOS Y REPTILES	37
BIOLOGICAL AND CULTURAL DIVERSITY IN THE STATE OF OAXACA, MEXICO: STRATEGIES FOR CONSERVATION AMONG INDIGENOUS COMMUNITIES	48

BIOLOGÍA Y SOCIEDAD llega al noveno número y ello es muy importante. Reiteramos nuestros más sinceros deseos de que, en el aparente final de esta muy prolongada contingencia sanitaria, todas y todos quienes han contribuido a la publicación de este número, así como a nuestros lectores, se encuentren bien y con salud. En este contexto se resalta la importancia de este nuevo número de esta revista electrónica de divulgación científica, su publicación se lleva a cabo laborando ya casi dos años de manera inédita, por vías remotas o digitales. A pesar de estas inusuales condiciones, el trabajo no se detuvo. Prueba de esto es indudablemente la publicación que en estos momentos Ustedes se encuentran leyendo.

BIOLOGÍA Y SOCIEDAD en este noveno número, por lo expresado en el párrafo anterior, agradece la dedicación y compromiso de todas y todos los autores y coautores de los artículos incluidos aquí, a las y los miembros del Cuerpo y Comité Editorial que de forma puntual y cabal dieron un profesional seguimiento a cada manuscrito. A todas y todos, nuestro más profundo reconocimiento, ya que gracias a su compromiso pudo ver la luz este nuevo número.

En este número se presenta un artículo que versa sobre el papel de los productos naturales en la industria cosmética y dermatológica, es éste, los autores explican como los cosméticos basados en productos naturales han ganado atención debido a la creencia de que son mejores a los sintéticos, cuando no siempre es así. Nos revelan la ciencia detrás de la elaboración de los llamados cosméticos naturales y las diversas pruebas a las que son sometidos.

En otro de los artículos, el autor habla sobre la investigación científica como profesión, nos lleva a recorrer el tránsito de la actividad científica desde tiempos remotos en la edad media y el renacimiento, a pesar de que en sus inicios no era considerada una actividad remunerada por hacerse en bien de la humanidad. Detalla el camino de un investigador desde su formación hasta su consolidación, sus responsabilidades, mecanismos de evaluación, y el esfuerzo en la obtención de una plaza, así como el

financiamiento para el desarrollo de su línea de investigación. Las reflexiones que el autor incluye sobre la problemática del reconocimiento social de la ciencia son de gran importancia.

En otro de los trabajos, los autores realizaron una compilación sobre diferentes aspectos de la biología de la cascabel diamantada occidental (*Crotalus atrox*), realizan una descripción morfológica, su historia taxonómica, hábitat donde se distribuye, su comportamiento, dieta, reproducción, tipo de veneno y estrategias de conservación.

Desde el estado de Guanajuato, los autores de otro trabajo nos explican como los agroecosistemas funcionan como refugio de la biodiversidad, mediante casos de estudio sobre anfibios y reptiles. Sugieren que los agroecosistemas, pueden funcionar a modo de zonas de refugio y alimentación temporal para las especies de anfibios y reptiles tolerantes a la perturbación, o que transitan de zonas perturbadas a aquellas semiconservadas y conservadas.

Por último, nos presentan un trabajo sobre la diversidad biológica y cultural en el estado de Oaxaca, con estrategias de conservación sobre comunidades indígenas. Como estado, es la entidad federativa donde hay una mayor diversidad lingüística y biológica en México. Se resalta el peligro que existe con la apertura del corredor interoceánico, y la posible ingerencia en los esfuerzos de conservación de los pueblos originarios; por lo cual se formula una serie de recomendaciones para el alivio de estos problemas a los pueblos originarios de Oaxaca, para que se les permita continuar con sus esfuerzos de conservación de la biodiversidad nativa y su propia diversidad cultural.

Dada la diversidad de tópicos que incluye en este número, así como su pertinencia, cierto estoy entonces de que este noveno número de BIOLOGÍA Y SOCIEDAD repercutirá de manera significativa en la divulgación de los resultados de la investigación científica y la apropiación social del conocimiento.

 DR. JESÚS ÁNGEL DE LEÓN-GONZÁLEZ
Editor en Jefe

AVANCES EN EL DESARROLLO
DE INGREDIENTES NATURALES
BIOACTIVOS CON USO EN
COSMETOLOGÍA

RESUMEN

Los productos naturales juegan un papel relevante como fuente de ingredientes biológicamente activos con importancia cosmética y dermatológica. En los últimos años, los cosméticos basados en productos naturales han ganado una gran cantidad de atención no solo por parte de los investigadores sino también del público debido a la creencia general de que son mejores a los sintéticos, además de ser inofensivos, lo cual no necesariamente podría ser cierto, por lo que en este artículo se aborda la ciencia detrás de la formulación en los denominados cosméticos naturales, así como una descripción general de los ingredientes activos naturales que se pueden encontrar en ellos. Profundizamos en algunas pruebas: *in vitro*, *in silico* y *ex vivo*, utilizadas para analizar su efectividad como fotoprotectores solares, antienvjecimiento, anti-hiperpigmentación y toxicidad, así mismo se aborda la controversia que genera el uso de pruebas *in vivo*.

ABSTRACT

Natural products play an important role as a source of biologically active ingredients with cosmetic and dermatological importance. In recent years, cosmetics based on natural products have gained a great deal of attention not only from researchers but also from the public due to the general belief that they are better than synthetics, as well as being harmless, thus which probably couldn't be true, which is why this article addresses the science behind the formulation in so-called natural cosmetics, as well as an overview of the natural active ingredients that can be found in them. We delve into some tests: *in vitro*, *in silico* and *ex vivo*, used to analyze their effectiveness as sun photoprotectors, anti-aging, anti-hyperpigmentation and toxicity, as well as the controversy generated using *in vivo* tests.



Palabras clave: Productos naturales, bioensayos, cosméticos, validación.

Keywords: Natural products, bioassays, cosmetics, validation.

INTRODUCCIÓN:

Desde tiempos antiguos el ser humano ha tomado un gran interés en la belleza, dando como resultado el uso de productos para el cuidado de la piel o la higiene. Un ejemplo de esto son los baños en leche agria que Cleopatra hacía con la finalidad de hidratarse la piel, ya que uno de los componentes de la leche agria es el ácido láctico, empleado por su uso en preparaciones cosméticas como sustancia hidratante, iluminadora y antimicrobiana (Algiert-Zielińska et al, 2019). Además, para el cuidado de la piel han surgido muchos otros métodos lo largo del tiempo, dando como resultado la cosmetología, la cual es categorizada como una ciencia, así como un arte que se enfoca en el cuidado y embellecimiento de los caracteres estéticos de la piel sana, haciendo énfasis en la cara (Torres y Torres, 2005).

En la actualidad, un cosmético es definido de acuerdo con la FDA (2021) como un producto destinado a ser aplicado al cuerpo humano para limpiar, embellecer, promover el atractivo o alterar la apariencia. Tanto hombres como mujeres se preocupan por su estética, pero existen ciertas peculiaridades en torno a los productos que seleccionan para su uso. Los consumidores más jóvenes se preocupan por su apariencia externa así que buscan productos para verse mejor, mientras que los consumidores mayores escogen los que mantiene su salud, por lo que tienden a buscar productos antienvjecimiento (Torres y Torres, 2005).

La cosmetología, no solo se trata de perfeccionar el rostro con maquillaje, también abarca el cuidado del cuero cabelludo, limpieza de cutis, hidratación, rejuvenecimiento y ciertos tratamientos de acuerdo con el problema presentado en la piel, de tal manera que se vea saludable. Como afirman Rodríguez *et al.* (2018), Rodríguez-Sancan, (2019) y Mahesh *et al.* (2019) durante los últimos 20 años, la innovación en la industria cosmética fue enorme, resultando en una amplia gama de productos diseñados para proteger e hidratar la piel, así como para combatir la inflamación y las señales de la edad. Esta innovación dio como resultado la llegada al mercado de una gran ola de productos.

Paralelamente a esta explosión en el mercado, se comenzó a ver un fuerte impulso hacia la cosmética “natural”, “orgánica” o “verde” por parte de los consumidores, quienes daban gran importancia a la composición de sus productos, así como a su producción (Aburjai y Natsheh, 2003; Fonseca *et al.*, 2015; Mahesh *et al.*, 2019; Sabater y Mourelle, 2013). Estos nuevos conceptos devolvieron el uso de extractos naturales como ingredientes activos en cosmética a la vanguardia de la industria, y combinaron la reutilización de extractos antiguos como ingredientes activos con nuevas técnicas de extracción y purificación (Rodríguez *et al.* 2018).

Con este nuevo sistema de redacción en el etiquetado, se ha observado una gran confusión en cuanto a su significado. Con esto en mente, Fonseca *et al.* (2005) propone una clasificación más clara, denominando a los productos “verdes” como aquellos que fueron desarrollados o mejorados de acuerdo con estándares ecológicos y para satisfacer las expectativas del cliente, teniendo la misma calidad que el producto normal, pero causando menos daño al medio ambiente durante su ciclo de vida. Es en términos de “cosmética orgánica” y “natural” por ende la terminología se complica, iniciando porque el trabajo de definir un producto natural no es una tarea sencilla, ya que, estrictamente hablando, todo se deriva de la naturaleza. Sin embargo, por productos naturales generalmente se entiende que los productos no están hechos por síntesis química, y deben contener materias primas de origen orgánico (Fonseca *et al.*, 2015; Khan y Aburashed, 2011). Aparte de esto, dependiendo de dónde se comercialice el producto, las regulaciones sobre lo que constituye orgánico o natural cambia. Por ejemplo, en Brasil, la agencia de certificación de estos productos “Instituto Biodinâmico de Certificações”, IBD (2019) los clasificó como: orgánicos (al menos 95% de materias orgánicas certificadas), naturales (al menos 95% de materias primas naturales certificadas o no) y con ingredientes orgánicos u orgánicos crudos (entre el 70-95% de componentes orgánicos o naturales certificados en la formulación).

Además, en Europa se produjo una consolidación para crear un procedimiento estándar, llamado Cosmetics Organic Standard-Cosmos. Según COSMOS-STANDARD (2018), para que un cosmético se considere orgánico, debe tener al menos el 95% de ingredientes producidos orgánicamente. En el caso de la cosmética natural, no es necesario utilizar un nivel mínimo de ingredientes



orgánicos. Y en los EE. UU., el USDA (2008) permite cuatro categorías principales de etiquetado según el porcentaje de ingredientes orgánicos en el producto: "100% orgánico", "orgánico", "elaborado con ingredientes orgánicos" y "menos del 70% orgánico. Profundizando en los componentes naturales de estos cosméticos podemos deducir que, según su origen, tenemos ingredientes cosméticos de alto valor de: algas marinas, animales y plantas (Mahesh *et al.*, 2019).

SUB-APARTADOS TEMÁTICOS:

INGREDIENTES ACTIVOS DE PLANTAS

Se ha dicho que "hay una planta para cada necesidad en cada continente". El uso de plantas es tan antiguo como la humanidad. Alguna vez fueron la fuente principal y la base de todos los cosméticos antes de que se descubrieran métodos para sintetizar sustancias con propiedades similares. Ahora se está produciendo un renacimiento con plantas nuevas y antiguas que se utilizan como ingredientes en productos cosméticos ya sea como "extractos totales" de hierbas o "extractos selectivos". Los extractos totales siendo aplicados principalmente de acuerdo con la tradición histórica de su uso y los extractos selectivos empleándose de acuerdo con una investigación previa de su actividad específica (Aburjai y Natsheh, 2003).



Como resumen de los usos y plantas más comunes, para el tratamiento de la piel seca se ha utilizado: aceite de ricino (*Ricinus communis*), manteca de cacao (*Theobroma cacao*), mango (*Mangifera indica*), aceite de coco (*Cocos nucifera*), aceite de girasol (*Helianthus annuus*) y aceite de oliva (*Olea europaea*). Para el tratamiento del eccema: cúrcuma. (*Curcuma longa* L.). Para acné, manchas y granos: artemisia (*Artemisia vulgaris* y *Artemisia absinthum*), albahaca (*Ocimum sanctum*), guisante (*Pisum sativum*), calabaza (*Cucurbita pepo*) y cebolla (*Allium cepa*). Para el tratamiento antienvjecimiento de la piel: ginseng (ginseng coreano, *Panax ginseng* C.A. Meyer). Para efectos antioxidantes: té (*Camellia sinensis*) y semilla de uva. (*Vitis vinifera*). Para efectos antiinflamatorios: trébol rojo (*Trifolium pretense*), manzanilla (manzanilla alemana *Matricaria recutita* L o manzanilla romana *Anthemis nobilis* Linn.), fenogreco (*Trigonella foenum-graecum*), aceite de jojoba (*Buxus chinensis* o *Simmondsia chinensis*) y regaliz. (*Glycyrrhiza glabra* L.). Para protección de la piel: aloe vera (*Aloe vera* L. Burm. F. o *Aloe barbadensis* Miller.) y avena (*Avena sativa* L.) (Aburjai y Natsheh, 2003; Fonseca *et al.*, 2015; Khan y Abourashed, 2011; Mahesh *et al.*, 2019; Rodrigues *et al.*, 2018).

Para el cuidado del cabello, se puede dividir en:

- Estimulantes del crecimiento del cabello: se descubrió que las proantocianinas extraídas de las semillas de uva promueven la proliferación de las células del folículo piloso *in vitro*. Estudios sugirieron que el extracto de hoja de *Ginkgo biloba* también promueve el crecimiento del cabello. La salvia (*Salvia officinalis* L.) ha sido utilizada como loción para mejorar la condición del cabello.
- Como tratamiento de la caspa: Tradicionalmente, la salvia (*Salvia officinalis* L.) es un antiguo favorito para la caspa, la caída del cabello y el cabello y la piel grasosa. También se ha afirmado que el tomillo (*Thymus vulgaris* L.) inhibe la caspa (Aburjai y Natsheh, 2003).

Todos estos usos se basan en la naturaleza fitoquímica de la planta, su contenido cualitativo, el cual puede ser clasificado dentro del ámbito cosmético en: carbohidratos, resinas y taninos, glucósidos, grasas, aceites y ceras, aceites esenciales y alcaloides (Mahesh *et al.*, 2019), cada uno teniendo propiedades distintas que le confieren usos preferidos o áreas de la piel en donde son mejor utilizados. (1) Carbohidratos: Los productos naturales que contienen carbohidratos se utilizan principalmente en cosmética como emolientes, emulsionantes, suspensores y adhesivos. (2) Resinas y taninos: Las resinas son productos amorfos complejos producidos por plantas con amplia aplicación en la industria cosmética. Los taninos son los metabolitos secundarios de las plantas, utilizados principalmente como astringentes y antisépticos en preparaciones para el cuidado de la piel. Glucósidos: el componente clave responsable de las actividades biológicas de los glucósidos son los azúcares y son principalmente usados como surfactantes. (3) Grasas, aceites y ceras: la naturaleza química de la piel y el sebo promueve la utilidad de grasas, aceites y ceras como productos para

el cuidado de la piel. (4) Aceites Esenciales: Los aceites esenciales son principios aromáticos aislados de las plantas y son usados como fragancias y preservativos, entre otras funciones. Y (5) Alcaloides: Los alcaloides son compuestos nitrogenados de considerable valor medicinal y cosmético que se encuentran en las plantas (Mahesh *et al.*, 2019).

La mayoría de las plantas tienen estos metabolitos en diferentes cantidades y partes de sí mismas, por lo que los investigadores deben tener un conocimiento profundo para desarrollar productos a partir de la planta, sección e incluso de la época adecuada de colecta.



INGREDIENTES ACTIVOS DE ALGAS MARINAS

Aparte de los fitoquímicos terrestres, el mar es un inmenso tesoro de compuestos bioactivos de algas, peces y organismos submarinos. Las macroalgas son las fuentes más ricas en ficocoloides, compuestos con la capacidad de retener cantidades significativas de agua y la capacidad de formar geles; y sus principales características explotadas en la industria cosmética incluyen su capacidad antioxidante, su actividad de potenciador de colágeno, actividad antiinflamatoria, protección solar, absorción de rayos UV, inhibición de la producción de melanina e hidratación. Los dos ficocoloides principales son el agar y el carragenano, que se aíslan de *Gelidium cartilagineum*, *Gracilaria confervoides*, *Chondrus crispus* y *Gigartina mamillata*, estos extractos se utilizan para la fabricación de cremas, lociones corporales, jabones, champús, acondicionadores para el cabello, pastas dentales, desodorantes, cremas de afeitar, perfumes y artículos de maquillaje (Pangestuti y Kim, 2015; Mahesh *et al.*, 2019).

Uno de los ficocoloides de mayor valor en la industria es la alga, que en su mayoría se extrae de *Macrocystis pyrifera*, debe su valor a su uso como agente emulsionante, suspensor, espesante, estabilizante y gelificante en la industria.

INGREDIENTES ACTIVOS DE OTRAS FUENTES NATURALES

La exploración y utilización de productos animales en cosméticos está limitada por barreras éticas, étnicas y religiosas. Por lo tanto, solo unos pocos productos se usan regularmente en productos cosméticos, algunos

de los cuales se revisan aquí. La miel es una secreción dulce y viscosa que contiene principalmente azúcares y se obtiene de las abejas (*Apis mellifera*), se utiliza para tratar granos y labios agrietados. Comercialmente, la miel se usa como ingrediente en formulaciones de lavado de cara, mascarillas, lociones humectantes, exfoliantes y cuidado del cabello. La cera de abejas obtenida de *A. mellifera* se utiliza como base de ungüento y agente endurecedor. Es un componente de cremas frías, desodorantes, depilatorios, cremas para el cabello, acondicionadores para el cabello y cosméticos para los ojos (Bogdanov, 2016; Burlando y Cornara, 2013).

INVESTIGACIÓN EN COSMÉTICOS NATURALES ENSAYOS *IN VITRO*

El objetivo principal de los ensayos *in vitro* que se expondrán en este caso, son de suma importancia para evaluar la seguridad de los productos que se estarán utilizando en la cosmetología y para el propio cuidado personal. Así mismo, estos ensayos son de los recursos más utilizados en este campo ya que, se desarrollan fuera de un organismo vivo, ya sea mediante la implementación y uso de tubos de ensayos, medios de cultivos en ambientes artificiales entre otros (Real Academia Nacional de Medicina de España, 2021).



En este caso, los productos naturales están siendo una revolución en la cosmética, se puede apreciar al observar en las preferencias de las personas. Por lo tanto, los productos verdes podrían ser capaces de reemplazar a los productos que no lo son en el mercado, por lo que se deben validar su efectividad y accesibilidad (Ottman, 1993).

DETERMINACIÓN DE FACTOR DE PROTECCIÓN SOLAR (FPS)

La piel está en constante exposición a la radiación ultravioleta, lo cual trae consigo daños como lo son las quemaduras solares, cáncer de piel y envejecimiento prematuro. Por lo que existen productos de protección solar que se pueden aplicar al cuerpo para prevenir estos daños a la piel, debido a que estos contienen absorbentes o bloqueadores de luz UV. Estos productos son ampliamente comercializados y de

gran importancia para el cuidado personal por lo que deben someterse a pruebas que evalúen su seguridad y determinar las cantidades adecuadas para su uso. El criterio biológico para la determinación del SPF, siglas de la palabra en inglés "Sun Protection Factor" o Factor de Protección Solar (FPS) es el enrojecimiento de la piel, también conocido como eritema. Los métodos *in vitro* utilizados para validar de este tipo de productos son seguros, sencillos, rápidos y económicamente más rentables en comparación a los modelos *in vivo* (Roy *et al.*, 2013).

Uno de los métodos más utilizados es el sugerido por Ashawat y Saraf (2006) y Kaur y Saraf (2011). En donde se exponen 200 $\mu\text{g ml}^{-1}$ de la muestra a analizar a distintas longitudes de onda (290 nm a 320 nm) y se determina la absorbancia/transmitancia de la sustancia, para esto se realizan mediciones en intervalos de 5 nm, utilizando un espectrofotómetro UV-Visible.

El intervalo de tiempo más bajo o la dosis de irradiación de luz UV suficiente para producir un eritema más pequeño y perceptible en la piel sin protección se conoce como EMP. Por esto, la eficacia del protector solar FPS se calcula al dividir una dosis de EMP con protector solar y otra sin protector solar en piel protegida. Por lo tanto, al obtener los resultados, si es más alto el valor de FPS, indica que el producto es más eficaz en la prevención de quemaduras solares (Roy *et al.*, 2013).

DETERMINACIÓN DE LA INHIBICIÓN DE LA ELASTASA

La elastina es material extracelular que forma parte de un tejido y es una de las más abundantes en órganos que aportan elasticidad a los tejidos conectivos. Así mismo, forma fibra elástica en la dermis de la piel, lo que puede dar resultado a un aumento en la elasticidad de la piel. Un daño a estas fibras podría ocasionar debilitamiento en la resistencia de la piel. Por lo que, el tipo de ensayo de inhibición de la elastasa se puede utilizar para determinar el efecto de mantener la elasticidad natural de la piel. (Roy *et al.*, 2013).

Los modelos *in vitro* utilizados para investigar este efecto, se basan en técnicas espectrofotométricas, siendo el sustrato más habitual el sugerido por Abhijit y Manjushree, (2010). Primero se libera este sustrato, el N-Succinil-Ala-Ala-Ala-p nitroanilida por 15 minutos a 25°C y esto se controla midiendo la absorbancia a 410 nm. Además, la muestra de prueba tiene que ser pre-incubada con la enzima durante 20 min a 25°C y la reacción se inicia al añadir el sustrato que se estará utilizando. Al mismo tiempo, se utiliza un buffer como control y los cambios que se presentan se monitorean a 410 nm utilizando un espectrofotómetro UV.

INHIBICIÓN DE LA COLAGENASA

El colágeno es una proteína que compone el 80% de la piel humana, la cual es responsable de aportar elasticidad, flexibilidad y fuerza necesaria para prevenir la degeneración de los tejidos presentes en el cuerpo humano. Por ende, con menos deterioro y más

regeneración, la piel permanece de mejor manera, el cabello se puede fortalecer, se mejora la resistencia en los huesos y en las articulaciones (Schoenfeld, 2018). Por lo anterior, la integridad de esta proteína es fundamental para mantener la apariencia de turgencia y lozanía de la piel, por lo que se han desarrollado ensayos *in vitro* para analizar inhibidores de las enzimas colagenasas, las cuales están involucradas en la degradación del colágeno.

En este tipo de ensayo la colagenasa se inhibe para aumentar la elasticidad de la piel y fuerza extensible (Roy *et al.*, 2013). El ensayo rutinario se basa en métodos espectrofotométricos reportados por Thring *et al.* (2009), con algunas modificaciones para su uso en un lector de microplacas. El ensayo consiste en disolver la colagenasa de *Clostridium histolyticum* a una concentración inicial de 0.8 unidades/mL en un buffer de tricina de 50 mM. Se utiliza como control, el sustrato N-[3-(2-furyl) acryloyl]-Leu-Gly-Pro-Ala (FALGPA). Las muestras (extractos o compuestos) a 25 μg se incuban por 15 minutos y se lee su absorbancia a 335 nm por un lapso de 30 min en un lector de microplacas. Como control positivo se utiliza epigallocatequina.

ENSAYOS *IN SILICO*

Vivimos en un mundo de químicos. Se sabe que existían más de 60 millones de compuestos químicos en 26 de mayo de 2011 (Raunio, 2011). Por lo tanto, aprovechar sus propiedades en diferentes áreas como el desarrollo de medicamentos, la investigación de cosméticos y productos para el cuidado personal es una necesidad. Los productos naturales nos proporcionan una gran ventaja porque, como afirman representan una fuente casi infinita de productos químicos, tienen una diversidad asombrosa y actualmente se cuenta con millones de datos ya conocidos que pueden ser utilizados para extraer conocimiento aplicando métodos *in silico* (Rollinger *et al.*, 2006).

La metodología *in silico*, representa una de las más recientes incorporaciones al cinturón de herramientas de los investigadores en el área de investigación y desarrollo de nuevas terapias. Razón por la cual resulta menos conocida para el público que los métodos *in vitro* e *in vivo*, por lo que a continuación se abordará de manera breve una introducción sobre el uso y fundamento de estas técnicas: *In silico*, es una expresión que se utiliza para referirse a "realizado en computadora o mediante simulación por computadora" (Raunio, 2011). Este enfoque puede reducir drásticamente tanto el tiempo como los costos asociados con la búsqueda de DTI o interacciones fármaco-objetivo. Cabe destacar que la tecnología *in silico* se desarrolló en la industria farmacéutica, pero sus usos han crecido más allá de esta rama y hoy en día son ampliamente utilizadas en el área cosmética.

Hay cinco enfoques computacionales, según lo establecido por Fang *et al.* (2018) para identificar nuevos objetivos de productos naturales: (1) basados en objetivos, (2) basados en ligandos, (3) basados en quimiogenómicos, (4) basados en redes y (5) enfoques de biología de sistemas basados en la "ómica". De

ellos, los dos primeros son los más utilizados en el área cosmética. Cada una de estas estrategias ha desarrollado sus propias técnicas, que se describen a continuación e incluyen algunos ejemplos.

ENFOQUES BASADOS EN OBJETIVOS

También se les conoce como enfoques basados en la estructura de proteínas, predicen proteínas diana de productos naturales, que se basa en el conocimiento de la estructura tridimensional (3D) de la diana biológica (Fang *et al.*, 2018). El “docking molecular” es el enfoque basado en objetivos más común.

La técnica de “docking molecular” se puede utilizar para modelar la interacción entre una molécula pequeña y una proteína a nivel atómico. El proceso de acoplamiento implica dos pasos básicos: la predicción de la conformación del ligando y la evaluación de la afinidad de unión. Estos dos pasos están relacionados con los métodos de muestreo y los esquemas de puntuación, respectivamente, que nos dan la disposición más probable (Meng *et al.*, 2011). A partir de este enfoque, se han desarrollado múltiples softwares, y están en constante uso en la industria cosmética. Prueba de ello son las investigaciones realizadas por Deniz *et al.* (2020), Fong *et al.* (2014), Palacines *et al.* (2020), ya se ha reportado el uso de la técnica de acoplamiento para confirmar la capacidad del ácido cumárico para inhibir la tirosinasa (Varela *et al.*, 2020). Esta enzima interviene en los pasos iniciales de la síntesis de melanina, el pigmento responsable del color de ojos, cabello y piel, abriendo así la posibilidad de utilizarla como tratamiento para la hiperpigmentación. Palacines *et al.* (2020) también implementaron estudios de acoplamiento a la tirosinasa y los principales metabolitos de la planta *Cakile maritima* Scop. (Brassicaceae), utilizando el resultado de esta técnica junto con otros estudios para determinar que los extractos de estas plantas también tenían la capacidad de inhibir esta enzima.

Deniz *et al.* (2020) adoptaron un enfoque más amplio, utilizando los compuestos aislados de *Cotinus coggygria* Scop. en la técnica de acoplamiento contra las enzimas collagenasa, elastasa y tirosinasa, ya que son uno de los principales objetivos de la industria cosmética para el desarrollo de nuevos compuestos antiarrugas y aclaradores de la piel, encontrando resultados prometedores en sus compuestos, concluyendo que su planta sería una materia prima vegetal adecuada para productos cosméticos con propiedades antienvjecimiento. Finalmente, Fong *et al.* (2014) en su trabajo, más de 20.000 ingredientes herbales de 453 hierbas fueron acoplados a un modelo de tirosinasa con la esperanza de encontrar un inhibidor más fuerte que los encontrados en el mercado, encontrando 7, además de este requisito de selección se predijo que no resultarían irritantes, corrosivos ni cancerígenos.

ENFOQUES BASADOS EN LIGANDOS

Se utilizan comúnmente cuando la estructura 3D de una proteína objetivo no está disponible. Este enfoque se basa en el conocimiento de otras moléculas similares

que se unen al objetivo biológico de interés. Los enfoques basados en ligandos se pueden dividir ampliamente en enfoques basados en similitudes y basados en aprendizaje automático (ML) (Fang *et al.*, 2018).

La industria cosmética maneja mayoritariamente la basada en similitudes, siendo el más conocida, el software PASS, que permite estimar el perfil probable de actividad biológica de un compuesto orgánico tipo fármaco en base a su fórmula estructural. Esto se basa en el análisis de las relaciones estructura-actividad para un amplio conjunto de entrenamiento que incluye sustancias farmacológicas, candidatos a fármacos en diversas etapas de la investigación clínica y preclínica, agentes farmacéuticos, sondas químicas, y compuestos, para los que se conoce información específica de toxicidad (Filimonov *et al.*, 2014). Mediante el uso de esta herramienta Deniz *et al.* (2020), demostraron el potencial de compuestos aislados de *Cotinus coggygria* en la inhibición de enzimas utilizadas como blanco para el desarrollo de productos antienvjecimiento.

ENSAYOS *EX VIVO*

Las formulaciones de los cosméticos funcionales deben incluir principios activos reconocidos como seguros y aporten algún efecto beneficioso (Espinosa-Leal y García-Lara, 2019). En este reconocimiento, uno de los métodos de prueba más controvertidos ha sido la metodología *in vivo* o la experimentación con animales. Como afirma Kabene y Baadel (2019) el valor de la vida animal está en el centro de los conflictos emocionales que surgen cuando los animales se convierten en sujetos experimentales en los campos médico y cosmético.

Aquellos que se oponen al uso de pruebas con animales para cosméticos creen que es indignante y cruel usar la vida animal por la simple razón de hacer que los humanos se vean mejor, y que los beneficios para los seres humanos no validan los daños causados a los animales. Por tales razones, el uso de animales para probar productos cosméticos está prohibido en la Unión Europea desde 2013 (Díez-Sales *et al.*, 2018).

Como tal, se están desarrollando nuevos enfoques para llenar el vacío dejado por este enfoque, una de esas estrategias es el enfoque *ex vivo*, que representa un modelo entre *in vitro* e *in vivo*, donde se pueden cultivar cortes de tejido completo. Y así, los procesos metabólicos representan más de cerca la situación que se observaría en la experimentación *in vivo* (Dusinka *et al.*, 2017). En el área cosmética hay que diferenciar dos aspectos principales de esta metodología; el primero es el origen de la muestra, que puede ser: humana, animal o sintética, y el segundo es el tipo de prueba al que se somete la muestra, que puede ser hecho para determinar sus propiedades bioactivas o capacidad de penetración.

Las muestras humanas se han obtenido de dos formas principales, la primera, superficialmente, mediante un método no invasivo como el decapado, utilizando cinta



adhesiva, del estrato córneo, la capa más externa de la piel. El segundo es la adquisición de explantes de piel humana residual, luego de cirugías más invasivas, como una mamoplastia, todo bajo consentimiento informado de los donantes (Ratz-Łyko *et al.*, 2012; Granger *et al.*, 2020).

Las muestras de animales pueden obtenerse como subproducto de los mataderos, y están enfocadas a aquellos animales cuya piel asemeja a la humana en su composición y anatomía, en su mayoría cerdos, como lo afirman Taofiq *et al.* (2019).

Finalmente, las muestras sintéticas se refieren a las nuevas tecnologías que se han introducido para diseñar y desarrollar modelos de piel biológica o artificial que imiten la estructura altamente compleja de la piel humana. Se pueden fabricar modelos complejos de piel humana mediante diversas técnicas, como liofilización, bioimpresión tridimensional (3-D), electrohilado y sistemas de microfluidos, etc. Ya se encuentran disponibles algunas opciones comerciales, incluido EpiSkin® (L 'Oreal, Francia), Epi-Derm® (MatTek Corporation, EE. UU.), SkinEthic® (SkinEthics, Francia), epiCS® (CellSystems, Alemania), Holoderm®, Kaloderm®, Phenion® (Henkel, Alemania) y NeoDerm® (Tegoscience, Corea) (Yun *et al.*, 2018; Pellevoisin *et al.*, 2018).

Una vez que se obtiene la muestra, la prueba puede comenzar, en el ámbito de las posibles propiedades bioactivas, por lo general, el experimento está diseñado para exponer la muestra a un factor de estrés, luz ultravioleta, contaminación, luz azul, humo de cigarrillo y ozono, así como un extracto o similar para probar su capacidad para proteger la muestra. Algunos ensayos para validar esa afirmación pueden ser ensayo de inhibición de collagenasa, espectrofotometría, birrefringencia e inmunotinción. Este tipo de estudios han sido realizados por y Francois-Newton *et al.* (2021), Granger *et al.* (2020), Ratz-Łyko *et al.* (2015) y Tubia *et al.* (2020).

Granger *et al.* (2020) combinaron explantes humanos, como muestras, con inmunotinción, técnica que permite la identificación y valoración de la distribución topográfica de los diferentes tipos de células cutáneas utilizando anticuerpos específicos contra el colágeno (Schaffer y Willerth, 2017), para validar la capacidad de una crema de noche que contiene melatonina, carnosina y extracto de *Helichrysum italicum* para el tratamiento del daño cutáneo y el foto envejecimiento. Los resultados de su experimento mostraron que la aplicación de crema de noche después de la exposición a los rayos UVA, la contaminación y los rayos infrarrojos redujeron significativamente el daño de la piel en los explantes causado por el estrés oxidativo.

Tubia *et al.* (2020) diseñaron un modelo *ex vivo* para evaluar la capacidad protectora de un compuesto de *Alteromonas macleodi* contra la contaminación del agua. Este modelo consistió en las hebras de cabello sano de un donante caucásico que se utilizaron para documentar el impacto del agua contaminada en la

estructura del cabello. Para evaluar su eficacia se utilizó la birrefringencia, que es un parámetro intrínseco de la muestra, dependiendo de su material y estructura. El retraso, sin embargo, también depende del grosor de la muestra, encontrando que el tratamiento previo del cabello con el compuesto (0.1 g / L) niega el efecto de la contaminación del agua y restaura la respuesta del cabello a la luz al compararse con el control, lo que demuestra el efecto protector del compuesto sobre la estructura global de la fibra de queratina.

Ratz-Łyko *et al.* (2015) probaron de manera similar las propiedades de una emulsión con extractos de residuos de semillas, utilizando como muestra el estrato córneo obtenido por el método de "tape stripping" emparejado con espectrofotometría. Esta técnica permite determinar las sustancias activas y la capacidad antioxidante en diferentes capas de la epidermis, utilizando la capacidad de los antioxidantes para neutralizar los radicales sintéticos. Descubriendo que la emulsión con extractos de residuos de semillas tiene actividad antioxidante y propiedades antiinflamatorias. Y se puede sugerir como una posible estrategia para prevenir y modular los daños oxidativos de la piel.

Y Francois-Newton *et al.* (2021) demostraron que aceite de sándalo indio funciona como ingrediente activo protector contra el efecto perjudicial de los estresores ambientales. Ellos evaluaron las propiedades antioxidantes y antienvjecimiento, y para lo anterior utilizaron explantes de piel contra diferentes factores de estrés con o sin el aceite y evaluaron el ensayo de inhibición de la collagenasa. La inhibición de esta enzima estaría relacionada con mantener cantidades adecuadas de colágeno y por ende mantener la apariencia sana de la piel.

Para evaluar la penetración de los principios activos que se utilizan en el tratamiento de distintas dolencias se requiere penetrar el estrato córneo, ya que ejercen sus efectos biológicos en los tejidos más profundos de la piel. El método validado para evaluar la permeabilidad cutánea se describe en la Guía de pruebas 428 de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. Según este ensayo, la sustancia de prueba previamente colocada en un aparato de difusión se aplica sobre la superficie de la piel (células de Franz). Luego, la permeación de los componentes se analiza en el compartimento receptor, mediante cromatografía líquida de alta resolución o HPLC por sus siglas en inglés. Utilizando esta técnica se determinó la permeabilidad de una gran cantidad de compuestos de *Ganoderma lucidum* y *Pleurotus ostreatus* utilizando un modelo de piel de cerdo (Eberlin *et al.*, 2020). Ebada *et al.* (2021), Pillai *et al.* (2005), Sauce *et al.* (2021), Taofiq *et al.* (2019) y Westfall (2020).

CONCLUSIONES

La industria cosmética ha crecido de manera exponencial en la últimas décadas, este rápido crecimiento en parte es producto de la habilidad que poseen las compañías de adaptarse a los cambios y exigencias de los consumidores. Por lo que en los últimos años se han incorporado ingredientes de origen natural, eco-amigables y libres de crueldad animal, ya que son las condiciones más importantes impuestas por los compradores al momento de elegir un tratamiento cosmético. Lo anterior explica la constante demanda de nuevos productos de origen "natural", por lo que el descubrimiento de nuevos y/o mejores ingredientes con aplicaciones cosméticas es una de las áreas de mayor crecimiento en la investigación de productos naturales. En este sentido, uno de los grandes retos es garantizar la efectividad y seguridad, por lo tanto, las pruebas, especialmente de modelos *in vitro* e *in silico* se han convertido en herramientas rutinarias para la validación de los ingredientes de origen natural. Además, se espera que en un futuro se desarrolle una legislación encaminada al establecimiento de metodologías estandarizadas con la finalidad de regular los ingredientes cosméticos de origen "naturales".

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al PROVERICYT por dar la oportunidad de formar parte del XXIII Verano de Investigación Científica y Tecnológica de la UANL.





LITERATURA CITADA

- Abhijit, S., y D. Manjushree. 2010. Anti-hyaluronidase, anti-elastase activity of *Garcinia indica*. *International Journal of Botany*. 6(3): 299-303. <https://scialert.net/abstract/?doi=ijb.2010.299.303>
- Aburjai, T., y F.M. Natsheh. 2003. Plants used in cosmetics. *Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*. 17(9): 987-1000. <https://doi.org/10.1002/ptr.1363>
- Algiert-Zielińska, B.P. Mucha, y H. Rotsztein. 2019. Lactic and lactobionic acids as typically moisturizing compounds. *International journal of dermatology*. 58(3): 374-379. <https://doi.org/10.1111/ijd.14202>
- Ashawat, M.S., S. Saraf, y S. Saraf. 2006. Photo protective properties of *Boerhavia diffusa*. *Biosciences Biotech Research Asia*. 3(1): 257-60. https://www.researchgate.net/publication/289090365_Photo_protective_properties_of_Boerhavia_diffusa
- Bogdanov, S. 2016. Beeswax: History, Uses and Trade. *Bee Product Science*, 1-18. https://www.researchgate.net/publication/304012171_Beeswax_History_Uses_Trade
- Burlando, B., y L. Cornara. 2013. Honey in dermatology and skin care: a review. *Journal of cosmetic dermatology*. 12(4): 306-313. <https://doi.org/10.1111/jocd.12058>
- COSMOS-STANDARD. 2018. Cosmetics organic and natural standard. Brussels: European Cosmetics Standards Working Group. En: <https://cosmosstandard.files.wordpress.com/2018/08/cosmos-standard-v3-0.pdf> (consultado el: 30/06/2021).
- Deniz, F.S.S., R.E. Salmas, E. Emerce, I.I.T. Cankaya, H.S. Yusufoglu, y I.E. Orhan. 2020. Evaluation of collagenase, elastase and tyrosinase inhibitory activities of *Cotinus coggygia* Scop. through in vitro and in silico approaches. *South African Journal of Botany*. 132: 277-288. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.05.017>
- Díez-Sales, O.A. Nácher, M. Merino, y V. Merino. 2018. Alternative Methods to Animal Testing in Safety Evaluation of Cosmetic Products. Pp 551-584. En: Salvador, A., y A. Chisvert (Eds.). *Analysis of cosmetic products*. Elsevier. Valencia, España, 606pp.
- Dusinska, M., E. Rundén-Pran, J. Schnekenburger y J. Kanno. 2017. Toxicity tests: In vitro and In vivo. Pp 51-82. En: Fadeel, B., A. Pietroiusti, y A.A. Shvedova (Eds.). *Adverse effects of engineered nanomaterials: exposure, toxicology, and impact on human health*. Academic Press. 468pp.
- Ebada, H.M., M.M. Nasra, Y.S. Elnaggar, y O.Y. Abdallah. 2021. Novel rhein-phospholipid complex targeting skin diseases: development, in vitro, ex vivo, and in vivo studies. *Drug Delivery and Translational Research*. 11(3): 1107-1118. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13346-020-00833-1>
- Eberlin, S., M.S.D. Silva, G. Facchini, G.H.D. Silva, A.L.T.A. Pinheiro, S. Eberlin, y A.D.S. Pinheiro. 2020. The ex vivo skin model as an alternative tool for the efficacy and safety evaluation of topical products. *Alternatives to Laboratory Animals*. 48(1): 10-22. <https://doi.org/10.1177/0261192920914193>
- Espinosa-Leal, C.A., y S. García-Lara. 2019. Current methods for the discovery of new active ingredients from natural products for cosmeceutical applications. *Planta medica*. 85(07): 535-551. <https://www.thieme-connect.de/products/ejournals/abstract/10.1055/a-0857-6633>
- Fang, J., C. Liu, Q. Wang, P. Lin, y F. Cheng. 2018. In silico polypharmacology of natural products. *Briefings in bioinformatics*. 19(6): 1153-1171. <https://doi.org/10.1093/bib/bbx045>
- FDA (U.S. Food and Drug Administration). 2021. Cosmetic Overview for Imported Products. En: <https://www.fda.gov/industry/regulated-products/cosmetics-overview> (consultado el 2/07/2021).
- Filimonov, D.A., A.A. Lagunin, T.A. Gloriovova, A.V. Rudik, D.S. Druzhilovskii, P.V. Pogodin, y V.V. Poroikov. 2014. Prediction of the biological activity spectra of organic compounds using the PASS online web resource. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*. 50(3): 444-457. <https://doi.org/10.1007/s10593-014-1496-1>
- Fong, P., H.H. Tong, y C.M. Chao. 2014. In silico prediction of tyrosinase and adenylyl cyclase inhibitors from natural compounds. *Natural product communications*. 9(2): 189-194. <https://doi.org/10.1177/1934578X1400900214>
- Fonseca-Santos, B., M.A. Corrêa, y M. Chorilli, M. 2015. Sustainability, natural and organic cosmetics: consumer, products, efficacy, toxicological and regulatory considerations. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 51(1): 17-26. <https://www.scielo.br/j/bjps/a/TDpKrSLYxqM8yrJq5SwwjZH/?lang=en>
- Francois-Newton, V., A. Brown, P. Andres, M.B. Mandary, C. Weyers, M. Latouche-Veerapen, y D. Hettiarachchi. 2021. Antioxidant and Anti-Aging Potential of Indian Sandalwood Oil against Environmental Stressors In Vitro and Ex Vivo. *Cosmetics*. 8(2): 53-56. <https://doi.org/10.3390/cosmetics8020053>
- Granger, C., A. Brown, S. Aladren, y M. Narda. 2020. Night Cream Containing Melatonin, Carnosine and Helichrysum italicum Extract Helps Reduce Skin Reactivity and Signs of Photodamage: Ex Vivo and Clinical Studies. *Dermatology*

- and Therapy. 10(6): 1315-1329. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13555-020-00443-2>
- IBD.2019. Diretrizes para a certificação de produtos de saúde e beleza orgânicos e naturais e para matérias primas orgânicas e naturais. 6.ed. IBD Certifications, Botucatu, 52pp
- Kabene, S., y S. Baadel. 2019. Bioethics: a look at animal testing in medicine and cosmetics in the UK. *Journal of medical ethics and history of medicine*. 12(15):1-11. <https://doi.org/10.18502/jmehm.v12i15.1875>
- Kaur, C.D., y S. Saraf. 2011. Photochemoprotective activity of alcoholic extract of *Camellia sinensis*. *International journal of pharmacology*. 7(3): 400-404. <https://scialert.net/abstract/?doi=ijp.2011.400.404>
- Khan, I.A., y E.A. Abourashed. 2011. *Leung's encyclopedia of common natural ingredients: used in food, drugs and cosmetics*. John Wiley & Sons, Nueva Jersey, 845 pp.
- Mahesh, S.K., J. Fathima. y V.G. Veena. 2019. Cosmetic potential of natural products: industrial applications. Pp. 215-250. En: Swamy, M.K., y M.S. Akhtar (Eds.). *Natural Bio-Active Compounds: Volume 2: Chemistry, Pharmacology and Health Care Practices*. Springer Nature. Singapur, Singapur, 492pp.
- Meng, X.Y., H.X. Zhang, M. Mezei, y M. Cui. 2011. Molecular docking: a powerful approach for structure-based drug discovery. *Current computer-aided drug design*. 7(2): 146-157. <https://doi.org/10.2174/157340911795677602>
- Ottman, J.A. 1993. Green marketing challenges and opportunities for the new marketing age. NTC Business Book, Nueva York, 188pp.
- Pangestuti, R., & S.K. Kim. 2015. An overview of phycocolloids: the principal commercial seaweed extracts. Marine algae extracts: processes, products, and applications. Pp. 319-330. En: Kim, S.K., y K. Chojnacka, (Eds.). *Marine algae extracts: processes, products, and applications*. John Wiley & Sons. Weinheim, Alemania, 784pp.
- Pellevoisin, C., C. Bouez, y J. Cotovio. 2018. Cosmetic industry requirements regarding skin models for cosmetic testing. Pp. 3-37. En: Marques A.P., R.P. Pirraco, M.T. Cerqueira y R.L. Reis (Eds.). *Skin Tissue Models*. Academic Press. Porto, Portugal, 472pp.
- Pillai, R., M. Redmond, y J. Röding. 2005. Anti-wrinkle therapy: Significant new findings in the non-invasive cosmetic treatment of skin wrinkles with beta-glucan. *International Journal of Cosmetic Science*, 27(5): 292-292. https://doi.org/10.1111/j.1463-1318.2005.00268_3.x
- Placines, C., V. Castañeda-Loaiza, M. João Rodrigues, C.G. Pereira, A. Stefanucci, A. Mollica, G. Zengin, E.J. Llorent-Martínez, P.C. Castilho, y L. Custódio. 2020. Phenolic profile, toxicity, enzyme inhibition, in silico studies, and antioxidant properties of *Cakile maritima* scop.(Brassicaceae) from southern Portugal. *Plants*. 9(2): 142-165. <https://doi.org/10.3390/plants9020142>
- Ratz-Lyko, A., J. Arct, K. Pytkowska, y S. Majewski. 2015. In vivo and ex vivo evaluation of cosmetic properties of seedcakes. *Journal of Cosmetic and Laser Therapy*. 17(2): 109-115. <https://doi.org/10.3109/14764172.2014.988726>
- Raunio, H. 2011. In silico toxicology-non-testing methods. *Frontiers in pharmacology*. 2(33): 33-41. <https://doi.org/10.3389/fphar.2011.00033>
- Real Academia Nacional de Medicina de España. 2021. In vitro. En: https://www.ranm.es/recomendaciones-de-la-ranm-sobre-el-lenguaje-medico/1701-in-vitro-en-cursiva.html?fbclid=IwAR2_4-jbXXsMtbNLKS0Bnu2O5qFfhLwPZ23iC_D8BbcDs8YtSBY8lo5i1P8 (consultado el 01/07/2021).
- Rodrigues, F., M. de la Luz Cádiz-Gurrea, M.A. Nunes, D. Pinto, A.F. Vinha, I.B. Linares, M.B.P. Oliveira y A.S. Carretero. 2018. Cosmetics. Pp. 393-427. En: Galanakis, C.M. (Eds.). *Polyphenols: properties, recovery, and applications*. Woodhead Publishing. Viena, Austria, 438pp.
- Rodríguez-Sancan, G.E. 2019. Análisis de las tendencias del consumo en productos de cosmetología orgánica en guayaquil. Tesis de licenciatura, Facultad de Comunicación Social, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, 141pp.
- Rollinger, J.M., T. Langer, y H. Stuppner. 2006. Integrated in silico tools for exploiting the natural products' bioactivity. *Planta medica*. 72(08): 671-678. <https://doi.org/10.1055/s-2006-941506>
- Roy, A., R.K. Sahu, M. Matlam, V.K. Deshmukh, J. Dwivedi, y A.K. Jha. 2013. In vitro techniques to assess the proficiency of skin care cosmetic formulations. *Pharmacognosy reviews*. 7(14): 97-106. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.120507>
- Sabater, I.A., y L. Mourelle. 2013. *Cosmetología para estética y belleza*. McGraw-Hill España, Madrid, 20 pp.
- Sauce, R., C.A.S. de Oliveira Pinto, M.V.R. Velasco, C. Rosado y A.R. Baby. 2021. Ex vivo penetration analysis and anti-inflammatory efficacy of the association of ferulic acid and UV filters. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. 156: 105578- 105585. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2020.105578>
- Schaffer, D., y S. Willerth. 2017. 5.8 Scaffold Materials for Human Embryonic Stem Cell Culture and Differentiation. Pp. 129-153. En: Ducheyne, P. (Eds.). *Comprehensive biomaterials II*. Elsevier. Pensilvania, Estados Unidos, 4858pp.
- Schoenfeld, P. 2020. Colágeno: Rejuvenece tu piel, fortalece las articulaciones, y siéntete más joven gracias a la dieta que aumenta la producción y el consumo de colágeno. Editorial Sirio Sa, Málaga, España.276 pp
- Taofiq, O., F. Rodrigues, L. Barros, M.F. Barreiro, I.C. Ferreira, y M.B.P. Oliveira. 2019. Mushroom ethanolic extracts as cosmeceuticals ingredients: Safety and ex vivo skin permeation studies. *Food and Chemical Toxicology*. 127(2019): 228-236. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.03.045>
- Thring, T.S., P. Hili, y D.P. Naughton. 2009. Anti-collagenase, anti-elastase and antioxidant activities of extracts from 21 plants. *BMC complementary and alternative medicine*. 9(1): 1-11. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-9-27>
- Torres H y X. Torres. 2005. Situación de la cosmetología y de la estética dentro de la dermatología. Evolución de la dermatocósmética en los últimos 30 años. *Medicina Cutánea Ibero-Latino-Americana*. 33(1): 1-5. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=5357>
- Tubia, C., A. Fernández-Botello, J. Dupont, E. Gómez, J. Desroches, J. Attia, y E. Loing. 2020. A New Ex Vivo Model to Evaluate the Hair Protective Effect of a Biomimetic Exopolysaccharide against Water Pollution. *Cosmetics*. 7(4): 78-90. <https://doi.org/10.3390/cosmetics7040078>
- USDA. 2008. National Organic Program. Cosmetics, body care products, and personal care products. En: <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/OrganicCosmeticsFactSheet.pdf> (consultado en 30/06/2021).
- Varela, M.T., M. Ferrarini, V.G. Mercaldi, B. da Silva Sufi, G. Padovani, L.I.S. Nazato, y J.P.S. Fernandes. 2020. Coumaric acid derivatives as tyrosinase inhibitors: Efficacy studies through in silico, in vitro and ex vivo approaches. *Bioorganic Chemistry*. 103: 104-108. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2020.104108>
- Westfall, A., G.T. Sigurdson, L.E. Rodriguez-Saona, y M.M. Giusti. 2020. Ex Vivo and in vivo assessment of the penetration of topically applied anthocyanins utilizing ATR-FTIR/PLS regression models and HPLC-PDA-MS. *Antioxidants*. 9(6): 486. <https://doi.org/10.3390/antiox9060486>
- Yun, Y.E., Y.J. Jung, Y.J. Choi, J.S. Choi, y Y.W. Cho. 2018. Artificial skin models for animal-free testing. *Journal of Pharmaceutical Investigation*. 48(2): 215-223. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40005-018-0389-1>

LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA COMO PROFESIÓN

 SERGIO I. SALAZAR-VALLEJO
El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal



Palabras clave: evaluación,
financiamiento, posgrado,
producción académica.

RESUMEN

Recorrer la senda para hacer investigación científica como profesión requiere unos 5-6 años después de la licenciatura, contar con grado de doctor, realizar por lo menos una estancia posdoctoral, y una producción científica relevante. El otorgamiento del grado de doctor en ciencias en México inició en 1945. Terminar la ruta requiere varias decisiones importantes, empezando por la temática de investigación, el posgrado a realizar, y la selección del mentor, así como la organización del trabajo de investigación para potenciar la producción personal y optimizar el perfil curricular por encima de los promedios nacionales. Esto último permitirá competir y salir adelante en las evaluaciones académicas para contratación o promoción, por lo que también se mencionan algunos detalles del Sistema Nacional de Investigadores. La situación del financiamiento y la problemática del reconocimiento social de la ciencia se complementa con reflexiones y recomendaciones para mejorar la situación.



INTRODUCCIÓN

En esta contribución presentaré una perspectiva sobre la investigación científica como profesión, un sendero que requerirá la inversión de 5-6 años de estudio y dedicación para alcanzar el doctorado, y otros 2-3 para el posdoctorado, y trataré de brindar una visión equilibrada y optimista. El panorama incorpora experiencias y recomendaciones concretas con algunas sugerencias de varios autores. Debo adelantar que no persigo abordar la cuestión de manera comprensiva como lo hizo Medawar (1979), o desde el punto de vista filosófico o sociológico, porque esos detalles se analizan en otra parte (Bourdieu 2001). En realidad, el panorama actual difiere tanto de la utopía trazada hace unos 60 años (Polanyi 1962), que el contenido busca optimizar la comprensión del campo de la ciencia como forma de vida profesional, incluyendo los aspectos básicos de entrenamiento, consistencia y producción. También trataré algunos detalles importantes sobre la evaluación académica que deben tomarse en cuenta para auxiliar o guiar el desarrollo de los interesados, y que podrá ayudar a consolidar el perfil curricular.

Para satisfacer estos objetivos, presentaré algunos aspectos históricos, y luego unas reflexiones sobre cómo seleccionar el posgrado y el tutor correspondiente, seguidas de cómo aprovechar los cursos y potenciar la dinámica de la investigación para la tesis. A continuación, insertaré una breve consideración sobre el posdoctorado. Enseguida, haré un repaso sobre los marcos de evaluación curricular para la contratación de personal y con ello espero explicar los planes de publicación futura, sin soslayar aspectos éticos. Continuaré con la consideración de la búsqueda de financiamiento para realizar investigación científica, en particular con los recursos de la federación o de los estados, con algunos apuntes sobre los recursos para realizar estancias de investigación o colaboración en otros países. Cerraré la nota con algunas reflexiones sobre la repercusión social de la ciencia y cómo podemos mejorar su percepción mediante publicaciones o acciones de divulgación.

La mejor recomendación es hacer una elección temprana de la temática de investigación que sea más atractiva, siguiendo algunas de las recomendaciones de Wilson

(Salazar-Vallejo 2016), mantener el paso para consolidarse como un especialista productivo y alcanzar reconocimiento nacional e internacional. Ese será el antídoto al desánimo o incertidumbre por la baja disponibilidad de plazas.

HISTORIA

Considerada como profesión, la investigación científica es muy reciente. Ciertamente que durante muchos años hubo personas destacadas por su inventiva, o por tratar de entender el universo, lo que nos puede remontar a las etapas más antiguas de las civilizaciones en China o Japón, en los países árabes, en las culturas griega o romana, o en algunas civilizaciones del continente americano. Sin embargo, los practicantes no se reconocían como científicos y, en muchos casos, tampoco orientaban todos sus afanes para realizar investigación, ya que tenían otras ocupaciones. En Inglaterra, incluso, se hacía para beneficiar a la humanidad por lo que no se esperaba remuneración alguna. Dicho sea de paso, el término científico puede trazarse hasta Aristóteles y había acepciones en lenguas romances medievales, pero la formalización del término en inglés (*scientist*) se realizó entre 1834 y 1840, y pese a cierta resistencia en su uso, ahora es el término aceptado (Ross 1962).

La Edad Media desembocó en el Renacimiento. Una de las razones fue que los señores feudales, así como los estados pontificios, empezaron a financiar a arquitectos, ingenieros, artistas o interesados en la historia natural, un colectivo que incorporaba la geología, la botánica y la zoología. La importancia de la primera es obvia por la minería, la agricultura y la farmacéutica para la segunda, y la ganadería o el control de plagas para la tercera. Uno de los impulsos principales provino de la familia Medici, en Florencia, y asociamos a esa época las figuras emblemáticas de personas destacadas como Dante, Leonardo da Vinci, Miguel Ángel, o Sandro Botticelli. Aunque hubo otras personas involucradas en varios países, Florencia fue la cuna del Renacimiento.

Los señores feudales (reyes, condes, duques, príncipes) tenían cortes que incorporaban a lo más refinado

de las sociedades y competían entre sí para invitar a destacados compositores, ingenieros, arquitectos, o inventores. Lo que no se había hecho era el contar con plantas y animales exóticos, para ser mantenidos en vida, o para tenerlos preservados para exhibición. Esto empezó a fines del siglo XVII y se hacía con organismos ya preservados en Cuartos de Maravillas (Fig. 1), que luego se denominarían gabinetes de historia natural (Pardo-Tomás 2018), o se mantenían vivos, en lo que devendrían jardines botánicos o zoológicos. Esto tuvo un impulso con la extensión de las rutas mercantes marinas, y avanzó de la mano del comercio del té y especias.

El primer gabinete documentado data de 1599 en Nápoles, pero los holandeses ya tenían avanzado el terreno desde la década de 1520. Dos comentarios ilustrarán la relevancia de estas iniciativas: 1) Pedro I, luego llamado El Grande, zar de Rusia, fue tan cautivado por Ámsterdam que pensó construir una ciudad parecida en lo que ahora es San Petersburgo, y 2) El Jardín Hortus, todavía en funciones, atrajo a Lineo para estudiar las plantas exóticas ahí cultivadas, traídas principalmente de las Indias Orientales, y que le sirvió para impulsar el sistema binomial de nomenclatura. Pero volvamos a la historia.

Una temprana organización resultó en las academias reales de ciencias en Inglaterra (1660) y en Francia (1666). Aunque los miembros eran profesores universitarios en su mayoría, los interesados en botánica o zoología eran médicos, mientras que los geólogos se ocupaban de la minería. La inglesa mantiene su nombre como real, mientras que la segunda fue transformada luego de la revolución francesa. En Francia, los miembros recibían remuneraciones por su desempeño y eran sostenidos por la realeza y luego por la república, mientras que en Inglaterra tenían respaldo modesto de la realeza y se mantenía por cooperación de los miembros. Por coincidencia, estas organizaciones lanzaron las publicaciones científicas en 1665: *Le Journal des Sçavans* y *Philosophical Transactions of the Royal Society*. Entonces, academias y revistas estaban vigentes en estas dos naciones en el siglo XVII (Fig. 2).



Figura 1. Vista de dos Cuartos de Maravillas, el de Nápoles (1599) y de Copenhague (1655) (modif. Wikipedia).

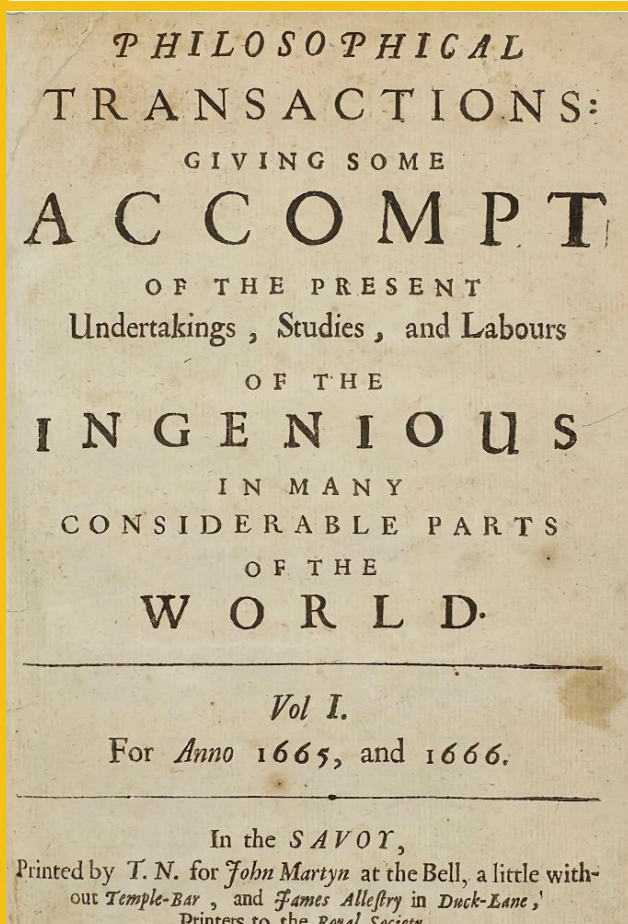
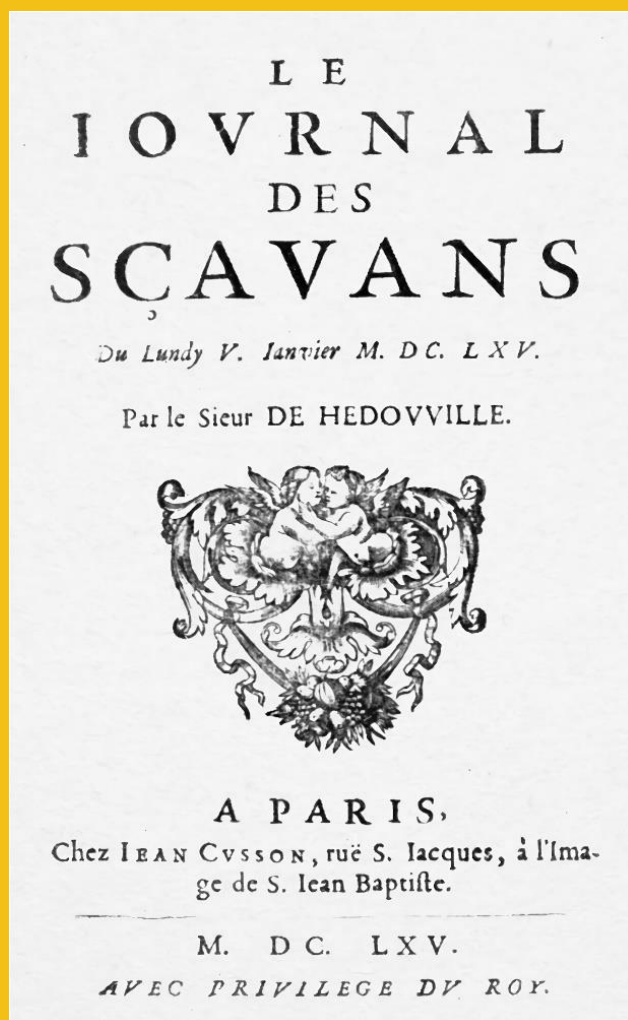


Figura 2. Portadas de las primeras revistas científicas (Wikipedia).

Por curioso que pueda parecer, la investigación científica no era una profesión independiente si partimos de los enfoques entonces vigentes en las universidades, y en las actividades remunerativas que realizaban sus egresados. La dinámica de las universidades durante la Edad Media y el Renacimiento era enfatizar cuatro disciplinas primarias: artes, jurisprudencia, medicina y teología. Otorgaban doctorados en esas temáticas, aunque se hacía para conseguir ser profesores en las universidades, no tanto orientados hacia la investigación. Es cierto que muchos sacerdotes como Nicolás Copérnico, Gregorio Mendel o Lázaro Spallanzani, realizaban investigación científica, pero la mayor parte era realizada por médicos que indagaban en la anatomía, histología o embriología comparadas, o en la anatomía o reproducción de las plantas, especialmente desde el Renacimiento. Los resultados eran de gran calidad y las ilustraciones de extraordinaria belleza, pero la profesión no aparecía como tal todavía ya que no había énfasis en la investigación independiente o experimental.

En 1810 la Universidad de Berlín, en su facultad de filosofía, empezó a requerir una tesis basada en investigación original para otorgar el grado de Doctor en Filosofía; este requisito no aplicaba para los otros doctores. Como ya se indicó, había investigación relevante pero el establecimiento del grado, de la mano de la necesidad de investigación original y la generación de una tesis, impulsaron la formación de científicos como no se había hecho antes. Pronto el esquema se estableció en Inglaterra, aunque no se hizo formal sino hasta 1882, se adelantaron en la Universidad de Madrid (1850) y luego en los Estados Unidos en Yale (1861); el nombre cambió en algunas naciones a Doctorado en Ciencias, como se ha hecho en México desde 1945 (Hernández-Guzmán y Nieto-Gutiérrez 2010). Entonces, si consideramos al establecimiento del grado de doctor en ciencias como el inicio de la profesionalización de la investigación científica en nuestro país, notamos que no cumple 100 años todavía.

Por otro lado, como en la mayoría de las escuelas de ciencias el único mecanismo para titularse era realizar una tesis, uno podría suponer que la licenciatura equivaldría al doctorado en ciencias. No era así; no podía ser así por la sencilla razón de que la investigación en la tesis de licenciatura era generalmente un estudio diseñado, acotado y casi impuesto por el director de la tesis. Dicho de otra manera, por el tiempo involucrado no había el tiempo necesario para dominar la literatura y proponer un tema realmente novedoso, sino que había que hacer el ejercicio y seguir adelante. Esta obligación o restricción para hacer una tesis ocasionó que fueran pocos los que podían titularse, lo que afectaba la eficiencia terminal.

En los años 80 del siglo pasado, las autoridades universitarias empezaron a confrontar la necesidad de subir los perfiles curriculares de sus académicos porque la 'excelencia académica' se ligó con la proporción de doctorados en relación con el total de la plantilla docente. Cuando esa percepción se convirtió



Figura 3. Tendencia en ofertas de posgrados de los centros CONACYT en México (Sánchez-Soler et al. s/a).

en indicador de la calidad institucional, en el que se empezaba a usar también la eficiencia terminal, el sistema universitario tuvo una sacudida generalizada.

Hubo dos respuestas principales. Algunas instituciones presentaron alternativas para la titulación, tales como cierto promedio general, un informe de servicio social, o tener algunos cursos o créditos de una maestría. Unas pocas, como el Tecnológico de Monterrey, tomaron una postura extrema al argumentar que sus egresados no harían tesis porque estaban bien preparados. La otra respuesta fue generar posgrados. Con esta opción podían matar dos pájaros de un tiro: podrían incrementar pronto la eficiencia terminal, y promover/permitir que su personal docente alcanzara por lo menos la maestría y mejorar el perfil del personal. No sorprenderá que, si este tipo de respuesta se generalizó, el número de posgrados tuvo un incremento considerable. Una muestra es que el Sistema Nacional de Posgrados del CONACYT incluye unos 2000 en todo el país y por lo menos el doble está disponible, aunque no estén reconocidos como de calidad (Fig. 5).

POSGRADO

Las decisiones iniciales sobre elegir un posgrado son triples y están relacionadas. Debemos elegir la temática de investigación, un posgrado en donde se realicen investigaciones en ese terreno, y una persona especialista que nos ayude a mejorar nuestra formación e impulse nuestro desarrollo. Las posibilidades para realizar el posgrado en México son abrumadoras. Cada estado o ciudad principal ofrece varias opciones, y algunas instituciones cuentan con una docena o más de posgrados.

La segunda decisión es seleccionar un programa que esté en el padrón de CONACYT por dos razones principales: la primera, habrá becas para los estudiantes aceptados; la segunda, la obligación de realizar evaluaciones periódicas implica que los procesos administrativos y las dinámicas académicas estarán reguladas. No significa que las otras

instituciones no tengan personal valioso, pero sin el respaldo de la beca y el seguimiento de normas estrictas, es fácil anticipar problemas e incomodidades de varios tipos. Seleccionar la ciudad plantea el problema de la movilidad, en particular porque la beca tarda unos meses en llegar a los estudiantes, por lo que deberán ahorrarse algunos recursos para sobrellevar los primeros meses del posgrado.

Una recomendación complementaria es buscar un programa que ofrezca continuidad hacia el doctorado. No obliga que deba seguirse ahí, pero la opción reduciría la necesidad de moverse a otras ciudades o países. En caso de tener experiencia y resultados publicados, podría optarse por un doctorado directo.

Los interesados deberán revisar cuáles son las condiciones vigentes al momento de buscar un posgrado, ya que se están realizando algunos cambios en este terreno por parte del CONACYT.

Por cierto, es más fácil obtener una beca para hacer la maestría en México y luego buscar el doctorado en otra nación. Sin embargo, hay alternativas para irse directo a otros países y las becas disponibles se pueden hallar en internet. En esencia, quizá la decisión más importante es la selección del tutor para realizar el posgrado. Algunas recomendaciones adicionales y relevantes, dado que el posgrado es el inicio de la vida como profesional de la ciencia están en las notas de Gu y Bourne (2007), Erren et al. (2015) y de Huang (2020).

TUTOR

Debe repetirse: la elección del tutor para realizar el posgrado es sumamente importante. En nuestro sueño para ser científico consideramos varias figuras destacadas con las que nos gustaría tener alguna interacción y mejorar nuestra formación. Empero, es fácil anticipar que un científico reconocido tendrá varios estudiantes en su laboratorio, de varios niveles

de escolaridad, y quizá deba cumplir algunas funciones administrativas. Esto repercutirá en el tiempo disponible para la interacción con los estudiantes, y puede resultar en contactos escasos con un científico reconocido. Como quiera que sea, dado que la ciencia se aprende como la escultura, o la música, en una relación maestro-aprendiz, si hay poco tiempo para la interacción, el aprendizaje no será todo lo rápido que se desea. Es posible que el dominio de un tema o problemática de investigación nos tome 10 años, como refirió Greene en su libro *Maestría* (Salazar-Vallejo 2014) por lo que debemos ser pacientes y potenciar nuestros avances con el profesor, sin el profesor, o a pesar del profesor.

De las muchas recomendaciones disponibles para seleccionar un tutor (Bhartiya y Ichhpujani 2013, Bankston y Gurel 2017, Henschel 2020) las principales son: i) Aclare sus intereses y planes futuros. Además, la persona seleccionada: ii) debe ser respetada y reconocida en su campo, tener disponibilidad para orientar a los jóvenes, y compartir experiencia y tiempo; iii) debe ser accesible y brindar recursos para la investigación deseada, o respaldar a los estudiantes para encontrarlos; iv) debe estar consolidada en el tema de nuestro interés, y la dinámica para generar las publicaciones en el grupo de trabajo deben ser lo más claras y satisfactorias posibles. Otras ideas relevantes serían visitar el laboratorio o grupo de trabajo de la persona seleccionada para hablar con los estudiantes para conocer detalles de la dinámica interna; si no puede viajar, inténtelo por medios electrónicos. Considere tener otros asesores, en el mismo tema o en temas parecidos, para complementar el desarrollo de su investigación y que, de preferencia, no sean antagónicos con su mentor, o entre sí. Satisfacer estas recomendaciones permitirá reducir la ansiedad y mejorar la creatividad, lo que evitará la frustración.

Otras recomendaciones personales serían valiosas para todos los interesados, incluyendo a los investigadores establecidos (Erren et al. 2007): trate de hacer algo significativo en su temática de investigación al buscar problemas importantes; no importa tanto la edad sino su dedicación sostenida y efectiva; no busque excusas; revise los pros y contras de sus ideas y mantenga la puerta abierta a otras ideas, particularmente si son estimulantes.

Una última recomendación: considere una a tres alternativas de posgrado y tutor. La mejor posibilidad será que el tutor no tenga demasiados estudiantes y esté interesado en la temática de investigación en la que le interese formarse en ciencia. Si consigue aceptación en todas, podrá darse el lujo de elegir la óptima. Algunas recomendaciones para optimizar la percepción, o mejorar el desempeño de los tutores pueden hallarse en Desjardins (1994).

CURSOS

Los programas de maestría y los de doctorado directo requieren algunos cursos obligatorios y otros tantos optativos. Algunos le resultarán muy afines a sus intereses, y otros le sonarán ajenos o aburridos. Considere que todos

los cursos tienen algo que ofrecer e incluso cuando su contenido parezca distante, hallará por lo menos una forma complementaria para comprender el mundo o la sociedad. No faltarán problemas, pero como está en un terreno que usted seleccionó, no serán tan abrumadores. Sin embargo, si las temáticas de algunos cursos le resultan particularmente problemáticas por su formación universitaria, haga lo mejor posible por subsanar sus deficiencias y sacar el máximo provecho de cada curso. La razón medular es que los cursos y entrenamientos complementan la formación y potencian la consecución de un empleo en áreas colaterales a la temática de la tesis de grado.

TESIS

Ya en la dinámica del posgrado, la mejor recomendación es adelantar todo lo posible en el desarrollo de su investigación. Considere seleccionar la literatura crítica, familiarizarse con los métodos, técnicas o equipos del laboratorio, e incluso hacer algunas salidas de prospección para conocer el terreno de primera mano. La maestría, en particular, al transcurrir en 24 meses para la obtención del grado, porque esa es la duración de la beca, implica una mayor concentración y constancia en el trabajo de investigación. En el doctorado hay el doble del tiempo, pero también aumentan los problemas a tratar o su profundidad, de modo que tampoco se debe uno echar a la hamaca.

De cualquier manera, si se decidió por un posgrado que cuente con doctorado y trata de enlazarlo desde la maestría, seleccione una pieza de información completa de su tesis de maestría y remita el documento para publicación. En ECOSUR se obliga que haya un producto enviado a publicación para optar al grado de maestría, además de la tesis, por lo que satisfacer el requisito le abriría la puerta para seguirse con el doctorado. Si cumple los requisitos, su aceptación sería condicionada a que obtenga la maestría, y así podrá enlazar ambos grados.

La investigación doctoral podría ser una expansión del tema de la maestría, o quizá un refinamiento para alcanzar mayor profundidad en los análisis o estudios realizados. Si consigue mantenerse en la misma temática de investigación alcanzará un dominio razonable de su tema de investigación y, si se organiza bien, contará con varias publicaciones al terminar su doctorado. Esto es muy importante y mostraré las razones en los rubros siguientes.

POSDOCTORADO

Conforme las plazas disponibles en universidades y centros de investigación se fueron llenando y por el estancamiento o reducción en las nuevas plazas, aumentaron los requisitos académicos para conseguir empleo. Uno de ellos fue que los interesados deberían contar con una estancia posdoctoral; en algunas instancias de la UNAM se enfatizaba que fuera en una institución de prestigio y en un país angloparlante. El requisito se fue generalizando y son raras las instancias

en que se obvia el posdoctorado, por lo que los interesados deberán realizar por lo menos una estancia posdoctoral para fortalecer su perfil curricular.

Hay mucha información disponible en línea (Inst. Medicine 2000) y algunas organizaciones para la asesoría, como la Asociación de Posdoctorados Estadunidenses (<https://www.nationalpostdoc.org/>); la búsqueda en internet mostrará las opciones disponibles para distintos países y las becas disponibles. En México, el CONACYT cuenta con un programa de becas (<https://posdoctorado.conacyt.mx/>) de consulta obligada para los interesados en realizarlos en México. También se puede hallar muchas recomendaciones para seleccionar un programa posdoctoral en general (Bourne & Friedberg 2006), y muchas instituciones tienen su propio reglamento o recomendaciones para los interesados.

El aumento en los requisitos tiene repercusiones negativas al diferir el ingreso de los científicos jóvenes al mercado laboral, particularmente porque la mayor especialización no siempre corresponde con las necesidades de la academia, o incluso de la industria. Por ello, no sorprende que apenas un 5% de las personas que realizaron un posdoc consigan un empleo para realizar investigación (Woolston 2019). La situación en la década pasada era menos severa ya que entre 2005 y 2009, las instituciones estadounidenses otorgaron 100,000 grados de doctor, y hubo 16,000 nuevas plazas; es decir, 16% de los doctorados podrían conseguir empleo (Kirton s/a). No obstante, la mejor recomendación es no desanimarse, seguir buscando (Powell 2020), y sortear los episodios de ansiedad e inseguridad que surgirán (Woolston 2020). En un estudio de 7,600 posdocs en 93 países, en las que un 63% manifestó interés en seguir en la academia, 56% percibía un futuro negativo o muy negativo, y un apabullante 74% consideraba sus opciones laborales como peores o mucho peores que las de generaciones previas. Pese a esa perspectiva, 47% de los colegas recomendarían a los jóvenes hacer una carrera en la investigación científica. Yo también. No obstante, también debemos reflexionar cuidadosamente acerca de nuestras decisiones de vida ya que, para invertir un lustro, o una década, en la mejora de nuestras capacidades académicas, debemos comprender que el panorama seguirá sombrío. Otras propuestas más extremas apuntan a no realizar el posdoc, o abandonarlo para moverse hacia la industria si nuestra temática de investigación y experiencia lo permiten (Hankel 2021).

Por otro lado, dado que las estancias posdoctorales a menudo repercuten en una mayor y más sólida producción académica, algunas acciones relevantes para una futura contratación no están a su alcance, por lo que se considera que su labor es precaria (Herschberg et al. 2018); en particular, sobre el control de los proyectos en que participan, por la brevedad de sus contratos o becas, y por las responsabilidades que se les imponen, o se les invita a aceptar, en la organización de las actividades académicas del laboratorio. Un detalle importante es la formación de recursos humanos ya que a menudo se les solicita experiencia docente y dirección de tesis de posgrado (Fig 4). No obstante, pese a involucrarse

también en esas actividades, no reciben el crédito formal sobre ello ya que por su condición no pueden tomar esos créditos, mismos que le son asignados al jefe del laboratorio, por lo que terminan las estancias sin ser reconocidos como responsables de cursos o directores de tesis. Por supuesto, los interesados deberán reclamar, en los mejores términos, las constancias o reconocimientos correspondientes a dichas actividades para complementar su experiencia profesional y mejorar la categoría que podrían alcanzar en una futura contratación.



Figura 4. Mecanismo del sistema Profzi (en alusión al esquema Ponzi) que priva en muchas instituciones (original de Jorge Cham, modificado de www.phdcomics.com).

EVALUACIÓN

Algunos podrían pensar que, si nuestra tradición profesional de la investigación científica es tan breve, no debería evaluarse con la misma rigurosidad con la que se consideran los resultados en otras naciones. No puede ser así. Aunque puede haber investigación científica de primera orientada a la solución de problemas locales o regionales, la ciencia se debe evaluar también en el escenario mundial.

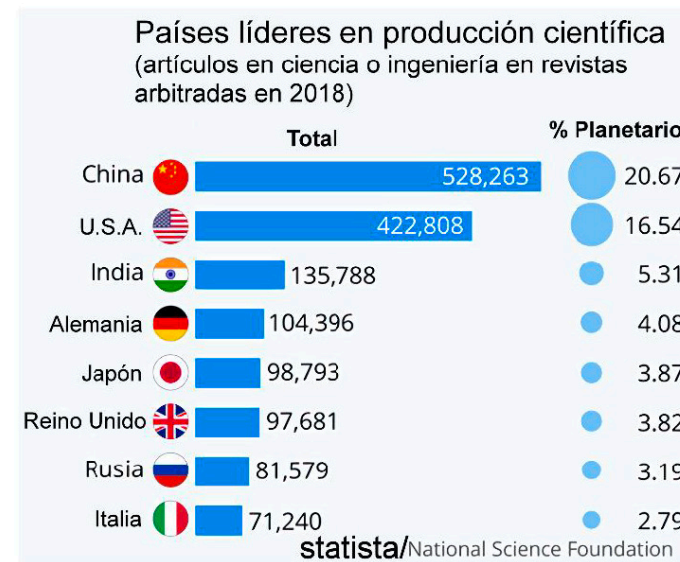
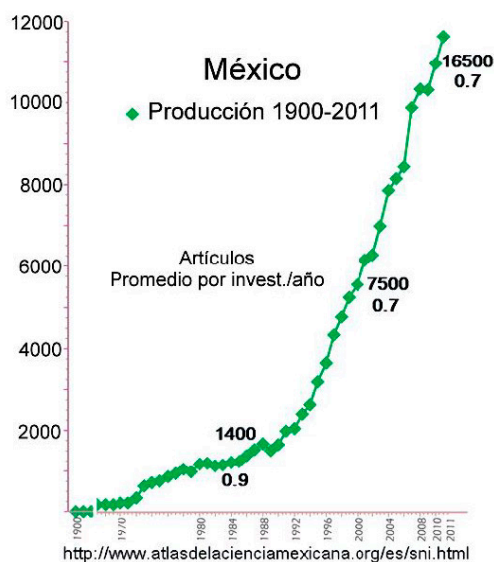
La evaluación formal de los científicos o académicos en México comenzó en 1983, con el establecimiento del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), al que siguieron mecanismos similares para las universidades (López-Molina 2017). Debe mencionarse que la situación económica era de hiperinflación y devaluación, lo que motivó a que la Academia de Ciencias propusiera un programa emergente de remuneraciones para mejorar el salario de los académicos. Consistía en reconocer los productos de investigación y separar a los académicos en varias categorías acordes a su producción y otorgar estímulos según dichas categorías.

El SNI agrupa a los miembros en varias áreas y ha ido creciendo desde unos 1400 miembros en 1984 (Peña 1995) a más de 33000 en la actualidad. Los requisitos de ingreso y promoción han ido aumentando, pero no hay un criterio único para todas las áreas, y tiene una serie de problemas pendientes de solución (Lloyd 2018, Ramos-Zinckle 2018, Pérez-Chavarría 2019), incluyendo una extendida carga burocrática (Lomnitz 2016). Por otro lado, la prevalencia de los miembros de la UNAM en las comisiones dictaminadoras podría haber generado un

efecto corporativo y quizá inadvertido; es decir, en igualdad de condiciones, el personal académico de la universidad nacional tendría niveles mayores que los no-unamitas.

La producción de artículos en revistas arbitradas, o los capítulos publicados en libros con arbitraje han sido las actividades consideradas más relevantes. Sin embargo, quizá por las diferencias entre las áreas académicas, se considera como mínima la generación de un producto anual en esas categorías. De hecho, ese era uno de los requisitos principales en los contratos que se hacían con el personal académico. No se estableció, por desgracia, la condición de que la persona fuera el único o primer autor, por lo que parecían similares una publicación con un autor que la realizada por todo el personal de un departamento. Esto ha limitado la producción científica en México ya que la actividad ha decrecido de contar con 0.9 publ/invest/año a mediados de los años 80, a 0.4 en 2011 (Rodríguez-Miramontes et al. 2017), o 0.5 en 2015 (CONACYT 2016) pese a que la membresía del SNI superó los 30 mil (Fig. 4). Con datos del 2017, estábamos rezagados en relación con Brasil, por lo menos en dos indicadores fundamentales: la inversión federal (1.3 vs 0.5% PIB) y el número de investigadores por millón de habitantes (1635 vs 488) (Scimago Lab 2018).

Los mecanismos de evaluación y los estímulos correspondientes han guiado los esfuerzos del personal académico y el resultado ha sido que artículos o capítulos de libro tengan muchos autores. Por un lado, la evaluación de los posgrados apreciaba e impulsaba las publicaciones realizadas por los estudiantes con sus tutores, pero a menudo ocasionó que se trepe todo el comité tutelar a los resultados de los jóvenes y en algunas instituciones se ha reglamentado. Por el otro, la organización del personal universitario en cuerpos académicos, y los mejores estímulos a los productos con varios autores del mismo grupo, resultaron en los típicos bloques de autores en los que cada uno realiza un documento, pero anota a todos los demás. La simulación resulta en el abultamiento de la lista de productos, pero la proporción de la producción per cápita no aumenta. Es decir, si cinco académicos incurren en esta práctica, al final del año cada uno tendría 5 productos, pero la producción real sería de uno por académico. La solución es promover la restricción del número de autores a aquellos que contribuyan de manera relevante, o significativa, en la planeación de la investigación, en la generación y análisis de los resultados, y en la generación del documento. Las participaciones limitadas o tangenciales se deben reconocer en los agradecimientos. La ética de la publicación es tan



relevante que hay un volumen completo dedicado casi exclusivamente a esa cuestión (CSEPP 2009), y pueden hallarse otros detalles en López-Calva et al. (2017).

Entonces, la mejor recomendación para los jóvenes es que traten de publicar como autores primeros o únicos para ganar su sitio en el mundo, o por lo menos para construir y mantener una reputación como científicos (Bourne y Barbour 2011), y participar con otros colegas de manera relevante para ameritar coautorías. Debo reconocer, empero, que el posgrado es una escalera que hay que recorrer por completo, y que la mejor forma de hacerlo es comprendiendo las reglas y continuar de la mejor manera posible. En particular para las publicaciones, ayudará mucho comentarlo con sobrada anticipación con los colegas directores de tesis para evitar tragos amargos cuando el documento esté terminado. Otros aspectos pueden hallarse en la compilación de Castaños y Muñiz (2014).

PLAN DE PUBLICACIÓN

Para tener una mejor idea del desarrollo curricular personal, los estudiantes deberían tener un plan de publicación con los resultados de sus tesis. Por supuesto, deberán hacerlo de acuerdo con su tutor, sin perder de vista los principios de la ética de la publicación que se mencionaron brevemente. Hay mucha información disponible sobre la interacción con los colegas que es importante consultar (Lewitter et al. 2019), por lo que prefiero comentar un poco más sobre la estrategia personal.

Durante muchos años, los jóvenes que me padecieron debían hacer una publicación única emanada de su tesis doctoral. Pensaba que contar con una pieza completa de información era preferible a una serie de notas cortas, incompletas de por sí, aunque fueran parte de una serie. Me equivoqué. Aunque aspiraba que la evaluación del personal no fuera por números simplones como el factor de impacto o el número de citas, algo a lo que nos habíamos opuesto abiertamente (Salazar-Vallejo y Carrera-Parra 1998), no anticipé que la inercia social sería difícil de modificar. Incluso ahora y después de la Declaración de San Francisco (<https://sfedora.org>), establecida en 2013, la evaluación descansa principalmente en esos números, o en sus derivados, como los índices *h* o similares. El cambio será difícil, pero no imposible (Hatch y Curry 2020).

En consecuencia, mi recomendación ahora es que los resultados se organicen como piezas completas de información, pero ya no como publicaciones únicas, sin perder de vista que los documentos remitidos sean de la máxima calidad posible ante el alud de muchas publicaciones de mala calidad (Sarewitz 2016). Hay varias razones para ello, y la principal radica en la producción. Al terminar el doctorado, los jóvenes en busca de una estancia posdoctoral o de una cátedra o plaza tendrían, en el esquema de ECOSUR, apenas una publicación y otra aceptada, ya que el requisito para la maestría es la remisión de un documento. Entonces, luego de 6 años de beca, los egresados tendrían apenas

2-3 publicaciones, lo que podría llegar a 0.5 publ/invest/año. Un valor que no se puede presumir y que tampoco abrirá las puertas a becas o a contrataciones.

Dado que la expectativa es tan modesta, deberíamos movernos como institución, y como nación, a modificar el esquema y demandar más productos a nuestros estudiantes de posgrado, de la mano de mayor participación y asesoría por parte de sus tutores. No trato de decir que hacer publicaciones sea sencillo, sino que debemos movernos a una mejor organización de la investigación y a potenciar la producción de los estudiantes. Resultará más pesado para todos, por supuesto, pero movernos en esa dirección será muy útil para la vida académica de nuestros egresados, y repercutirá en la mejora del perfil nacional de producción científica.

FINANCIAMIENTO

La transición de ser estudiante de posgrado a personal académico de una institución es raramente directa y a menudo requiere, como se mencionó líneas arriba, la realización de por lo menos una estancia posdoctoral. Es reconfortante hacer el posgrado en una institución con laboratorios bien equipados y con recursos generosos para realizar salidas de campo, muestreos, estancias y pagar por las publicaciones. Ser contratado por otra institución con menos recursos y libertad económica es siempre complicado. Por ello, una de las tareas primordiales es la consecución de financiamiento para equipamiento y para realizar las actividades básicas de los proyectos de investigación.

Aligerar la transición dependerá de las condiciones imperantes en cada nación o institución. En un país en el que el estado sea prolijo en la asignación de recursos para la investigación científica, habrá que hacer algunas propuestas y dada la disponibilidad de recursos, más temprano que tarde el personal recién contratado podrá tener algunas condiciones para mantener sus intereses y productos de investigación (Figuras 6 y 7).

Lo contrario ocurrirá en una nación en la que no se disponga de recursos generosos para la investigación científica. Si hay financiamientos disponibles, quizá estarán etiquetados para atender ciertas demandas concretas en los rubros de salud, alimentación o educación, que son fundamentales para el bienestar de las naciones. Si hay recursos para otras áreas de investigación, deberá anticiparse competencia intensa con pocos resultados positivos, por lo que realizar propuestas para buscar recursos será una tarea cotidiana. Luego de dos o tres rondas de competencia sin obtener fondos, el personal tendrá problemas para establecer o consolidar su línea de investigación y, dependiendo del sistema de evaluación para los estímulos, quizá no pueda obtenerlos si el énfasis descansa en la generación de financiamientos externos.

Anotamos en otra parte que el pago de los intereses de la deuda externa consume buena parte del presupuesto de las naciones (Salazar-Vallejo y González 2016). No ahondaré en

ello, aunque valdría la pena mencionar que, si no aumentan los recursos financieros de una nación, debería renegociarse el pago de los intereses y contar con un poco más de dinero para atender a las necesidades nacionales, incluyendo la investigación científica. La pregunta, empero, es ¿qué se puede hacer con poco dinero?

En efecto, las comparaciones entre las naciones, o en la misma nación, muestran que los países o instituciones más productivos no son los que invierten más dinero en investigación, sino los que hacen mejor uso de los recursos disponibles (Liedo-Fernández y Salazar-Vallejo 2010). La respuesta pasa, de manera ineludible, por la optimización de los financiamientos para realizar investigación, así como de la búsqueda de fondos complementarios, así sea para el desarrollo de las investigaciones de los estudiantes.

La desaparición de las becas mixtas de CONACYT tuvo un impacto mayor ya que las estancias de investigación serán más complicadas, toda vez que quizá era la principal actividad involucrada para solicitar dichas becas. Hay algunos recursos disponibles en varios países o instituciones, y también sigue la solidaridad entre colegas para permitir las estancias sin requerir financiamientos extra. Este sería un paso importante para establecer colaboración internacional (de Grijis 2015), pero hay otras alternativas. No obstante, la reinstalación de las becas mixtas será de gran ayuda para los interesados en ese tipo de actividades.

Durante los últimos 30 años, ha habido cierta presión sobre la autonomía de los centros de investigación o de educación superior ya que, al reducirse los fondos disponibles, se han incrementado las presiones para asociarse con la industria, para obtener recursos complementarios de otras fuentes, o ambas, en lo que se ha denominado capitalismo académico (Slaughter y Leslie 1997). En el peor de los casos, deberíamos reflexionar sobre el testamento cultural de Enrique Rioja, un destacado sabio español que llegó a México como exiliado por la

guerra civil, y que impulsó la hidrobiología y la zoología marina en nuestro país. En lo que podría considerarse una retrospectiva personal, dadas las dificultades que tuvo que encarar para realizar sus investigaciones, y dirigiéndose a los jóvenes interesados en la ciencia como profesión anotó (Salazar-Vallejo 1989): “Oiréis a las plañideras lamentarse de la incompreensión, de la falta de posibilidades y de medios. Falso, estas son las voces de los indiferentes, de los fracasados o de los simuladores; siempre hay un sector modesto en que se puede hacer algo. No importa que ese algo sea capital o accesorio ...”

REPERCUSIÓN

La investigación científica es relevante para el desarrollo del conocimiento y, generalmente, para el bienestar de las sociedades. No obstante, la percepción social ha cambiado mucho durante los últimos 70 años, por lo que algunos argumentan que nos falta cultura científica y reducir la ignorancia o analfabetismo funcional o científico (Cereijido 2009, Aldana 2012). Es decir, los practicantes de la ciencia eran considerados como las personas más sabias, de modo que los jóvenes interesados eran admirados por sus compañeros y familiares. Lo mismo podría decirse de los profesores de primaria o secundaria, que eran apreciados como padres vicarios y su autoridad no era cuestionada. Con el paso del tiempo y quizá como resultado inesperado de las guerras, de la influencia de los medios masivos en los que los científicos eran mostrados como personas locuaces, o los maestros como gente abusiva, se redujo mucho la estimación de ambas profesiones. Los estudiantes aplicados devinieron ratones de biblioteca, matados, o nerds, por lo que eran rechazados por sus compañeros de clase. Quizá el efecto fue más severo para las jovencitas al sumarse a otras derivaciones del maltrato hacia las mujeres. Como en el caso de la evaluación curricular, tampoco pueden anticiparse cambios radicales en estas perspectivas por la inercia social.

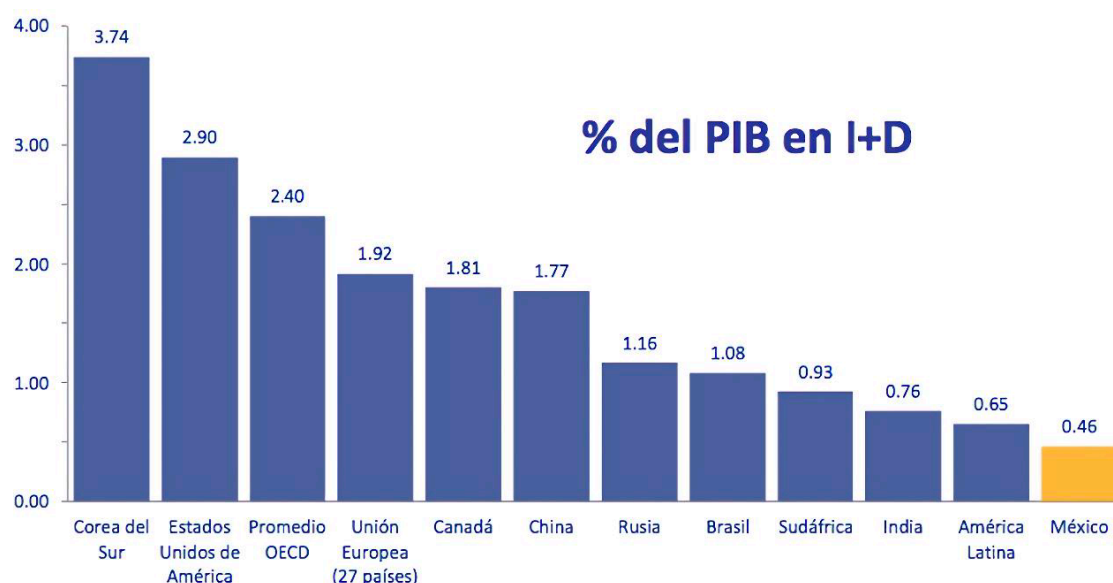


Figura 6. Financiamiento ciencia y tecnología en varios países, incluyendo México (Andrade-Ochoa 2017).

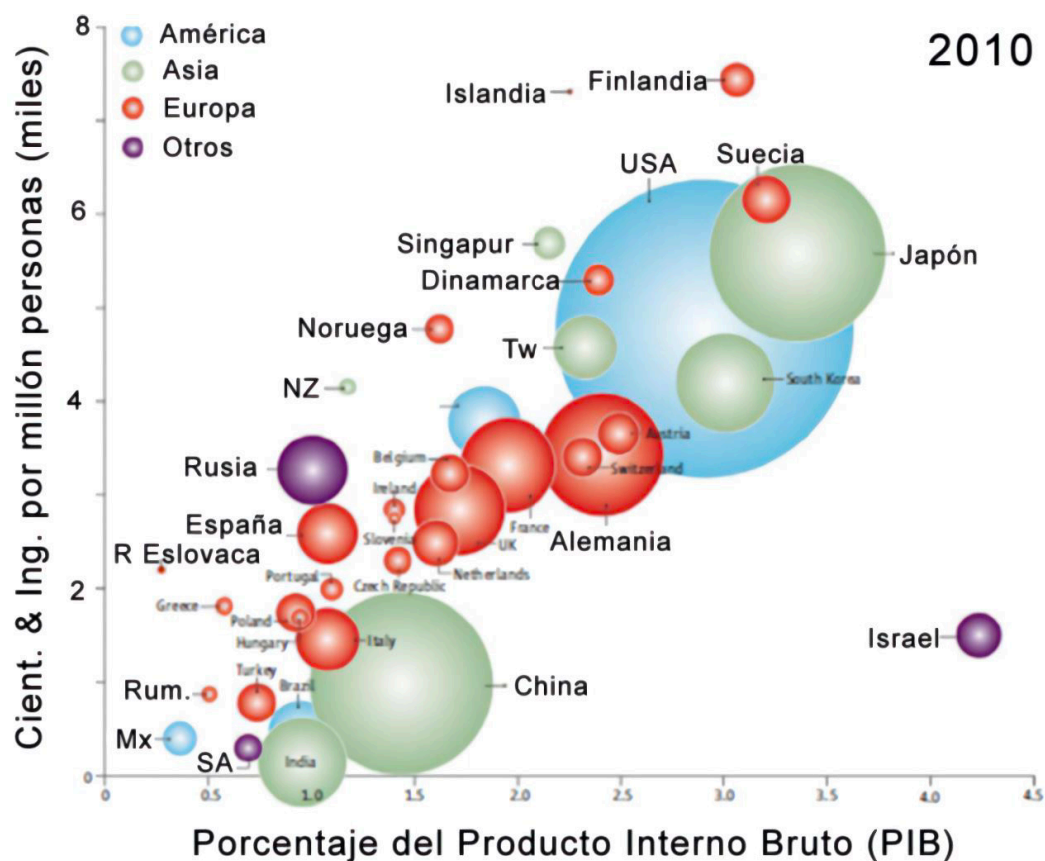


Figura 7. Gasto de investigación y desarrollo en relación con el número de científicos e ingenieros por millón de habitantes en varias naciones (Mx: México, NZ: Nueva Zelanda, Rum: Rumania, SA: Sudáfrica, Tw: Taiwán).

Otra dimensión del deterioro de la percepción social de los científicos se percibe en los salarios y en la disponibilidad de nuevas plazas para los recién doctorados. El Dr. Samuel Gómez, miembro de mi comité doctoral, me comentó que con su primer salario como profesor universitario había saldado sus deudas y comprado un reloj de buzo. En aquellos años, la única marca disponible era Rolex, y eran tan caros como ahora. Agregó que los salarios eran equivalentes a los de diputados y senadores. La diferencia creció muchísimo a favor de estos últimos, quizá porque están mejor organizados.

Una indicación de la percepción social del Estado hacia la ciencia como profesión se manifiesta en la inversión en ciencia como porcentaje del producto interno bruto (PIB). Cuando se publicó la primera Ley de Ciencia y Tecnología, se había fijado que era responsabilidad del Estado destinar el 1% del PIB. Mi entusiasmo fue tal que remití una carta festiva a la revista *Nature*. Hubo dos decepciones inmediatas. Se adicionó el transitorio vengador de “a reserva de disponibilidad” lo que significa “ya veremos qué hacer ahora que se publicó”. La segunda fue que el editor indicó que no publicaban propaganda. Ahora celebro que no se hubiera publicado; era producto de un entusiasmo febril por una idea que no cristalizó. Crucemos los dedos para que las nuevas generaciones disfruten que el Estado supere el 2% del PIB para la ciencia, ya que el pasado no ha sido venturoso (Plata 2005, Pérez-Tamayo 2017).

Por supuesto, los científicos en funciones debemos reconocer que el estado actual de la ciencia nacional es también resultado de nuestras actividades. Si no orientamos a los tomadores de decisiones, si no correspondemos con entrenamientos, charlas en distintos

foros, o notas de divulgación para los no especialistas, la perspectiva social seguirá siendo la clásica del aislado y encumbrado en una torre de marfil (Shapin 2012, Mendizabal 2018), cuya visión no rebasa el límite de su nariz. Debemos cambiar nuestro aislamiento y reducida interacción con un mayor entusiasmo para convencer a la sociedad, incluyendo al aparato del Estado, de las bondades de impulsar el desarrollo de la ciencia nacional, incluyendo el incremento generoso en los financiamientos disponibles, en el establecimiento de nuevas plazas o instituciones dedicadas a la investigación de problemas regionales o nacionales, y al fortalecimiento de los programas que han tenido una perspectiva mundial y merecen consolidarse. Será por la mejora de la ciencia, de nuestros estudiantes, y de la nación. No sobran esfuerzos y, la verdad, nadie lo hará por nosotros.

AGRADECIMIENTOS

El Dr. Pablo Liedo (ECOSUR) me invitó a realizar estas notas para un libro de utilidad potencial en el seminario de comunicación científica de la maestría en ciencias de ECOSUR, en donde el curso se denomina Seminario de Tesis. Aunque la idea está en pausa, espero que el resultado satisfaga sus expectativas y que los lectores encuentren algunas ideas o reflexiones positivas para su desarrollo académico. La cuidadosa lectura por Yessica Chávez-López, Christopher Cruz-Gómez, Daniel A. López-Sánchez y Gabriel A. Gómez-Rodríguez (todos de ECOSUR) resultó en notables mejoras para esta contribución. La atinada recomendación de María Ana Tovar-Hernández (UANL) de incorporar las cuestiones del posdoctorado complementó el panorama para esta contribución.



LITERATURA CITADA

- Aldana, M. 2012. ¿Qué le falta a la ciencia en México? *Temas*. 69: 26-30.
- Andrade-Ochoa, S. 2017. Ciencia en México y la reducción de becas CONACYT. <https://www.animalpolitico.com/zooneaton/ciencia-mexico-la-reduccion-becas-conacyt/>
- Bankston, A., Gurel, P. 2017. Choosing the right mentor for career success. *ASCB* 6 pp. <https://www.ascb.org/careers/choosing-right-mentor-career-success/>
- Bhartiya, S., Ichhpujani, P. 2013. How to choose a mentor? *Journal of Current Glaucoma Practice*. 7(3): 128-129. Doi: 10.5005/jp-journals-10008-1150
- Bourdieu, P. 2001. El oficio de científico: Ciencia de la ciencia y reflexividad. Anagrama, Barcelona, 213 pp.
- Bourne, P.E., Barbour, V. 2011. Ten simple rules for building and maintain a scientific reputation. *PLoS Computational Biology*. 7(6): e1002108. doi:10.1371/journal.pcbi.1002108
- Bourne, P.E., Friedberg, I. 2006. Ten simple rules for selecting a postdoctoral position. *PLoS Computational Biology* 2(11): e121, 2 pp. doi:10.1371/journal.pcbi.0020121
- Castañón, H., Muñiz, E. 2014. Mitos y realidades de la ciencia en México. Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, México, 120 pp, 4 anexos.
- Cerejido, M. 2009. La ciencia como calamidad: Un ensayo sobre el analfabetismo científico y sus efectos. Gedisa, Barcelona, 248 pp.
- CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología). 2016. Informe general del estado de la ciencia, la tecnología y la innovación 2015. CONACYT; México, 381 pp.
- CSEPP (Committee on Science, Engineering, and Public Policy, National Academy of Sciences, National Academy of Engineering, and Institute of Medicine of the National Academies). 2009. On being a scientist: A guide to responsible conduct in research. 3a ed., National Academies Press, Washington, 63 pp.
- De Grijis, R. 2015. Ten simple rules for establishing international research collaborations. *PLoS Computational Biology*. 11(10): e1004311. doi:10.1371/journal.pcbi.1004311
- Desjardins, M. 1994. How to succeed in graduate school: A guide for students and advisors, Part 1. *Crossroads, The ACM Magazine for Students*. 1(2): 3-9. <https://doi.org/10.1145/197149.197154>; Part 2. 2008. *Crossroads, The ACM Magazine for Students*. 14: 5-9. doi:10.1145/1375972.1375975
- Erren, T.C., Cullen, P., Erren, M., Bourne, P.E. 2007. Ten simple rules for doing your best research, according to Hamming. *PLoS Computational Biology*. 3(10): 2 pp, e213. doi:10.1371/journal.pcbi.0030213
- Erren, T.C., Slanger, T.E., Groß, J.V., Bourne, P.E., Cullen P. 2015. Ten simple rules for lifelong learning, according to Hamming. *PLoS Computational Biology* 11(2): e1004020. doi:10.1371/journal.pcbi.1004020
- Gu, J., Bourne, P.E. 2007. Ten simple rules for graduate students. *PLoS Computational Biology*. 3(11): e229. 10. 1371/journal.pcbi.0030229
- Hankel, I. 2021. 5 ways a postdoc will ruin your career. *CheekyScientist* <https://cheekyscientist.com/5-ways-a-postdoc-will-ruin-your-career/>
- Hatch, A., Curry, S. 2020. Changing how we evaluate research is difficult, but not impossible. *eLife*. 9:e58654.DOI: <https://doi.org/10.7554/eLife.58654>
- Henschel, A. 2020. Why seek a single mentor when you can have three – or more. *Nature*. 3 pp. <https://www.nature.com/articles/d415>
- Hernández-Guzmán, L., Nieto-Gutiérrez, J. 2010. La formación doctoral en México, historia y situación actual. *Revista Digital Universitaria*. 11(5), 5 pp. <http://www.revista.unam.mx/vol.11/num5/art46/#up>
- Herschberg, C., Benschop, Y., van den Brink, M. 2018. Precarious postdocs: A comparative study on recruitment and selection of early-career researchers. *Scandinavian Journal of Management*. 34: 303-310. <https://doi.org/10.1016/j.scaman.2018.10.001>
- Huang, K.-L. 2020. Ten simple rules for landing on the right job after your PhD or postdoc. *PLoS Computational Biology*. 16(4): e1007723. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1007723>
- Institute of Medicine. 2000. Enhancing the Postdoctoral Experience for Scientists and Engineers: A Guide for Postdoctoral Scholars, Advisers, Institutions, Funding Organizations, and Disciplinary Societies. The National Academies Press, Washington <https://doi.org/10.17226/9831>
- Kirton, H.M. s/a. The postdoc problem: To be in academia, or not to be in academia? <https://doi.org/10.36866/pn.109.36>
- Lewitter, F., Bourne, P.E., Attwood, T.K. 2019. Ten simple rules for avoiding and resolving conflicts with your colleagues. *PLoS Computation Biology*. 15(1): e1006708. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1006708>
- Liedo-Fernández, P., Salazar-Vallejo, S.I. 2010. La relevancia del Sistema CONACYT en la actividad científica. *EcoFronteras*. 38: 18-20.
- Lloyd, M. 2018. El sector de la investigación en México: entre privilegios, tensiones y jerarquías. *Revista de la Educación Superior ANUIES*. 47(185): 1-31.

- Lomnitz, C. 2016. Curriculismo mágico. *LaJornada*. Opinión. <http://www.jornada.unam.mx/2016/05/12/opinion/015a2pol>
- López-Calva, J.M., Luz-Lanzagorta, M.C., Gaeta-González, M.L. 2017. Dilemas éticos en la investigación científica desde la mirada de investigadores nacionales de una universidad privada en México. *Praxis Sociológica*. 22: 49-64.
- López-Molina, S.A. 2017. La producción científica en México: Una visión de la subcultura del neoliberalismo académico. *Enfoque Académico*, Universidad de Colima, Colima, 106 pp.
- Medawar, P.B. 1979. *Consejos a un joven científico*. Fondo de Cultura Económica, CONACYT (trad. 1982), México, 156 pp.
- Mendíbal, V.E. 2018. De la torre de marfil a la arena pública: El papel de los científicos en la comunicación de la ciencia y la tecnología. *Communication Papers, Media Literacy & Gender Studies*. 7(13):9-26. <https://raco.cat/index.php/communication/article/view/337913/428756>
- Pardo-Tomás, J. 2018. La historia natural y el coleccionismo en gabinetes de curiosidades y museos de papel; pp 59-66 In Cabré Pairet M & Varona MCC (eds), *Maria Sybilla Merian y Alida Withoos; Mujeres, Arte y Ciencia en la Edad Moderna*. Univ. Cantabria,
- Peña, A. 1995. La investigación científica en México: Estado actual, algunos problemas y perspectivas. *Perfiles Educativos*. 67, 10 pp. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=13206702>
- Pérez-Chavarría, E. 2019. La evaluación de los académicos a debate: comentarios desde la sociología de la ciencia. *Apuntes para un análisis integrado*. *Revista Estudiantil Latinoamericana de Ciencias Sociales*. 14:e0140032019. <https://doi.org/10.18504/r11408-003-2019>
- Pérez-Tamayo, R. 2017. El Estado y la ciencia en México: Pasado, presente y futuro; 31 pp. <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/6/2873/17.pdf>
- Plata, J.C. 2005. La ciencia en México se ha desarrollado a pesar del gobierno: Pérez Tamayo. *Gaceta Universidad Veracruzana*. 94-96; 7 pp. https://www.uv.mx/gaceta/Gaceta%2094-96/94-96/VENTANA/VENTANA_001.htm
- Polanyi, M. 1962. La República de la Ciencia: Su teoría política y económica. *Minerva*. 1: 54-74 (Trad. 2018 *Revista CTS*. 9(27): 185-203. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5124871.pdf>)
- Powell, K. 2020. Daunting but doable: Job searching after a postdoc. *Science* <https://www.science.org/content/article/daunting-doable-job-searching-after-postdoc>
- Ramos-Zinckle, C. 2018. Dispositivo de evaluación y gubernamentalidad del sistema educacional: entretimiento de ciencia social y poder. *Cinta Moebio*. 61: 41-55. doi: 10.4067/S0717-554X2018000100041
- Rodríguez-Miramontes, J., González-Brambila, C.N., Maqueda-Rodríguez, G. 2017. El Sistema Nacional de Investigadores en México: 20 años de producción científica en las instituciones de educación superior (1991-2011). *Investigación Bibliotecológica. Archivonomía, Bibliotecología e Información*. (Número Especial de Bibliometría): 187-219. <http://dx.doi.org/10.22201/iibi.24488321xe.2017.nesp1.57890>
- Ross, S. 1962. Scientist: The story of a word. *Annals of Science*. 18(2): 65-85. <https://doi.org/10.1080/00033796200202722>
- Salazar-Vallejo, S.I. 1989(1988). Enrique Rioja y su contribución al estudio de los poliquetos (Annelida: Polychaeta) en México. *Brenesia*. 30: 39-65.
- Salazar-Vallejo, S.I. 2014. La esencia de la maestría. *EcoFronteras*. 18(52), 2 pp. <https://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/eco/article/view/1539>
- Salazar-Vallejo, S.I. 2016. Reseña de libro: Wilson, Edward. O. 2013. *Letters to a young scientist*. Liveright, New York, 214 pp. *Sociedad y Ambiente*. 10: 132-136.
- Salazar-Vallejo, S.I., Carrera-Parra, L.F. 1998. Taxonomía biológica, factor de impacto y evaluación curricular para el siglo XXI. *Interciencia*. 23(5): 293-311.
- Salazar-Vallejo, S.I., González, N.E. 2016. Crisis múltiples en taxonomía: Implicaciones para la biodiversidad y recomendaciones para mejorar la situación. *Códice, Boletín Científico y Cultural del Museo Universitario de Antioquia*. 17(29): 42-56.
- Sánchez-Soler, M.D., Pinto-Veizaga, D. & Lezama-Amastalli, J. s/a. La estrategia de capital humano altamente calificado del Conacyt. *Ciencia Desarrollo* <https://www.cyd.conacyt.gob.mx/?p=articulo&id=398>
- Sarewitz, D. 2016. The pressure to publish pushed down quality. *Nature*. 533: 147.
- Scimago Lab. 2018. Principales indicadores científicos de la producción científica mexicana. Scimago, Madrid, 122 pp.
- Shapin, S. 2012. The Ivory Tower: the history of a figure of speech and its cultural uses. *British Journal for the History of Science*. 45:1-27. doi:10.1017/S0007087412000118
- Slaughter, S., Leslie, L.L. 1997. *Academic capitalism: Politics, policies, and the entrepreneurial university*. John Hopkins University Press, Baltimore, 276 pp.
- Woolston, C. 2019. The perils of a postdoc job. *Nature*. 565: 125-126. <https://www.nature.com/articles/d41586-018-07652-y>
- Woolston, C. 2020. Wheels of fortune: Uncertain prospects for postdocs. *Nature*. 588: 181-184. doi: 10.1038/d41586-020-03381-3

LAS SERPIENTES VENENOSAS DEL NORESTE DE MÉXICO II

CASCABEL DIAMANTADA OCCIDENTAL (*CROTALUS ATROX*)



/// DANIEL MONTOYA-FERRER¹, ERIC ABDEL RIVAS-MERCADO²,
SERGIO BARCENAS-ARRIAGA³, MANUEL DE LUNA⁴, ROBERTO GARCÍA-
BARRIOS⁵ Y DAVID LAZCANO-VILLARREAL⁶ UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE NUEVO LEÓN, FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS^{1,5,6},
FACULTAD DE MEDICINA², FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES⁴
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, INSTITUTO DE
BIOTECNOLOGÍA³

Autor de correspondencia: scolopendra94@gmail.com

RESUMEN

Este artículo compila información sobre diferentes aspectos de la biología de la cascabel diamantada occidental (*Crotalus atrox*), un crótalo norteamericano que puede encontrarse en EE. UU. y México. Específicamente, este artículo trata sobre su descripción morfológica, historia taxonómica, hábitat, comportamiento, dieta, reproducción, veneno y conservación.

ABSTRACT

This article compiles information on different aspects of the biology of the western diamondback rattlesnake (*Crotalus atrox*), a pit viper native to USA and Mexico. Specifically, this article deals with its morphological description, taxonomic history, habitat, behavior, diet, reproduction, venom and conservation.



Palabras clave: Víbora serrana, víbora de cascabel, rabo seco, vipéridos, crótalos

Key words: Viperid, pit viper.

INTRODUCCIÓN

La familia Viperidae se encuentra compuesta por serpientes venenosas de dentición de tipo solenoglifa (con dientes inyectoros delanteros móviles) las cuales son comúnmente llamadas “víboras” (“vipers” en idioma inglés). En América se presenta solo la subfamilia Crotalinae la cual presenta la característica de tener un par de fosas termorreceptoras (llamadas fosas loreales), que se encuentran entre la narina y el ojo (Fig. 1) y tienen la función de detectar el calor emanado por su presa, las víboras de esta subfamilia son llamadas “crótalos” (“pit vipers” en idioma inglés) (Campbell y Lamar, 2004). En el noreste de México (Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas), esta subfamilia se encuentra representada por cuatro géneros: *Agkistrodon* que incluye al cantil de Taylor y a la cabeza de cobre de bandas amplias, *Bothrops* que incluye a la nauyaca, y *Crotalus* y *Sistrurus* que son las cascabeles (Lemos-Espinal y Smith, 2016; Nevárez-de-los-Reyes et al. 2016; Terán-Juárez et al. 2016). El género *Crotalus* difiere de *Agkistrodon* y *Bothrops* en que presenta un cascabel (o botón) en la cola (Fig. 2) y de *Sistrurus* debido a que presenta muchas escamas pequeñas en la cima de la cabeza, mientras que en *Sistrurus* solo hay nueve escamas grandes (Campbell y Lamar, 2004).

Los géneros *Crotalus* y *Sistrurus* presentan un característico cascabel el cual consiste en la acumulación de piel mudada del botón que se encuentra al final de la cola (Fig. 2); es utilizado como herramienta de

advertencia ante amenazas percibidas por la serpiente. La advertencia consiste en vibrar dicha ornamentación de forma extremadamente rápida causando un sonido fuerte y reconocible. El cascabel es de naturaleza frágil, por lo que no es raro que se fragmente o se pierda. Cada vez que la serpiente muda de piel se añade un segmento al cascabel, añadiendo varios segmentos al año; es por esta razón que la creencia de que el número de cascabeles determina la edad de la serpiente es errónea (Bradley et al., 2016).



Figura 1. Aspecto lateral de la cabeza de una nauyaca (*Bothrops asper*); puede apreciarse la fosea termorreceptor entre la narina y el ojo, característica de la subfamilia Crotalinae.



Figura 2. Aspecto lateral de la cola de una cascabel diamantada occidental (*Crotalus atrox*); puede apreciarse el cascabel y la cola blanquinegra.

En México se distribuyen 45 especies de *Crotalus*, haciéndolo el país con mayor diversidad de especies de este género. Particularmente, la porción noreste de México alberga 9 especies: la cascabel diamantada del oeste *Crotalus atrox* (Fig. 3), la cascabel moteada de las rocas *Crotalus lepidus*, la cascabel cola-negra *Crotalus molossus*, la cascabel tamaulipeca de las rocas *Crotalus morulus*, la cascabel cola-negra oriental *Crotalus ornatus*, la cascabel de manchas gemelas *Crotalus pricei*, la cascabel verde de Mojave *Crotalus scutulatus*, la cascabel tropical totonaca *Crotalus totonacus* y la cascabel de las praderas *Crotalus viridis* (Lazcano et al. 2019; Lemos-Espinal y Smith, 2016; Nevárez-de-los-Reyes et al. 2016; Terán-Juárez et al. 2016), estas se encuentran presentes en prácticamente todos los ecosistemas de la región, algunas especies incluso incursionan a zonas rurales y periurbanas, donde frecuentemente se involucran con actividades antropogénicas, lo cual puede derivar en eventos o accidentes que pueden ser perjudiciales tanto para la serpiente, como para el humano.

De todas las cascabeles de México, *Crotalus atrox* es la especie más larga; es fácilmente distinguible de *C. lepidus*, *C. morulus* y *C. pricei* por el patrón de su cuerpo el cual es diamantado (Fig. 3), a diferencia de estas tres cascabeles que presentan un patrón bandeado o manchado. Difiere de *C. molossus*, *C. ornatus* y *C. totonacus* en el patrón de su cola, el cual es bandeado: blanco y negro (Fig. 2), a diferencia de estas otras especies que presentan una cola usualmente negra y sin patrón (pueden distinguirse

algunas bandas difuminadas en algunos ejemplares). *Crotalus viridis* generalmente tiene un color gris verdoso y las bandas de su cola son del mismo color que su cuerpo, en vez de blanquinegro. *Crotalus atrox* es más similar a *C. scutulatus*, de la cual puede ser fácilmente diferenciada por las escamas presentes entre las escamas supraoculares, numerosas en el caso de *C. atrox* (Fig. 4) y apenas 2 o 3 en el caso de *C. scutulatus* (Fig. 5).

Muy similar a todas las especies del género *Crotalus*, el nombre común que se le da en México a *C. atrox* es "víbora de cascabel", "serpiente de cascabel" o simplemente "cascabel", aunque también se le llama "víbora serrana" o "rabo seco" (SEMARNAT, 2018).

DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

Crotalus atrox es una de las serpientes más grandes del noreste de México, siendo solo superada por la arroyera negra *Drymarchon melanurus*, la ratonera tigre *Spilotes pullatus*, la nauyaca *Bothrops asper* y la mazacuata *Boa imperator*. Si bien la longitud promedio es de 120 cm, existen reportes de ejemplares que superan los 230 cm (Lemos-Espinal et al 2015; SEMARNAT, 2018).

La coloración dorsolateral es usualmente gris con manchas oscuras, presentando un patrón vertebral con un gran y marcado rombo o "diamante" de color claro, bordeado por ejes oscuros (Fig. 3). Si bien se mantiene este patrón y color base normal, es posible que se presenten variaciones de acuerdo con las poblaciones y tamaño del ejemplar (Spencer, 2008). La cola es siempre bicolor, blanquinegra y en la mayoría de los casos, las bandas negras son subiguales en tamaño a las bandas blancas (Fig. 2).

Una banda de color gris oscuro, con bordes anteriores y posteriores delineados por blanco, enmascaran de forma diagonal los laterales de la cabeza, camuflando parcialmente los grandes y claros ojos (Tennant, 2006) (Fig. 6).

La escamación de esta especie es la siguiente: Posee 12-18 escamas supralabiales, 14-20 escamas infralabiales, 23-29 filas de escamas a la mitad del cuerpo, 168-193 escamas ventrales en machos y 174-196 en hembras, 21-32 escamas subcaudales en machos y 16-24 en hembras.



Figura 3. Cascabel diamantada occidental (*Crotalus atrox*) tomando una postura defensiva



Figura 4. Aspecto dorsal de la cabeza de una cascabel diamantada occidental (*Crotalus atrox*).



Figura 5. Aspecto dorsal de la cabeza de una cascabel verde de Mojave (*Crotalus scutulatus*).

HISTORIA TAXONÓMICA

Fue originalmente descrita por Baird y Girard en 1853. *Crotalus atrox* ha sufrido pocos cambios taxonómicos, dentro de los cuales destaca una confusión entre los años 1822 y 1935 en el que no solo *C. atrox*, sino también *C. viridis*, eran referidas como *Crotalus confluentus* (Campbell & Lamar, 2004). Amaral en 1929 propuso a *Crotalus tortuguensis* como sinonimia, posteriormente, esta sería considerada como una subespecie, *C. atrox tortuguensis* y luego de nuevo como una sinonimia de *C. atrox*. Aunque Zaher et al. (2019) encontraron suficiente diferencia genética entre las poblaciones de *C. atrox* del continente y de Isla Tortuga para catalogarlas como especies distintas, esto no ha sido ampliamente aceptado y algunas autoridades taxonómicas no reconocen a *C. tortuguensis* como una especie válida.

DISTRIBUCIÓN

Crotalus atrox es una de las cascabeles con mayor rango de distribución (Castoe et al. 2006). Se le encuentra desde el noreste de Baja California a través de Sonora y norte de Sinaloa, sobre casi todo Chihuahua excepto por la Sierra Madre Occidental. A través de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, y en la parte noreste de Durango y Zacatecas. También en Querétaro, Guanajuato e Hidalgo, el extremo norte de Veracruz y casi todo San Luis Potosí excepto por la parte más sureña. En Estados Unidos se distribuye desde Arkansas y norte-centro de Oklahoma, extendiéndose hacia el oeste, hasta el sur de California, y hacia el suroeste a través de partes de Arizona, Nuevo México y por supuesto, gran parte de Texas (Lemos-Espinal et al. 2015). Existen registros que localizan a la especie con incluso un rango más occidental en los estados de Aguascalientes (Quintero-Díaz & Carbajal-Márques, 2017) y Jalisco (Villalobos-Juárez & Sigala-Rodríguez, 2019); el registro mas al sur de esta especie se encuentra en el estado de Oaxaca

HÁBITAT

Crotalus atrox puede ser encontrada en prácticamente todos los hábitats terrestres que están dentro de su rango de distribución. Su rango altitudinal va desde el nivel del mar hasta los 2,500 metros (Lemos-Espinal et al. 2015). Proliferan especialmente en las zonas que presentan el tipo de vegetación de matorral espinoso tamaulipeco. Debido a su afinidad por los roedores (sean estos nativos o introducidos) es común encontrarlas en áreas rurales y zonas periurbanas. Cabe mencionar que esta especie comparte hábitats con otras cascabeles de nichos más específicos tales como elevaciones rocosas (*C. lepidus*, *C. molossus* y *C. ornatus*) y praderas (*Sistrurus tergeminus*); sin embargo, la especie con la que más comparte hábitat: matorrales bajos, praderas y pastizales halófilos, es *C. scutulatus* (Tennant, 2006).



Figura 6. Aspecto lateral de la cabeza de una cascabel diamantada occidental (*Crotalus atrox*).

COMPORTAMIENTO

Se trata de una especie de hábitos crepusculares y nocturnos, variando sus picos de actividad de acuerdo con la temporada. Para los meses de Mayo y Junio, las actividades de caza se dividen en la mañana y en la noche, mientras que las altas temperaturas de Julio y Agosto limitan estas actividades a las altas horas de la noche (Fig. 7). En algunas zonas norteñas de su rango de distribución, esta especie dedica los meses de invierno a brumar en madrigueras comunales que pueden albergar decenas de individuos de esta y otras especies. En las regiones sureñas de su rango, dentro de la cual entra la región noreste de México, este comportamiento no ha sido registrado. En cambio, se presentan picos de actividad en meses invernales en días donde la temperatura aumenta lo suficiente (Tennant, 2006).

Esta serpiente es considerada una serpiente altamente alerta y defensiva, que responde rápidamente a cualquier amenaza ya sea de día o de noche. El comportamiento típico consiste en enroscarse y levantar el cuerpo varios centímetros formando una "S", agitando vigorosamente el cascabel, preparada para morder al atacante (Fig. 3), generalmente retrocediendo en la búsqueda de un refugio (Lemos-Espinal et al. 2015).

DIETA

Se han documentado numerosas presas para esta especie (Campbell & Lamar, 2004), de entre las cuales se encuentran roedores (géneros *Dipodomys*, *Microtus*, *Neotoma*, *Perognathus*, *Peromyscus*, *Rattus*, *Mus*, *Sigmodon*, *Spermophilus*, etc), lagomorfos (géneros *Lepus* y *Sylvilagus*), aves (géneros *Eremophila*, *Amphispiza*, *Pipilo*, etc.) y lagartijas (géneros *Aspidoscelis*, *Phrynosoma*, *Sceloporus*, *Coleonyx*, etc.).

REPRODUCCIÓN

Hembras y machos suelen alcanzar la madurez sexual al rebasar los 70-75 cm lo que ocurre entre los 2 y 4 años dependiendo en gran medida de la disponibilidad de alimento (Taylor y Denardo, 2005). Las temporadas de actividad reproductiva son similares entre las poblaciones del este y oeste norteamericano, observándose cópulas tanto a finales de invierno y durante la primavera en los meses de febrero, marzo y abril, como en otoño, durante los meses de septiembre y octubre (Taylor y Denardo, 2005). Las hembras comienzan la vitelogénesis en primavera y ovulan al iniciar el verano para dar a luz a finales de éste, se han observado camadas desde mediados de julio hasta mediados de septiembre (Landreth, 1973; Taylor y Denardo, 2005). Las camadas pueden variar desde 2 a 7 neonatos (Taylor y Denardo, 2005). A pesar del peligro que representa, esta especie es comúnmente mantenida en cautiverio por particulares quienes a menudo buscan criar variedades con fenotipos aberrantes (Fig. 8) o "morphs", como se les llama en la herpetocultura; hasta ahora los genes causantes de estas mutaciones de patrón en *C. atrox* son todos recesivos (Bartlett & Wray, 2005).

VENENO

Crotalus atrox es una de las serpientes de cascabel que causa el mayor número de mordeduras en el Sur de Estados Unidos y Norte de México (Gold et al., 2004). Su veneno está compuesto por diferentes familias de proteínas: metaloproteinasas (49.7%), serinoproteinasas (19.8%), L-amoniácido oxiadas (8%), fosfolipasas A₂ (7.3%), desintegrinas (6.2%), proteínas secretoras ricas en cisteína (4.3%) y péptidos vasoactivos (3%); sin embargo, hasta la fecha no se han registrado componentes neurotóxicos como ocurre en otras serpientes de cascabel, por ejemplo *Crotalus scutulatus*, *Crotalus tigris*, *Crotalus lepidus* y *Crotalus simus* (Calvete et al., 2009; Calvete et al., 2012). Cabe mencionar que

la composición del veneno de *C. atrox* puede variar entre individuos, por región geográfica, ontogenia y temporada del año (Rex y Mackessy, 2019).

Los envenenamientos causados por *C. atrox*, se caracterizan por inducir citotoxicidad, miotoxicidad, hemotoxicidad y hemorragias en las personas mordidas. Las principales responsables de estos daños son las metaloproteasas, serinoproteasas y fosfolipasas A₂ (Calvete *et al.*, 2009).

Una persona mordida por *C. atrox*, debe acudir inmediatamente a un hospital para recibir atención médica y que puedan administrarle los antivenenos. Dichos antivenenos están constituidos por inmunoglobulinas (o parte de ellas) obtenidas a partir de un animal previamente hiperinmunizado (en México se utilizan caballos), siendo el único tratamiento validado científicamente. Su función es muy básica, las inmunoglobulinas se unen a las toxinas de los venenos y detienen su actividad dañina (Gutiérrez, 2018). Nunca se debe recurrir a tratamientos tradicionales como hacer cortes en la zona de la mordedura, succionar, aplicar

hielo, choques eléctricos, torniquetes, entre otros; ya que se ha demostrado su ineficacia (Gil-Alarcón *et al.*, 2011).

CONSERVACIÓN

El conflicto entre humanos y serpientes (en especial serpientes venenosas), se define como cualquier acción de una de las partes que tiene un efecto adverso en la otra (Conover, 2001). Los efectos de este conflicto pueden ser lesiones o incluso la muerte por ataques de humanos a serpientes o serpientes a humanos (Karanth *et al.* 2018). Otra vía de disminución por muerte a esta y otras especies de reptiles, son los atropellos con vehículos (Saint-Andrieux *et al.* 2020) de esta última forma de conflicto ha sido plenamente observada durante los recorridos que son parte de la actual colaboración con el Instituto de Biotecnología, UNAM, como parte del esfuerzo para re-caracterización del veneno de esta especie. Esta serpiente se encuentra incluida en la categoría de "Protección Especial" en la NOM-059-SEMARNAT-2010.



Figura 7. Cascabel diamantada occidental (*Crotalus atrox*) encontrada durante la noche.



Figura 8. Patrones aberrantes de la cascabel diamantada occidental (*Crotalus atrox*) que comúnmente se crían en cautiverio. A) Bubblegum (morfo de diseñador, combinación de Albino Tiranosina - y Hypermelanistic). B) Hypermelanistic (morfo simple, con mucha expresión de melanina). C) Patternless (morfo simple, sin patrón en cuerpo ni cola); foto de Patrick Talmon de Elite Venom Reptiles. D) Albino Tiranosina - (morfo simple, sin expresión de melanina).



LITERATURA CITADA

- Amaral, A. 1929. Studies of nearctic ophidia IV. On *Crotalus tortugensis* Vandenburg and Slevin, 1921, *Crotalus atrox elegans* Schmidt, 1922, and *Crotalus atrox lucasensis* (Vandenburg, 1920). Bull. Antivenin Inst. America 2 (4): 85-86.
- Baird, S. F. y Girard C. 1853. Catalogue of North American Reptiles in the Museum of the Smithsonian Institution. Part 1.-Serpents. Smithsonian Inst., Washington, xvi + pp. 172.
- Barlett, R.D. y Wray, K. 2005. Vipers: a guide for advanced hobbyist (Complete Pet Owner's Manual). Barron's Educational Series, New York, USA
- Calvete, J.J., Fasoli, E., Sanz, L., Boschetti, E. y Righetti, P.G. 2009. Exploring the Venom Proteome of the Western Diamondback Rattlesnake, *Crotalus atrox*, via Snake Venomics and Combinatorial Peptide Ligand Library Approaches. J. Proteome Res., 8, 3055-3067.
- Calvete, J.J., Pérez, A., Lomonte, B., Sánchez, E.E. y Sanz, L. 2012. Snake venomics of *Crotalus tigris*: The minimalist toxin arsenal of the deadliest nearctic rattlesnake venom. Evolutionary clues for generating a pan-specific antivenom against crotalid type II venoms. J. Proteome Res. 11, 1382-1390.
- Campbell, J.A. y Lamar, W.W. 2004. The venomous reptiles of the western hemisphere Volume 1. Comstock Publishing Associates. 274-290.
- Cardwell, M. 2020. The Mohave Rattlesnake – and how it became an urban legend. ECO Publishing, USA.
- Castoe, T. A., Spencer, C.L. y Parkinson, C. L. 2006. Phylogeographic structure and historical demography of the western diamondback rattlesnake (*Crotalus atrox*): A perspective on North American desert biogeography. Molecular Phylogenetics and Evolution 42 (2007) 193-212.
- Conover, M. R., 2001. Resolving Human-Wildlife Conflicts: The Science of Wildlife Damage Management. CRC Press, Florida, USA.
- Gil-Alarcón, G., Sánchez-Villegas, M.C. y Reynoso, V.H., 2011. Tratamiento prehospitalario del accidente ofídico: revisión, actualización y problemática actual. Gaceta Médica de México 147(3), 195-208.
- Gold, B.S., Barish, R.A. y Dart, R.C. 2004. North American snake envenomation: diagnosis, treatment, and management. Emerg. Med. Clin. N. Am. 22, 423-443.
- Gutiérrez, J.M. 2018. Preclinical assessment of the neutralizing efficacy of antivenoms in Latin America and the Caribbean: A review. Toxicon 146, 138-150.
- Karanth, K. K., Gupta, S. y Vanamamalai, A., 2018. Compensation payments, procedures and policies towards human-wildlife conflict management: Insights from India. Biological Conservation, 227: 383-389.
- Landreth, H. F., 1973. Orientation and Behavior of the Rattlesnake, *Crotalus atrox*. Copeia, 1: 26-31.
- Lazcano, D., Nevárez-de-los-Reyes, M., García-Padilla, E., Johnson, J. D., Mata-Silva, V., DeSantis, D.L. y Wilson, L.D. 2019. The herpetofauna of Coahuila, Mexico: composition, distribution, and conservation status. Amphibian & Reptile Conservation 13(2): 31-94.
- Lemos-Espinal, J.A. Smith H.M, Dixon, J. R. y Cruz, A. 2015. Amphibians and reptiles of the state of Sonora, Chihuahua and Coahuila, México. CONABIO. México 463-464.
- Lemos-Espinal, J.A. y Smith, G.R. 2016. Amphibians and reptiles of the state of Coahuila, Mexico, with comparison with adjoining states. ZooKeys 593: 117-137.
- Nevárez-de-los-Reyes, M., Lazcano-Villareal, D., García-Padilla, E., Mata-Silva, V., Johnson, J.D. y Wilson, L.D. 2016. The herpetofauna of Nuevo León, Mexico: composition, distribution, and conservation. Mesoamerican Herpetology 3(3): 558-636.
- Quintero-Díaz, G.E. y Carbajal-Márquez, R.A. 2017. The Western Diamond-backed, *Crotalus atrox* Baird and Girard, 1853 (Squamata:Viperidae): a new state record for Aguascalientes, México. Herpetology Notes. Vol. 10: 251-253.
- Rex, C.J. y Mackessy, S.P. 2019. Venom composition of adult Western Diamondback Rattlesnakes (*Crotalus atrox*) maintained under controlled diet and environmental conditions shows only minor changes. Toxicon 164, 51-60.
- Saint-Andrieux, C., Calenge, C. y Bonenfant, C. 2020. Comparison of environmental, biological and anthropogenic causes of wildlife-vehicle collisions among three large herbivore species. Population Ecology, 62: 64-79.
- SEMARNAT, 2018. Programa de Acción para la Conservación de las Especies: Serpientes de Cascabel (*Crotalus* spp.). Semarnat/Conanp, México.
- Spencer, C.L. 2008. Geographic Variation in Western Diamond-

Backed Rattlesnakes (*Crotalus atrox*) Morphology. Pp 69.
Hayes, W. K., Beaman, K.R., Carwell, M. D. y Busch, S. P. The
Biology of Rattlesnakes. Loma Linda University Press. Loma
Lina, California.

Taylor E. N. y Denardo, D. F. 2005. Sexual size dimorphism and
growth plasticity in snakes: an experiment on the western
diamond-backed rattlesnake (*Crotalus atrox*). Journal of
experimental zoology 303A: 598-607.

Tennant, A. 2006. Lone Star Field Guide to Texas Snakes. Tercera
edición. Taylor Trade Publishing. Lanham, Maryland- 239-
242

Terán-Juárez, S.A., García-Padilla, E., Mata-Silva, V., Johnson, J.D.
y Wilson, L.D. 2016. The herpetofauna of Tamaulipas,
Mexico: composition, distribution, and conservation status.
Mesoamerican Herpetology 3(1): 60

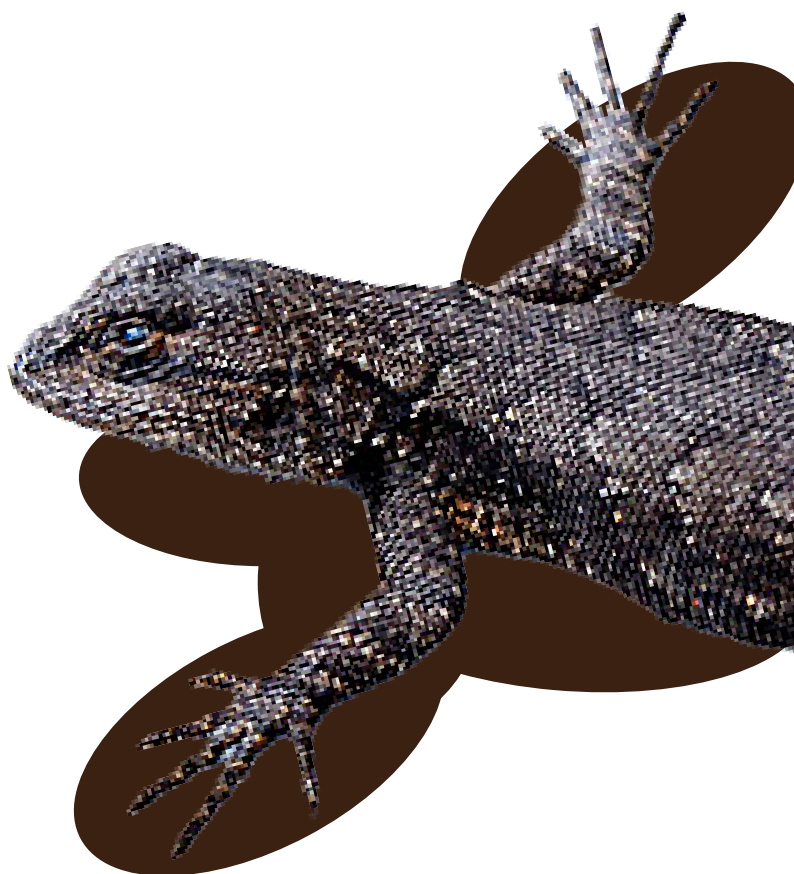
Villalobos-Juárez, I. y Sigala-Rodríguez, J. 2019. Geographic
Distribution: *Crotalus atrox* (Western Diamond-backed
Rattlesnake) Mexico: Jalisco: Municipality of Ojuelos
Herpetological Review 50 (2): 330.

Zaher, H., Murphy, R.W., Arredondo, J.C., Graboski, R., Machado-
Filho, P.R., Mahlow, K., Montingelli, G.G., Bottallo-Quadros,
A., Orlov, N.L., Wilkinson, M., Zhang, Y.P. y Grazziotin, F.G.
2019. Large-scale molecular phylogeny, morphology,
divergence-time estimation, and the fossil record of
advanced caenophidian snakes (Squamata: Serpentes). Plos
One 14(5).



LOS AGROECOSISTEMAS COMO REFUGIOS DE LA BIODIVERSIDAD: EL CASO DE LOS ANFIBIOS Y REPTILES

ADRIAN LEYTE-MANRIQUE¹, CARLOS JESÚS BALDERAS-BALDIVIA^{2*},
SAMUEL CADENA-RICO³ Y CLAUDIA BALLESTEROS-BARRERA⁴



¹Laboratorio de Biología, Tecnológico Nacional de México, Campus, Salvatierra, Guanajuato, México. Manuel Gómez Morín 300, 38933, Janicho, Salvatierra, Gto.

²Biodiversidad y Conservación de la Naturaleza, Dirección de Formación e Investigación de la Dirección General de Divulgación de la Ciencia, Universidad Nacional Autónoma de México, Zona Cultural, Cd. Universitaria, 04510, Coyoacán, CDMX.

³Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN). Blvd. Villas de Irapuato 1460, Local 5, 36643, Plaza Provincia Cibeles, Irapuato, Guanajuato.

⁴Departamento de Biología, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco 186, 09340, Col. Vicentina, Del. Iztapalapa, CDMEX.

*Correspondencia: cjbv@unam.mx

RESUMEN

Tradicionalmente, se considera que la mayor diversidad de especies ocurre en sitios conservados. Sin embargo, los ambientes modificados como los agroecosistemas pueden contener una parte importante de la diversidad original. En este trabajo, comparamos la herpetofauna de cuatro agroecosistemas en dos localidades del estado de Guanajuato. Janicho y Urireo, con un sistema de producción de temporal, y El Copal y San Nicolás de los Agustinos, con sistema de riego. Así mismo, comparamos la herpetofauna de estos sitios (no conservados) con la de sitios semiconservados y conservados del estado de Guanajuato. Encontramos que la localidad de El Copal, presentó el mayor número de especies, lo que sugiere que, al ser un sistema de producción de riego, aporta a los anfibios y reptiles que se encuentran en él, refugio y alimento constante, a diferencia de las localidades de Urireo y Janicho, con sistemas de producción temporal, y que dependen de las lluvias para retener una mayor cantidad de especies. En el caso de San Nicolás de los Agustinos, consideramos que la cercanía con la selva baja permitió un flujo de especies en ambas direcciones, por ello, su menor cantidad de especies. Al hacer la comparación de los sitios (no conservados) de estudio con los semiconservados y conservados, encontramos que en conjunto albergan una herpetofauna equiparable con estos últimos. Sugerimos que los agroecosistemas, pueden funcionar a modo de zonas de refugio y alimentación temporal para las especies de anfibios y reptiles tolerantes a la perturbación, o que transitan de zonas perturbadas a aquellas semiconservadas y conservadas. Por lo tanto, sugerimos que, en estudios futuros, se analice con profundidad la estructura ecológica de estos sitios y determinar a partir de ello, hasta qué punto los agroecosistemas pueden mantener la diversidad de anfibios y reptiles.

ABSTRACT

Traditionally, the greatest diversity of species has been considered to be found in conserved sites. However, modified environments such as agroecosystems can contain a significant part of the original diversity. In this work, we compare the herpetofauna of four agroecosystems in two localities in the state of Guanajuato. Janicho and Urireo, with a temporary production system, and El Copal and San Nicolás de los Agustinos, with an irrigation system. Likewise, we compared the herpetofauna of these sites (not conserved) with that of semi-preserved and conserved sites in the state of Guanajuato. We found that the agroecosystems in the town of El Copal, presented the largest number of species, which suggests that being an irrigation production system, provides amphibians and reptiles found in it, shelter and constant food, unlike of the towns of Urireo and Janicho, with temporary production systems, and that depend on the rains to retain a greater number of species. In the case of San Nicolas de los Agustinos, we consider that the proximity to the lowland forest, allowed a flow of species in both directions, therefore, its fewer species. When comparing the study sites (not conserved) with the semi-preserved and conserved ones, we found that together they harbor a herpetofauna comparable to the latter. We suggest that agroecosystems can function as temporary refuge and feeding areas for amphibian and reptile species that are tolerant to disturbance, or that move from disturbed to semi-conserved areas. Therefore, we suggest that, in future studies, the ecological structure of these sites be analyzed in depth and determine from it, to what extent agroecosystems can maintain native diversity of amphibian and reptiles.



Palabras clave: anfibios, reptiles, diversidad, Irapuato, Salvatierra, Guanajuato.

Key words: amphibians, reptiles, diversity, Irapuato, Salvatierra, Guanajuato.

INTRODUCCIÓN

La diversidad biológica de anfibios y reptiles de México es una de las más ricas y complejas del mundo, pues es el resultado de numerosos eventos geológicos y biológicos (Flores-Villela y Gerez, 2005), y particularmente para el caso de estos vertebrados se han registrado hasta el momento en el país un total de 1,362 herpetozoos, de las cuales 417 son de anfibios y 945 de reptiles (Herpetología Mexicana, 2021). Esto pone de manifiesto la gran diversidad de anfibios y reptiles en distintas regiones ecológicas de nuestro país.

Los listados para los anfibios y reptiles de México se inician entre los años 40's y 60's con los trabajos de Smith y Taylor (1966), los que culminarían con la "lista anotada" para la herpetofauna mexicana, y que siguen siendo hasta hoy la base para el inventario taxonómico en nuestro país (Ramírez-Bautista *et al.* 2014). Más allá de las listas de especies para incrementar el conocimiento de la herpetofauna de México en cuanto a su diversidad, riqueza, biogeografía y ecología, hay una trascendencia notable porque éstas sirven para implementar planes de manejo y estrategias de conservación. Los estudios herpetofaunísticos han sido llevados a cabo en ambientes conservados, que por su peculiaridad y valor ambiental suelen ser enmarcados en lo que conocemos como áreas naturales protegidas (ANP; Jiménez-Sierra *et al.* 2014; Ramírez-Bautista *et al.* 2014; Cruz-Elizalde *et al.* 2018). Lo anterior, debido a que la relación de la ecuación es simple; a menor impacto de los ecosistemas, se tendrá la mayor diversidad por causas naturales, generando así, la visión general que se ha manejado en los últimos casi 30 años (Valle-Rodríguez, 2006). Las ANP no sólo se vislumbran como centros de diversidad biológica, sino también de diversidad paisajística y biocultural, pues dentro de ellas, también se encuentran comunidades humanas (mestizas y/o indígenas) que conviven directamente con la diversidad que les rodea junto con muchas de las actividades que se llevan a cabo (Jiménez-Sierra *et al.* 2014).

Lamentablemente, las actividades humanas (e.j., industria, ganadería y agricultura), han afectado la riqueza y diversidad de diversos grupos biológicos, así como su distribución y estructura de poblaciones y comunidades, sea el caso de los anfibios y reptiles (Leyte-Manrique *et al.* 2019). En este sentido, pocos estudios han sido generados en relación con la diversidad de especies de anfibios y reptiles en ambientes modificados, como es el caso de los agroecosistemas (Pineda y Halffter, 2004; Macip-Ríos y Casas-Andreu, 2008; Leyte-Manrique *et al.* 2019). Altieri (1999) define a los agroecosistemas como "comunidades de plantas y animales interactuando con su ambiente físico y químico que ha sido modificado para producir alimentos y otros productos para el consumo y procesamiento humano" y dentro este contexto, la agricultura es vista como un agroecosistema en el que se encuentran interactuando tanto las especies cultivadas como especies silvestres, son sistemas abiertos muy complejos de intercambio de energía y que conllevan distintas formas de producción (Faden & Beauchamp, 1986; Ruiz, 2006).

En el estado de Guanajuato existen 24 ANP, en las que se ha registrado una herpetofauna de 86 especies (21 de anfibios y 65 de reptiles; Báez-Montes, 2018). Sin embargo, y a pesar de este avance sobre la herpetofauna en Guanajuato, aún quedan huecos de información biológica que recabar sobre las especies y poblaciones. Específicamente, aquellas que se encuentran fuera de los límites de las ANP, ya sea en ambientes no decretados bajo ninguna categoría de protección, o bien, aquellas inmersas en los territorios de la industria, agricultura, ganadería y asentamientos humanos. No obstante, estudios realizados en ambientes alterados muestran que, aunque las modificaciones de los hábitats conlleven a la pérdida de hábitat para algunas especies, hay otras especies para las que representan nuevas condiciones favorables para la colonización, ayudando a su permanencia en los ambientes resultantes (Van Horne, 1983; Urbina-Cardona *et al.* 2006). Sin embargo, ello no es fácil de evaluar y conlleva a preguntarse ¿qué es lo que pasa con la herpetofauna en los ambientes antropizados?, de los cuales se piensa que los valores de diversidad son bajos y que las condiciones para retener a las especies son desfavorables (Pacheco-Figueroa *et al.* 2015). Considerando lo anterior y teniendo como base a los agroecosistemas y su percepción negativa para la biodiversidad, el objetivo del presente trabajo es presentar el listado de anfibios y reptiles registrados en agroecosistemas de maíz de cuatro localidades en los municipios de Salvatierra e Irapuato, Guanajuato. Además, se hace una comparación con datos de riqueza entre ambientes con distinto tipo de manejo, como serían los agroecosistemas estudiados con sitios conservados como las ANP y sitios semiconservados, como son algunos lugares que, aunque presentan perturbación humana, aún mantienen áreas conservadas con la finalidad de resaltar un aspecto pocas veces revisado y analizado en los agroecosistemas y su capacidad para dar refugio a los anfibios y reptiles.

ÁREA DE ESTUDIO

Los sitios de trabajo corresponden a agroecosistemas de maíz de los municipios de Irapuato y Salvatierra. El Copal (COP; 20° 44' 33.69" N y 101° 19' 27.05" O; elevación: 1741 msnm; clima semicálido-subhúmedo, con vegetación de selva baja caducifolia (SBC), vegetación secundaria (VS) y zonas de cultivos (ZC); municipio de Irapuato. Para Salvatierra, las localidades de estudio fueron: Janicho (JAN; 20° 12' 15.97" N y 100° 53' 47.13" O; elevación 1814 msnm) con una vegetación de SBC y ZC; Urireo (URI; 20° 13' 04.35" N y 100° 49' 06.43" O; elevación de 1828 msnm), y una vegetación representada por SBC y ZC, y San Nicolás de los Agustinos (SNA; 20° 14' 19.86" N y 100° 58' 29.96" O, elevación de 1747 msnm) siendo SBC y ZC la vegetación representativa; el clima para las tres localidades es semiseco tropical (García, 2004; Rzedowski y Calderón de Rzedowski, 1987) (Figura 1). Para la elección de las localidades se consideraron los tipos de producción de los cultivos, es decir, si estos eran de riego y/o temporal, dado que esto podría influir en la riqueza de especies en cada sitio. El COP y SNA presentan sistemas de riego, y en URI y JAN, sistemas de temporal. Finalmente cabe añadir, que en los cuatro

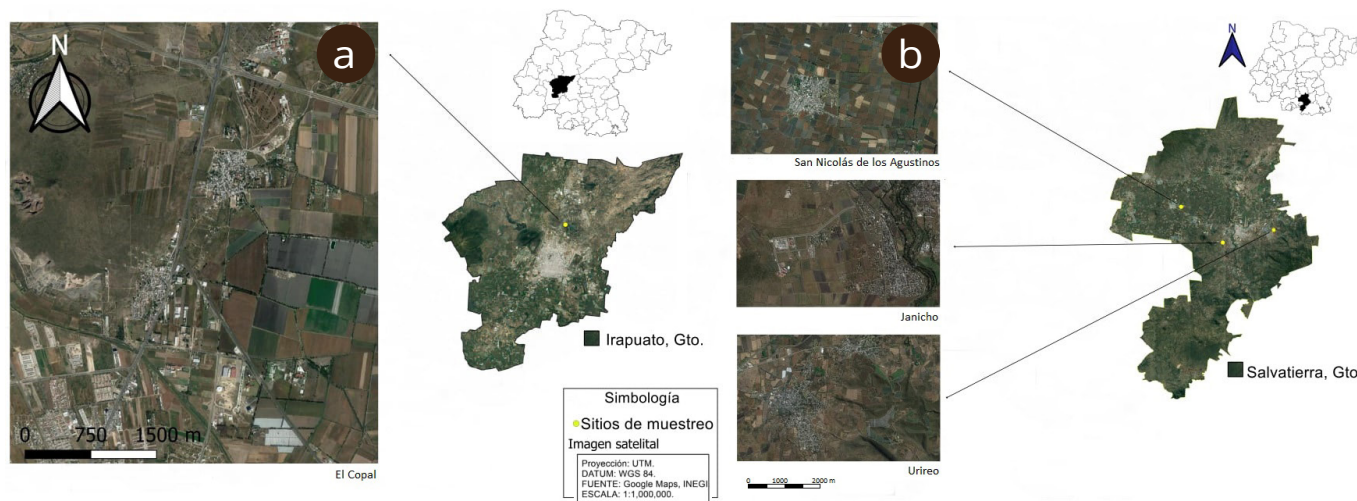


Figura 1. Área de estudio en la que se muestran las localidades. a = el Copal, Irapuato; b = San Nicolás de los Agustinos, Janicho y Urireo, Salvatierra.

sitios y paralelamente a las zonas de cultivo, se presenta vegetación de selva baja caducifolia, de la cual no se evaluó ni su cobertura ni estado de conservación, pero se tomó como un elemento externo que puede influir en la composición de la herpetofauna por su cercanía con las zonas de cultivo (Pacheco-Figueroa *et al.* 2015).

Especies presentes en los agroecosistemas. Se generaron registros de anfibios y reptiles para el municipio de Irapuato de 2012 a 2017, en tanto que para Salvatierra fue de 2015 a 2020. Los datos de los registros se obtuvieron de tres fuentes: 1-Muestreos de campo. Para la localidad de El COP, se efectuaron muestreos sistemáticos de julio a noviembre de 2016 y de febrero a junio de 2017, con una duración de dos días, y con un esfuerzo de muestreo de 8 horas/hombre por día, siendo tres personas las que participaron en el mismo. Se emplearon técnicas convencionales de colecta y búsqueda de anfibios y reptiles, sugeridas por Casas-Andreu *et al.* (1999). Para Salvatierra, se llevaron a cabo muestreos sistemáticos en las localidades de URI y SNA en los meses de mayo de 2016 a diciembre de 2016, y enero de 2017 a agosto de 2018, siguiendo para ello, el mismo método y técnicas que en la localidad de el COP en Irapuato. 2-Donaciones. De 2012 a 2015, se tuvieron organismos de donaciones para el municipio de Irapuato, incluyendo la localidad de el COP, de la cual se tomaron los registros para el presente estudio, ya que incluye zonas de cultivo. De 2015 a 2020, se tuvieron donaciones de organismos procedentes de las localidades de JAN, SNA y URI, con presencia de zonas de cultivo. Los organismos donados se incorporaron a la Colección Herpetológica del Tecnológico Nacional de México, Campus Salvatierra. 3-Fuentes electrónicas como bases de datos GIBF (2021), HerpNet (2021) y VertNet (2021), la literatura especializada regional, así como de referencias alojadas en AmphibiaWeb (2021) y The Reptile Database (Uetz *et al.* 2021).

Como los datos de los registros procedieron de distintas fuentes, solo se consideró el número de especies y su abundancia. Nosotros asumimos, que posiblemente el tipo de sistema de producción es un factor importante

en la cantidad de especies en cada localidad. Si bien no se cuenta con estudios específicos en los que el sistema de producción (riego y/o temporal) determine la riqueza y composición de herpetozoos, se considera como base el trabajo de Leyte-Manrique *et al.* (2019) en el que se comparan zonas de cultivos en sistemas de producción de riego y temporal con respecto a la vegetación conservada (selva baja caducifolia), en las localidades de SNA (sistema de riego) y URI /sistema de temporal).

Comparación de ambientes. Se llevó a cabo una comparación del número de especies de anfibios y reptiles considerando el impacto de las actividades humanas y su afectación. No se midió el efecto ni la fuente de perturbación, pero si se estableció un valor cualitativo para su designación, conforme a su estado de conservación a partir de la propuesta de emplazamiento ambiental de Canter (1999), la cual consiste en evaluar cualitativamente, la afectación de un sitio en razón del número de actividades humanas y su impacto. Para el presente estudio se consideraron tres categorías: 1-Sitios conservados (ANP's, con actividades reguladas de uso de recursos de flora y fauna, y baja densidad poblacional, con amplia cobertura de componentes vegetales nativos), 2-sitios semiconservados (fuera de ANP, y con actividades no reguladas de uso y extracción de fauna y flora pero con componente vegetales nativos presentes), y 3-sitios no conservados (fuera de ANP, sin regulación ambiental, uso de suelo agrícola y ganadero, con asentamientos humanos, y sin componentes vegetales nativos). Finalmente, se estableció el estado de riesgo de las especies presentes en los agroecosistemas a partir de la NOM-059-ECOL-2010 y el de la lista roja de la UICN.

DIVERSIDAD EN LOS AGROECOSISTEMAS

Conjuntamente, los agroecosistemas tuvieron una herpetofauna compuesta por 14 familias y 29 especies (9 anfibios y 20 reptiles; Figura 2 con especies representativas). Las serpientes (incluida una especie introducida *Indotyphlops braminus* conocida como serpiente ciega enana afro-asiática)

y las lagartijas fueron las más diversas, con 12 y siete especies, respectivamente. Al respecto, algunos estudios en ambientes conservados y perturbados mencionan que hay un patrón consistente en el que los reptiles presentan una mayor cantidad de especies con respecto a los anfibios, y que los agroecosistemas no son la excepción (Macip-Ríos y Casas-Andreu, 2008; Berrizobal-Islas, 2012; Pacheco-

Figuroa *et al.* 2015; Hernández-Ordoñez y Suazo-Ortuño, 2016). En este contexto, se ha mencionado que la mayor cantidad de reptiles tiene que ver con una mayor capacidad para moverse y de adaptarse al ambiente, así como a los cambios estacionales (Vitt y Caldwell, 2014; Cadena-Rico *et al.* 2020), lo que también implica que la falta temporal de agua no los restringe completamente.



Figura 2. Especies representativas de cada familia para los anfibios y reptiles en las cuatro localidades. En paréntesis se ponen los nombres comunes que les dan los agricultores en la región. Ranas y sapos. Familia Bufonidae: a = *Incilius occidentalis* (sapo), b = *Anaxyrus punctatus* (sapito de motas/rojo); Craugastoridae: c = *Craugastor augusti* (ranita ladradora), Hylidae: d = *Dryophytes eximius* (ranita de hojas/arbollada); Ranidae: e = *Lithobates neovolcanicus* (rana); Scaphiropodidae: f = *Spea multiplicata*. (sapito excavador) Tortugas, lagartijas y serpientes. Kinosternidae: g = *Kinosternon integrum* (tortuga casquito), Dactyloidae: h = *Anolis nebulosus* (abanico), Phrynosomatidae: i = *Sceloporus grammicus* (lagartija de mezquite/lagartija espinosa), Teiidae: j = *Aspidoscelis gularis* (sabandija), Colubridae: k = *Conopsis lineata* (hocico de puerco), y Natricinidae: l = *Thamnophis cyrtopsis* (culebra de agua).

De los cuatro agroecosistemas, El COP, con sistemas de riego, presentó más especies, con un total de 23 (7 anfibios; 16 reptiles), seguido de URI con 19 especies (3 anfibios; 16 reptiles), JAN con 17 (3 anfibios; 14 reptiles), y con menor número SNA con 13 especies (3 anfibios; 10 reptiles). En la Tabla 1 se observan las especies presentes en cada localidad y el tipo de sistema de producción agrícola. En anfibios, y de manera general para los cuatro sitios, la abundancia fue baja, a excepción de la rana *Lhitobates neovolcanicus* (88 individuos), y la lagartija *Sceloporus torquatus* con 201 individuos. En la localidad de El COP se albergó una mayor cantidad de especies de anfibios y reptiles, lo que sin duda puede ser contrastante para un ambiente antropizado. En este contexto, se puede decir que el sistema de producción de riego en COP, puede proporcionar un suministro constante de refugio, alimento y humedad para los herpetozoos, y siendo la estación de lluvias donde se observó un flujo migratorio de especies, entre ellas otros grupos biológicos (insectos, pequeños mamíferos y aves migratorias granívoras), particularmente desde la selva baja hacia los cultivos e infiriendo que puede proporcionar alimento a los anfibios y reptiles. Al respecto, esto puede ser apoyado por autores como Macip-Ríos y Casas-Andreu (2008), quienes mencionan que los sistemas agrícolas son una fuente constante de alimento, por lo tanto, los herpetozoos que han superado la alteración del ambiente exploran nuevos sitios de caza.

En el caso de los agroecosistemas en URI y JAN (ambos de temporal), dos factores explican su abundancia de especies: 1- Presencia de pozas de agua permanentes en URI, y agricultura de traspasío en JAN, con actividad incipiente. La tortuga *Kinosternon integrum* fue de mayor abundancia no solo en URI y JAN, sino en las cuatro localidades. En este sentido, *K. integrum*, es una especie de amplia distribución y plasticidad a diversos ambientes, por lo cual no es extraña su presencia en pozas, arroyos y canales asociados a los sistemas agrícolas (Leyte-Manrique *et al.* 2019; Cadena-Rico *et al.* 2020). Para SNA, con la menor abundancia de especies, se podría decir que, a pesar de tener un sistema de producción de riego (mayor humedad), existe un alto impacto a los herpetozoos, el cual tiene que ver con un mayor grado de persecución de especies, principalmente a las serpientes, en la que el colúbrido más abundante fue *Thamnophis melanogaster* (12 individuos). Esta intensa persecución de serpientes resulta en la mayoría de las veces con la muerte de los ofidios y que refleja el irracional e injustificado conflicto con ellos en México (Fernández-Badillo *et al.* 2021). Lo que resulta preocupante si se considera que la nación mexicana es el país más biodiverso en serpientes del planeta (Midtgaard, 2021) y cuya cultura ancestral estaba basada importantemente en la veneración de estos seres vivos, y donde incluso actualmente ocupan un lugar en los símbolos patrios (Balderas-Valdivia *et al.* 2014). Esta persecución y sacrificio intencional parecen causar un efecto negativo en las serpientes (Figura 3), así como de otras especies y sus abundancias observadas. A esto hay que añadir no solo la percepción cultural negativa, los mitos y creencias locales afectan a los herpetozoos (Leyte-Manrique *et al.* 2016a; Fernández-

Badillo *et al.* 2021), sino, además, los incidentes con vehículos, tractores y trilladoras que aplastan o mutilan animales durante la cosecha y en carreteras (Lazcano-Villarreal *et al.* 2009, 2017; Cervantes-Huerta *et al.* 2017).

En SNA el caso de los anfibios, la contaminación del agua podrá ser un factor importante en la escasa presencia y abundancia de ranas y sus puestas, a diferencia de las localidades JAN, URI y El COP, en donde las puestas observadas fueron de *Lhitobates neovolcanicus*, y que puede ser un indicador de perturbación del ecosistema acuático tal como sucede con otras especies del género (Oldham *et al.* 1997; Cadena-Rico *et al.* 2020). En general, los cuatro agroecosistemas presentan distintos efectos con los sistemas de producción, lo que determina la abundancia y cantidad de especies de anfibios y reptiles que albergan. Para El COP se realiza el sistema de riego con dos ciclos de cultivo para maíz, lo que parece proporcionar alimento constante y refugio a los herpetozoos. Aquí se observa en particular una riqueza en reptiles, donde las 11 especies de serpientes presentan en general una baja abundancia, en tanto algunas especies de lagartijas como las de cola de látigo *Aspidoscelis gularis* y las lagartijas espinosas *Sceloporus spinosus* y *S. torquatus* presentaron mayores abundancias. En anfibios, 7 de las 9 especies, estuvieron presentes, y con abundancias altas (a excepción del sapito de espuelas *Spea multiplicata*). Lo que indica que los agroecosistemas en general son sitios activos de reproducción, desarrollo y supervivencia de las especies de anfibios que lograron adaptarse (Pineda y Halfpeter, 2004; Macip-Ríos y Casas-Andreu, 2008; Hernández-Ordoñez y Suazo-Ortuño, 2016).

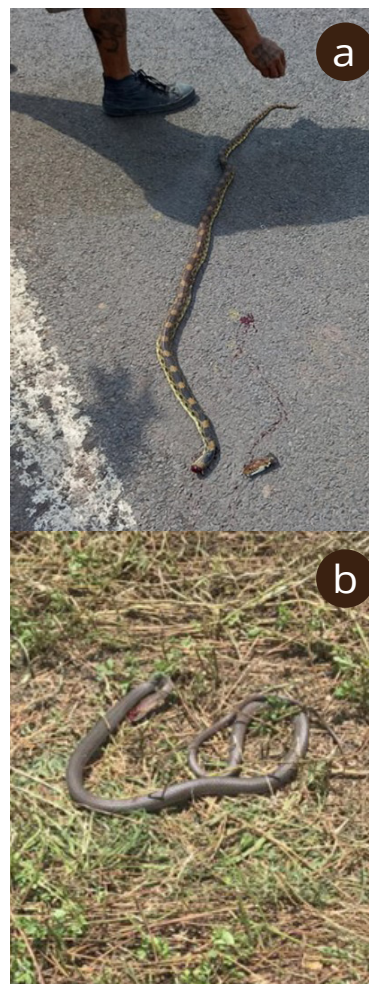


Figura 3. Interacciones negativas para la conservación humano-ofidios. a = Macho adulto de la culebra *Pituophis deppei*, conocida como Cencuate, b = Hembra de *Masticophis mentovarius*, conocida como Chirionera o chicotera. Ambas en la localidad de San Nicolás de los Agustinos, Salvatierra.

	Irapuato		Salvatierra	NOM-059	UICN	Distribución	
AMPHIBIA	COPL*	SNA*	JAN**	URI**			
Anura							
Bufonidae							
<i>Anaxyrus compactilis</i>	20	0	0	0	Nc	LC	E
<i>Anaxyrus punctatus</i>	14	0	0	0	Nc	LC	Ne
<i>Incilius occidentalis</i>	18	0	0	0	Nc	LC	E
<i>Craugastoridae</i>							
<i>Craugastor augusti</i>	0	0	6	2	Nc	LC	Ne
<i>Hylidae</i>							
<i>Dryophytes arenicolor</i>	8	3	10	0	Nc	LC	Ne
<i>Dryophytes eximius</i>	12	1	2	0	Nc	LC	E
<i>Dryophytes plicatus</i>	0	0	0	5	Nc	LC	E
<i>Ranidae</i>							
<i>Lhitobates neovolcanicus</i>	20	35	8	25	A	LC	E
<i>Scaphiopodidae</i>							
<i>Spea multiplicata</i>	3	0	0	0	Nc	LC	Ne
S = 9 especies	7	3	4	3			
REPTILIA							
Testudines							
<i>Kinosternidae</i>							
<i>Kinosternon integrum</i>	5	6	3	10	Pr	LC	E
Lacertilia							
<i>Dactyloidae</i>							
<i>Anolis nebulosus</i>	0	0	0	1	Nc	LC	Ne
<i>Phrynosomatidae</i>							
<i>Sceloporus aeneus</i>	0	0	0	1	Nc	LC	E
<i>Sceloporus dugesii</i>	0	60	8	19	Nc	LC	E
<i>Sceloporus grammicus</i>	6	2	0	0	Pr	LC	Ne
<i>Sceloporus spinosus</i>	26	0	6	2	Nc	LC	Ne
<i>Sceloporus torquatus</i>	16	10	5	170	Nc	LC	E
<i>Teiidae</i>							
<i>Aspidoscelis gularis</i>	56	25	10	7	Nc	LC	Ne
Serpentes							
<i>Colubridae</i>							
<i>Conopsis lineata</i>	5	3	2	1	Nc	LC	E
<i>Conopsis nasus</i>	1	0	1	0	Nc	LC	Ne
<i>Drymarchon melanurus</i>	1	2	1	4	Nc	LC	Ne
<i>Lampropeltis polyzona</i>	2	0	8	2	Nc	LC	Ne
<i>Masticophis mentovarius</i>	3	5	22	2	Nc	LC	Ne
<i>Pituophis deppei</i>	2	0	5	2	A	LC	E
<i>Salvadora bairdi</i>	0	0	0	1	Pr	LC	E
<i>Natricidae</i>							
<i>Thamnophis cyrtopsis</i>	2	0	3	1	A	LC	Ne
<i>Thamnophis melanogaster</i>	2	12	0	0	A	EN	E
<i>Viperidae</i>							
<i>Crotalus molossus</i>	1	0	1	0	Pr	LC	Ne
<i>Elapidae</i>							
<i>Micrurus tener</i>	1	0	1	1	Nc	LC	Ne
<i>Typhlopidae</i>							
<i>Indotyphlops braminus</i>	4	12	0	1	Nc	NE	Ne
S = 20 especies	16	10	14	16			



Tabla 1. Familias de anfibios y reptiles presentes en los agroecosistemas. Localidades: 1- El Copal = COPL, 2-San Nicolás de los Agustinos = SNA, 3-Janicho = JAN, 4-Urileo = URI. Sistema de producción: Temporal = *, Riego = **. Distribución: E = endémica de México, Ne = no endémica.

Nota. NOM-059-ECOL-2010: P = peligro de extinción, A = Amenazada, Pr = Sujeta a protección especial, Nc = No considerada. UICN, 2021: NE = No evaluada, DD = datos insuficientes, LC = preocupación menor, NT = casi amenazada, VU = vulnerable, EN = en peligro, CR = peligro crítico, EW = extinta en vida silvestre, EX = extinta.

COMPARACIÓN DE AMBIENTES

Los anfibios y reptiles responden diferencialmente a los ambientes, lo que puede tener implicaciones de tipo fisiológico y reproductivo (Cadena-Rico et al. 2020), y al hablar de ambientes, debemos suponer la calidad y estado de conservación de los mismos, es decir, que el hábitat sea el idóneo para los herpetozoos (Van Horne, 1983). Algunos estudios, comparan valores de diversidad de especies, y hacen alusión a que la disponibilidad de alimento y refugios durante el año, así como la estructura vegetal y grado de conservación, son determinantes en la composición de las comunidades de anfibios y reptiles (Urbina-Cardona et al. 2006). Los resultados de nuestro estudio muestran para los cuatro agroecosistemas en conjunto, una herpetofauna de 29 especies (Tabla 2; COP = 23; URI = 19; JAN = 17 y SNA = 13 especies), donde el caso del COP fue mayor que otros sitios (conservados y semiconservados) dentro del estado de Guanajuato. Por ejemplo, el ANP Culiacán y la Gavia, con 22 especies (5 de anfibios y 17 reptiles), tuvo una menor abundancia. En esta ANP se destaca el aprovechamiento forestal, zonas de pastoreo y cultivos de temporal (cerro el Culiacán), además de que se hace uso de reptiles para consumo como alimento (comúnmente *Sceloporus* spp), con fines curativos y para peletería (particularmente *Crotalus molossus*), por lo que se asume que puede afectar a la herpetofauna del sitio (Báez-Montes, 2018) (Figura 4). En el caso de Yuriria, esta ANP es considerada como un sitio Ramsar, sin embargo, existe una problemática de contaminantes de origen agrícola como insecticidas químicos (Báez-Montes, 2018; Walter y Brooks, 2009), y por supuesto, los fertilizantes, que pueden tener efectos negativos sobre las especies acuáticas como anfibios (Oldham et al. 1997) y tortugas, lo que se agravan con actividades de pesca y asolvamiento de la presa, y que a su vez reduce los sitios de puestas para los anfibios. En este sitio, la herpetofauna es baja si se le compara con los agroecosistemas de COP y URI, pero similar a JAN. La

Cuenca baja del río Temascatio (CBRT) y el cerro de El Veinte son sitios semiconservados que cuentan con zonas de bosque de encino (CBRT) y selva baja caducifolia en buen estado (Leyte-Manrique et al. 2016), donde en ambos sitios se llevan a cabo manejo forestal regulado y se tienen zonas de pastoreo con algunas porciones de zonas de cultivos de temporal. En ellos, se presentaron 31 especies (11 anfibios y 20 reptiles) en CBRT, y 23 (6 anfibios y 17 reptiles) en Cerro de El Veinte. Para el ANP Las Musas, Leyte-Manrique et al. (2018) registran un total de 40 especies (Figura 4), siendo el sitio con mayor número de especies, ello explicado por qué a pesar de que en ella se tienen asentamientos humanos, conserva zonas amplias y heterogéneas de vegetación nativa, arroyos, ríos y presas que pueden proporcionar refugio, humedad y alimento a los herpetozoos (Leyte-Manrique et al. 2019). En un contexto general, los ambientes antropizados, como los agroecosistemas estudiados, mantienen condiciones de refugio y alimentación temporal para los anfibios y reptiles. Sin embargo, deben analizarse de manera más profunda los factores de orden demográfico, ecológico y conductual que promueven el flujo de las especies de zonas conservadas a perturbadas, y que permitan conocer los patrones de riqueza y diversidad de los anfibios y reptiles en estos sitios.

CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo muestran que los agroecosistemas pueden mantener a diversas especies, en algunos casos semejante a los ambientes conservados o semiconservados estudiados en Guanajuato, sobre todo en las selvas bajas caducifolias, y en las que los cambios en la composición de refugios y alimento son muy marcados entre lluvias y secas. Bajo esta visión, los agroecosistemas pueden verse al menos para los anfibios y reptiles que han sobrevivido a la alteración

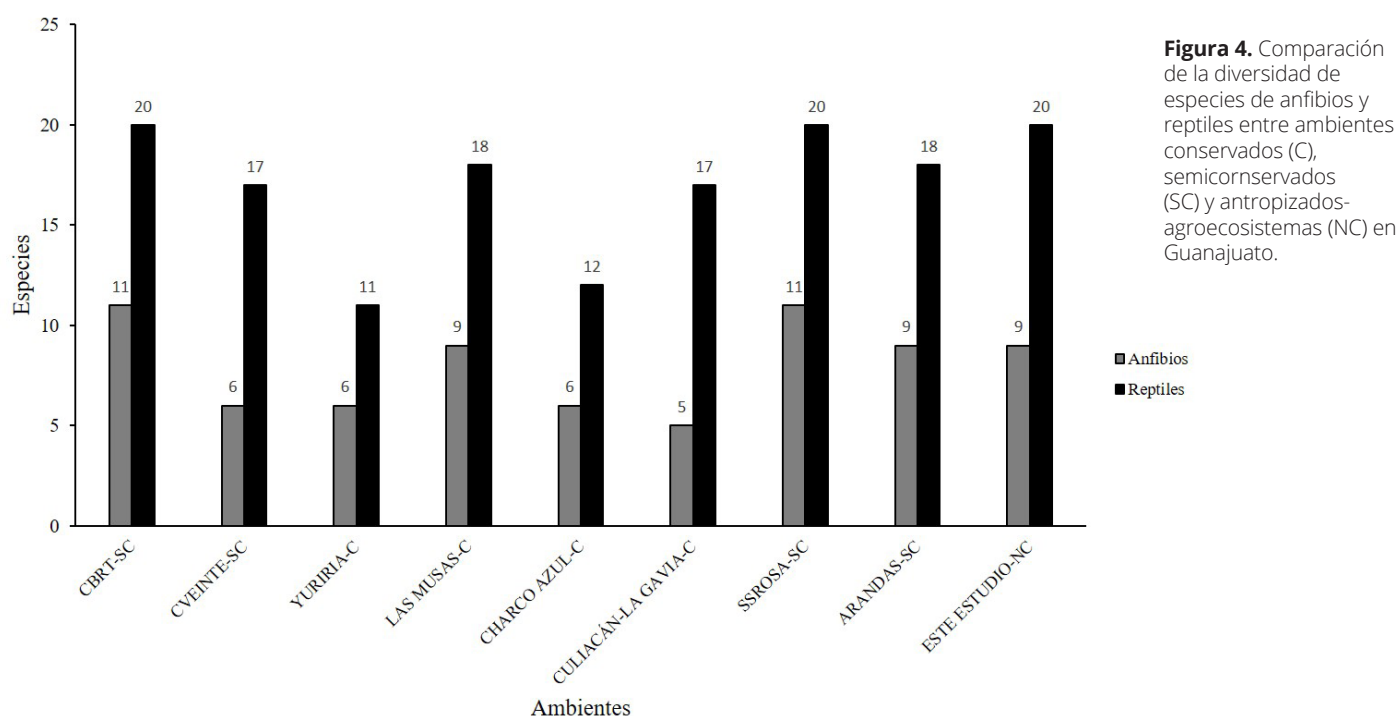


Figura 4. Comparación de la diversidad de especies de anfibios y reptiles entre ambientes conservados (C), semiconservados (SC) y antropizados-agroecosistemas (NC) en Guanajuato.

original del ecosistema, como ambientes con cierta estabilidad aun no cuantificable que proporcionan refugio y alimentación, y que se comportan metafóricamente como un “ nicho colchón”, porque amortiguan la pérdida total de especies por el efecto de la transformación del hábitat. De estas observaciones se puede desprender que los hábitats originales que ahí se perdieron, pudieron haber contenido una biodiversidad aún mayor. En un contexto general, el papel de los agroecosistemas, por lo menos como espacios de refugio y alimentación, debe reevaluarse para conocer su dinámica espacio-temporal y el efecto real sobre la biodiversidad de anfibios y reptiles que todavía albergan.

AGRADECIMIENTOS

A los pobladores de las localidades de San Nicolás de los Agustinos, Janicho, Urireo y El Copal en los municipios de Salvatierra e Irapuato, Guanajuato, por dejarnos trabajar en sus parcelas. A Ma. Fernanda Rodríguez Gutiérrez, Ma. del Carmen Portilla Mendoza, David López, José Antonio Piña García y a Abel Antonio Buelna Chontal por su apoyo en campo. Al Tecnológico Nacional de México por el apoyo económico otorgado para la realización del proyecto “7689.20-PD: Diagnóstico ecológico y ambiental de recursos biológicos e hídricos asociados a sistemas agrícolas del municipio de Salvatierra, Guanajuato, México”.

Tabla 2. Comparación de la herpetofauna en tres diferentes tipos de ambientes en Guanajuato que incluyen este estudio. A = Anfibios, R = Reptiles, T = Total. CBRT = Cuenca baja del río Temascatio, COP = El Copal, SNA = San Nicolás de los Agustinos, URI = Urireo, y JAN = Janicho.

Sitio	Ambiente	No. Especies	Fuente
CBRT, Irapuato.	Semiconservado	A= 11 /R = 20; T = 31	Cadena- Rico et al. (2020).
Cerro de El Veinte, Irapuato.	Semiconservado	A = 6 / R= 17; T = 23	Leyte-Manrique et al. (2016).
ANP Yuriria.	Conservado	A = 6/ R = 11; T = 17	Báez-Montes (2018).
ANP Las Musas.	Conservado	A = 12/R = 28; T = 40	Leyte-Manrique et al. (2018).
Charco Azul, Xichú.	Conservado (zona núcleo BSG, Gto.).	A = 6/R = 12; T = 18	Leyte-Manrique y Domínguez-Laso (2014).
ANP Cerro del Culiacán-La Gavia (zona núcleo).	Conservado	A = 5/R = 17; T = 22	Arenas-Monroy (2012).
Sierra Santa Rosa, Gto.	Semiconservado	A = 11/ R = 20; T =31	Mendoza-Quijano et al. (2001).
ANP Cerro de Arandas.	Semiconservado	A = 9/ R = 18; T = 27	Báez-Montes (2018).
SNA, URI, JAN y COP.	Antropizados-Agroecosistemas	A = 9/R =20; T = 29	Este estudio



LITERATURA CITADA

- Altieri, M. A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 74:19-31.
- AmphibiaWeb. 2021. <https://amphibiaweb.org> University of California, Berkeley, CA, USA. (consultado el 10/07/2021).
- Báez-Montes, O. 2018. Anfibios y reptiles de la Áreas Naturales Protegidas del Estado de Guanajuato. Secretaria de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial, México. 138 pp.
- Balderas-Valdivia, C. J., J. F. Mendoza Santos, y A. Alvarado Zink. 2014. Guía de Anfibios y Reptiles: Divulgación de la Ciencia y Educación Ambiental, Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Dirección General de Divulgación de la Ciencia. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 80 pp.
- Berriozabal-Islas, C. 2012. Riqueza y diversidad herpetofaunística del bosque tropical, cafetales y potreros del municipio de Huehuetla, Hidalgo, México. (Tesis de licenciatura). México: Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del estado de Hidalgo.
- Cadena-Rico, S., A. Leyte-Manrique, y U. Hernández-Salinas. 2020. Herpetofauna de la cuenca baja del río Temascatio, Irapuato, Guanajuato, México. *Acta Zoológica Mexicana (Nueva Serie)*. 36:1-14. <https://doi.org/10.21829/azm.2020.3612231>
- Canter, L. W. 1999. Manual de evaluación de impacto ambiental: Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto. McGraw Hill. Colombia. 841 pp.
- Casas-Andreu, G., G. Valenzuela-López, y A. Ramírez-Bautista. 1991. Cómo hacer una colección de anfibios y reptiles. Cuaderno del Instituto de Biología, UNAM, México, D.F., 68 pp.
- Cervantes-Huerta, R., F. Escobar, J. H. García-Chávez, y A. González-Romero. 2017. Atropellamiento de vertebrados en tres tipos de carretera de la región montañosa central de Veracruz, México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*. 33:472-481.
- Cruz-Elizalde, R., A. Ramírez-Bautista, U. Hernández-Salinas, I. Magno-Benítez, y A. García-Rosales. 2018. Riqueza y diversidad de anfibios y reptiles en algunas Áreas Naturales Protegidas del Valle de México. Pp. 5-17. En: Ramírez-Bautista, A. & R. Pineda-López, R. (Eds.). *Ecología y conservación de fauna en ambientes antropizados*. REFAMA- CONACYT-UAQ. México. 403 pp.
- Faden, R. & T. Beauchamp. 1986. A history and theory of informed consent. Oxford, Oxford University Press. 237 pp.
- Fernández-Badillo, L., I. Zuria, J. Sigala-Rodríguez, G. Sánchez-Rojas, y G. Castañeda-Gaytán. 2021. Revisión del conflicto entre los humanos y las serpientes en México: origen, mitigación y perspectivas. *Animal Biodiversity and Conservation*, 44.2: 153-174, Doi: <https://doi.org/10.32800/abc.2021.44.0153>
- Flores Villela, O. A. y P. Gerez. 1994. Biodiversidad y Conservación en México: Vertebrados, Vegetación y Uso de Suelo. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad y Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. 5ta edición, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 91 pp.
- Hernández-Ordóñez, O. y I. Suazo-Ortuño, 2016. Anfibios y reptiles en bosques tropicales y subtropicales en ambientes afectados por actividades agropecuarias; una revisión global. Pp: 157-178. En: Ramírez-Bautista, A. & R. Pineda-López (Eds.). *Fauna Nativa en Ambientes Antropizados*, CONACYT-UAQ. Querétaro, México. 237 pp.
- Herpetología Mexicana. 2021. Inventario de la Herpetofauna de México. <https://herpetologiamexicana.org/inventario-de-especies/> (consultado el 10/11/2021).
- Jiménez-Sierra, C.L., J. Sosa-Ramírez, P. Cortés-Calva, A. Breceda-Solís-Cámara, L.I. Íñiguez Dávalos, y A. Ortega-Rubio. 2014. México país megadiverso y la relevancia de las áreas naturales protegidas. *Investigación y Ciencia*. 22(60): 16-22.
- Lazcano-Villarreal, D., M. A. Salinas-Camarena, y J. A. Contreras-Lozano. 2009. Notes on Mexican Herpetofauna 12. Are roads in Nuevo León, Mexico, taking their toll on snake populations. *Bulletin of Chicago Herpetological Society*. 44: 69-75.
- Leyte-Manrique, A., A. A. Buelna-Chontal, M. A. Torres-Díaz, C. Berriozabal-Islas, C. A. y Maciel-Mata. 2019. A comparison of amphibian and reptile diversity between disturbed and undisturbed environments of Salvatierra, Guanajuato, Mexico. *Tropical Conservation Science*. 12: 1-12. <https://doi.org/10.1177/1940082919829992>
- Leyte Manrique, A., C. Berriozabal-Islas, V. Mata-Silva, y J. P. Morales-Castorena. 2018. Herpetofaunal diversity in Área Natural Protegida Las Musas, Guanajuato. *Mesoamerican Herpetology*, 5(1): 121-136.

- Leyte-Manrique, A., J. P. Morales-Castorena, L. A. Escobedo-Morales. 2016b. Variación estacional de la herpetofauna en el Cerro del Veinte, Irapuato, Guanajuato. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 87(1): 150-155.
- Mendoza-Quijano, F., S. M. Meneses-Mayo, V. H. Reynoso-Rosales, M. A. Estrada-Hernández, y M. Rodríguez-Blanco. 2001. Anfibios y reptiles de la Sierra de Santa Rosa, Guanajuato: Cien años después. *Anales del Instituto de Biología, Serie Zoológica*. 72(2): 233-243.
- Macip-Ríos, R. y G. Casas-Andreu. 2008. Los cafetales en México y su importancia para la conservación de los anfibios y reptiles. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.), 24(2):143-159.
- Midtgaard, R. 2021. RepFocus - A survey of the reptiles of the world. E-book published by the author. Middelfart, Denmark. <http://repfocus.dk/Serpentes>. (consultado el 10/08/2021).
- Oldham, R., D. Lathan, D. Hilto-Brown, M. Towns, A. Cooke, y A. Burn. 1997. The effect of ammonium nitrate fertilizer on frog (*Rana temporaria*) survival. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 61: 69-74.
- Pacheco-Figueroa, C. J., J. D. D. Valdez-Leal, L. M. Gama-Campillo, E. J. Gordillo-Chávez, E. J. Moguel-Ordoñez, L. J., Rangel Ruíz, R. García-Morales, E. E. Mata Zayas, y R. del C. Luna Ruíz. 2015. Sistemas agrícolas como refugio de herpetofauna en zonas de acreción-retroceso y erosión costera, en Tabasco, México. *Agro productividad*, 249: 74-79.
- Pineda, E., y G. Halffter. 2004. Species diversity and habitat fragmentation: frogs in a tropical montane landscape in Mexico. *Biological Conservation*. 117(5): 499-508. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2003.08.009>
- Ramírez-Bautista, A., U. Hernández-Salinas, R. Cruz-Elizalde, C. Berriozabal- Islas, D. Lara-Tufiño, I. Goyenechea Mayer-Goyenechea, I, y J. Castillo-Cerón. 2014. Los anfibios y reptiles de Hidalgo, México: Diversidad, biogeografía y conservación. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y Sociedad Herpetológica Mexicana, México, D.F. 387 pp.
- Ruiz, O. 2006. Enfoque de sistemas y agroecosistemas. Pp: 27-35. En: López, O., S. Ramírez, M. Ramírez, G. Moreno & A. Alvarado. (Eds). *Agroecología y agricultura orgánica en el trópico*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-Universidad Autónoma de Chiapas.
- Rzedowski, J., y G. Calderón de Rzedowski. 1987. El bosque tropical caducifolio de la región mixteca del Bajío. *Trace*, 12:12-21.
- Smith, H. M., y E. H. Taylor. 1966. *Herpetology of Mexico*. Annotated checklist and keys to amphibians and reptiles. A print of Bulletins 187, 194 and 199 of the United States National Museum whit list of subsequent taxonomic innovation. Eric Lundberg, Asthon Maryland, USA. 253 pp.
- Urbina-Cardona, J. N, M. Olivares-Pérez, y V. H. Reynoso. 2006. Herpetofauna diversity and microenvironment correlates across a pasture-edge-interior ecotone in tropical rainforest fragments in the Los Tuxtlas Biosphere Reserve of Veracruz, Mexico. *Biological Conservation*, 132: 61-75.
- Uetz, P., P. Freed, R. Aguilar, y J. Hošek (eds.). 2021. The Reptile Database. <http://www.reptile-database.org> (consultado el 20/08/2021).
- Valle Rodríguez, S. 2006. Las Áreas Naturales de México. Un ejemplo de propuesta de gestión de un Área Protegida y plan de manejo en la "Sierra de Monte Escobedo" (Zacatecas, México). Tesis Doctoral, Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de Barcelona, España, 225 pp.
- Van Horne, B. 1983. Density as a misleading indicator of habitat quality. *The Journal of Wildlife Management*, 47:893-901.
- VertNet. 2021. <http://vertnet.org/> (consultado el 15/06/2020).
- Walter, F., y B. Brooks. 2009. Diagnóstico pesquero y acuícola de Guanajuato. Gobierno del Estado de Guanajuato. SAGARPA y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. México, D.F. 155 pp.







BIOLOGICAL AND CULTURAL DIVERSITY IN THE STATE OF OAXACA, MEXICO:

STRATEGIES FOR CONSERVATION AMONG INDIGENOUS COMMUNITIES



ELÍ GARCÍA-PADILLA¹, DOMINIC L. DESANTIS², ARTURO ROCHA³, LYDIA ALLISON FUCSKO⁴, JERRY D. JOHNSON³, DAVID LAZCANO⁵, AND LARRY DAVID WILSON⁶



¹Oaxaca de Juárez, Oaxaca 68023, MEXICO,, ²Department of Biological & Environmental Science, Georgia College & State University, Milledgeville, Georgia 31061, ³Department of Biological Sciences, The University of Texas at El Paso, El Paso, Texas 79968-0500, USA ⁴Department of Humanities and Social Sciences, Swinburne University of Technology, Melbourne, Victoria AUSTRALIA, ⁵Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Herpetología, Apartado Postal-157, San Nicolás de los Garza, C.P. 66450, Nuevo León MEXICO, ⁶Centro Zamorano de Biodiversidad, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Departamento de Francisco Morazán, HONDURAS; 1350 Pelican Court, Homestead, Florida 33035-1031, USA



Key words: biodiversity, cultural diversity, Oaxaca, Mexico, indigenous communities, community conservation initiatives, social tenure of the land

Palabras claves: biodiversidad, diversidad cultural, Oaxaca, México, comunidades originarias, iniciativas de conservación comunitaria, propiedad social del territorio

DEDICATION

To the late Francisco Toledo "Chico Toledo," the maximal Zapotecan-Oaxacan artist, who also stood out as a socio-environmental fighter contributing in a forceful way to the defense of the native maize (*Zea mays*) and against genetically modified organisms (GMOs) and glyphosate (Bayer-Monsanto). His efforts, social perspective, and commitment not only consolidated several institutions now referable to the arts, such as painting, engraving, and photography, but he was also a committed defender of the Cerro del Fortín State "Protected" Natural Area against the megadevelopments orchestrated by the state and the private initiative. His role as a socio-environmental fighter was manifested in his direct intervention in the campaign around the liberation of the Lightning Jaguar ("Jaguar de la luz") in the indigenous community of Cristo Rey la Selva-Asunción Lachixila, Sierra Madre de Oaxaca. In 2019, he convened a forum in Atzompa, Oaxaca, where he made a strong call to civil society to defend their territories and common natural resources against the eco- and ethnocidal megaprojects of the Mexican government ("4T") known as the Tren "Maya" and the Interoceanic Corridor in the Isthmus of Tehuantepec. In an interview for the newspaper "El Universal" (2019) he said: *"It is very good that holes are made in mother earth to ask for permission, but if this is the case, who should be consulted are the lords of the earth - who are the jaguars - if they want a train or they don't want a train."*



“WE ARE VANISHING FROM THE EARTH, YET I CANNOT THINK WE ARE USELESS OR GOD WOULD NOT HAVE CREATED US. HE CREATED ALL TRIBES OF MEN AND CERTAINLY HAD A RIGHTEOUS PURPOSE IN CREATING EACH.”

—GERONIMO

SUMMARY

Oaxaca is the state in Mexico with the greatest level of biological and cultural diversity. The indigenous people of Oaxaca are all descendants, in whole or part, of the ancient Olmec culture also known as “Pueblo del Jaguar.” These indigenous peoples presently are trying to defend their ancestral territories and common natural resources from exploitation by governments and large commercial enterprises. Oaxaca is the fifth largest state in Mexico and encompasses 12 physiographic regions and 16 indigenous-ethnolinguistic groups. The high cultural diversity seen in Oaxaca is interrelated with the considerable biological and environmental diversity and it must be understood that the protection of the one is dependent on the protection of the other. Knowledge of the biodiversity of Oaxaca continues to be augmented, especially among the tetrapod vertebrates. The cultural diversity in Oaxaca, especially with respect to languages, is the most diverse in the entirety of Mexico. In various communities, ejidos, and with small landowners there exists a system of Community Conservation Areas (CCAs), which allows for the protection of various species not included within federal Natural Protected Areas (NPAs), as well as water bodies and forests within the state. These CCAs are part of a resistance movement against involvement in the formal NPA system. The indigenous peoples of Oaxaca are part of a global community of such people who are known to be responsible for protection of some 80% of the world’s remaining biodiversity. The Mexican government’s own efforts at conservation date back to the administration of President Lázaro Cárdenas del Río. Community Forest Management attempts by indigenous peoples around the world have been supported (or not) by federal governments. Low-impact ecotourism is being used by indigenous people in the Sierra Madre de Oaxaca as an additional means of conserving their land and for supporting sustainable lifestyles, while resisting the exploitative efforts by non-indigenous groups in society. The Corredor Interoceánico constitutes the most significant threat to the efforts of such indigenous groups, as well as other large-scale commercial activities undertaken by industrialists underwritten by their political allies in the federal government, calling into question why NPAs really exist and what people they are supposed to benefit. In light of this reality, we have made a number of recommendations for the alleviation of these problems for indigenous peoples to allow for the continuation of their efforts at preserving native biodiversity and their own cultural diversity.

Oaxaca es el estado de México con mayor diversidad biológica y cultural. Los pueblos originarios de Oaxaca son todos descendientes, total o parcialmente, de la antigua cultura madre Olmeca también conocida como “Pueblo del Jaguar”. Estos pueblos originarios actualmente están tratando de defender sus territorios y bienes naturales comunes de la explotación por parte de los gobiernos y las grandes empresas multinacionales. Oaxaca es el quinto estado más grande de México y comprende 12 regiones fisiográficas y 16 grupos etnolingüísticos originarios. La alta diversidad cultural que se observa en Oaxaca está interrelacionada con la considerable diversidad biológica y ambiental y debe entenderse que la protección de una depende de la protección de la otra. El conocimiento de la biodiversidad de Oaxaca continúa aumentando, especialmente entre los vertebrados tetrápodos. La diversidad cultural en Oaxaca, especialmente con respecto a los idiomas, es la más diversa en todo México. En varias comunidades, ejidos y con pequeños propietarios existe un sistema de Áreas Comunitarias de Conservación, que permiten la protección de diversas especies no incluidas dentro de las ANPs federales, así como cuerpos de agua y los bosques dentro del estado. Estas ACC son parte de un movimiento de resistencia contra la participación en el sistema formal de ANP por decreto. Los pueblos indígenas de Oaxaca son parte de una comunidad global de personas que se sabe que son responsables de la protección de alrededor del 80% de la biodiversidad remanente del mundo. Los propios esfuerzos del gobierno mexicano por la conservación se remontan a la administración del presidente Lázaro Cárdenas de Río. Los intentos de manejo forestal comunitario de los pueblos indígenas de todo el mundo han sido apoyados o no por los gobiernos federales. Los pueblos indígenas de la Sierra Madre de Oaxaca están utilizando el ecoturismo de bajo impacto como un medio adicional para conservar sus tierras y para apoyar estilos de vida sostenibles, al tiempo que se resisten a los esfuerzos de explotación de los grupos no indígenas de la sociedad. El Corredor Interoceánico constituye la amenaza más significativa para los esfuerzos de estos grupos indígenas, así como otras actividades comerciales a gran escala realizadas por grandes consorcios industriales suscritos por sus aliados políticos en el gobierno federal, cuestionando por qué las ANPs que existen realmente a qué personas se suponen un beneficio. A la luz de esta realidad, hemos realizado una serie de recomendaciones para el alivio de estos problemas a los pueblos originarios que permitan continuar con sus esfuerzos de preservación de la biodiversidad nativa y su propia diversidad cultural.

RESUMEN

INTRODUCTION

Biodiversity is the variety of living things that inhabit a given place (Wilson, 1988). Mexico is considered one of the top five megadiverse countries worldwide, harboring ca. 12 % of the entire worldwide remnant of biological diversity (Sarukhán *et al.*, 2009). The Mexican state of Oaxaca comprises the most biologically and culturally diverse entity in all Mexico (García-Mendoza *et al.*, 2004); its bio-cultural diversity exceeds even that of entire Central American countries. All the native and mestizo peoples that currently inhabit this territory descend (at least partially, if not completely) from the Olmec culture (the mother culture of Mesoamerica), also known as “El Pueblo del Jaguar” (Piña-Chan and Covarrubias, cited by Nahmad and Sittón, personal communication, 2017). The Olmec founding myth says that the gods would agree to create a primordial couple: a jaguar father and a (human) woman from whose cross the ancestors of all current Mesoamerican indigenous peoples arose (*Ayuujk* [“Mixes”], *Ang pøn* [“Zoques-Chimalapa”], *Tsa ju jmi’* [“Chinantecos”], *Bini Zaa* [“Zapotecos”], *Nuu Savi* [“Mixtecos”], and others).

At present, all these native peoples are in resistance and fighting for the defense of their territories and natural common resources that belong to them legitimately and ancestrally over millennia. The mega-projects, such as open-pit mega-mining, hydroelectric dams, wind farms, extensive livestock farming, large-scale monocultures, especially of genetically modified organisms (transgenic), geoengineering, fracking (hydraulic fracture), Special Economic Zones (“ZEE”), the “Tren Maya”, and the Corredor Interoceánico, are just some of the greatest threats faced in these times, also known as those of “suicide capitalism at the end of the world” (Bartra, 2017). These peoples have historically been seen as “backward” or “reluctant to progress” and “development.” The reality is that they have lived (coexisted) for no less than 3,000

years in these territories that represent the last great bastions of ecosystems in good conservation status in the region and in the world. They have undoubtedly become the last and most effective guardians of life, with ca. 80 % of the worldwide remnant biodiversity, within their ancestral territories that represent currently 25% of the world’s terrestrial surface (United Nations Organization, 2018).

PHYSICAL AND CULTURAL ENVIRONMENT IN OAXACA

The Mexican state of Oaxaca has a territorial extension of 95,364 km²; it is the fifth largest federal entity of the Mexican Republic, occupying 4.8% of the national territory (Figure 1). Socio-politically, it is divided into 30 districts, 570 municipalities, and about 10, 500 localities or towns (INEGI, 2010). The name of the entity comes from the *Náhuatl* language word *huaxyacac*, which means “*en la nariz de los guajes*” (in the nose of the guajes [*Leucaena* sp.], a type of bean-like fruit on a leguminous tree, which is used for food and medicinal purposes). It borders to the north with Veracruz and Puebla, to the east with Chiapas, to the south with the Pacific Ocean, and to the west with Guerrero. Oaxaca has a political-economic regionalization that consists of 8 regions: Cañada, Costa, Istmo, Mixteca, Papaloapan, Sierra Norte, Sierra Sur, and Valles Centrales (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2022). For its floristic and faunistic study, however, it is divided into 12 physiographic regions: Sierra Madre de Oaxaca, Central Valleys, Western Mountains and Valleys, Central Mountains and Valleys, Isthmic Depression of Tehuantepec, Sierra Madre del Sur, Gulf Coastal Plain, Pacific Coastal Plain, Tehuantepec Coastal Plain, Fosa de Tehuacán, Balsas Depression, and Sierra Madre de Chiapas (their description is in Mata-Silva *et al.*, 2015, 2021). In the entity there are 16 indigenous-ethnolinguistic groups: Amuzgos (Tzjon noan), Chatinos

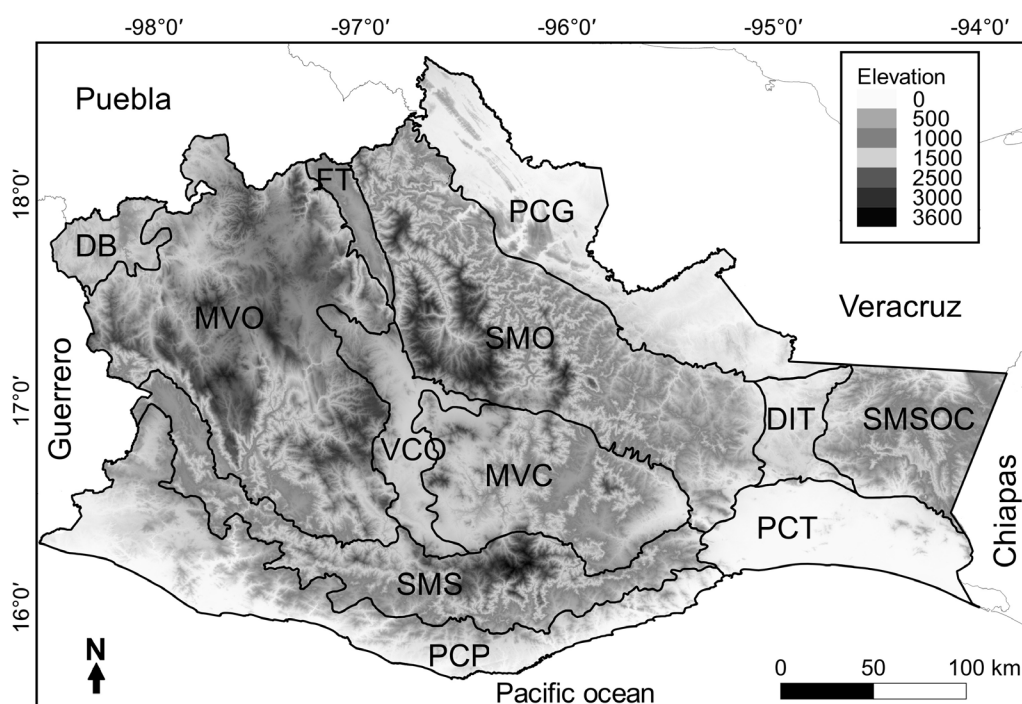


Figure 1. The physiographic regionalization of the Mexican state of Oaxaca.

(*Né cha 'tña'*), Chinantecos (*Dza jmiib*), Chochos (*Rru ngigua*), Chontales de Oaxaca (*Lajl pima*), Cuicatecos (*Y'an yivacu*), Huaves (*Ikoots*), Ixcatecos (*Xwja*), Mazatecos (*Ha shuta enima*), Mixes (*Ayuuk ja'ay*), Mixtecos (*N̄uu savi*), Nahuas (Mexicanos), Tacuates (*Tu'un va'a*), Triquis (*Yi ni'nanj ni'in*), Zapotecos (*Binnizá*) and Zoques (Ang pon) (Figure 2; De Ávila-Bloomberg, 2004; Barabas *et al.*, 2004).

BIOLOGICAL DIVERSITY IN OAXACA

In 2000 the Interdisciplinary Research Center for Integral Regional Development, of the National Polytechnic Institute (CIIDIR-IPN) convened the “Biodiversity of Oaxaca” Symposium. This important forum confirmed that Oaxaca is the most biodiverse entity in Mexico. Likewise, it revealed the lack of management plans and effective actions for the conservation of said biological and cultural wealth at the institutional level (García-Mendoza *et al.*, 2004). From this effort arose the proposal for the publication of the bibliographic work entitled “Biodiversidad de Oaxaca” (2004), thanks to which the information available at that time was dispersed about the biological and cultural heritage of Oaxaca. As a result of this work, today we know that for the 16 cultural groups registered in Oaxaca, the existence of 157 native languages is documented, a number higher than that of any other entity in the country and even those registered in Central American countries. High cultural diversity is correlated with elevated biological and environmental diversity. In terms of floristics, Oaxaca has a total of 8,431 species of vascular plants, which places the state as one of the richest and most diverse in the country. Likewise, Oaxaca encompasses approximately 40% of the flora of Mexico and 70% of the types of vegetation registered for the country. Regarding the fauna, a total of 1,130 species of Lepidoptera (butterflies), 127 of continental freshwater fishes, 378 of amphibians and reptiles, 736 of birds, and 190 of mammals were registered. In summary, as a result of the contributions of the authors of this work, the presence of 8, 431 species of flora and 4, 543 species of fauna is documented for Oaxaca, giving a total of 12, 974 species (García-Mendoza *et al.*, 2004; Table 1).

Table 1. Faunistic and floristic diversity of Oaxaca (García-Mendoza *et al.*, 2004).

Fauna	Species
Invertebrates	3,112
Vertebrates	1,431
Total	4, 543
Flora	
Pteridophytes	627
Gymnosperms	52
Angiosperms	7, 752
Total	8, 431
Grand total	12,974

It should be noted that these preliminary data are very fluid. More recently, we know, for example, that the diversity of birds in Oaxaca now totals 776 species (Blázquez-Olaciregui, 2016). That of amphibians and reptiles is a total of 480 species (Mata-Silva *et al.*, 2021) and that of mammals is 216 species (Briones-Salas *et al.*, 2015). As exploratory and formal research work continues, new species will be added to the total figures of the entity. If we use as a model the terrestrial vertebrates, we would find that Oaxaca is in fact the entity at the country level with the highest level of biodiversity, with ca. 50 % of the total number for the entire country (Table 2). Oaxaca also harbors the two regions with the highest diversity of terrestrial vertebrates at the country level (Table 3).

CULTURAL DIVERSITY IN OAXACA

According to the Ethnologue database, the number of established languages listed for Mexico is 294. Of these, 289 are living and 5 are extinct. Of the living languages, 282 are indigenous. The Mexican state of Oaxaca is the most diverse entity at the country level in terms of its cultural richness (Figure 2). Therein are found 16 ethnolinguistic families distributed throughout the vast geography of this megadiverse entity. The total number of the linguistic diversity of the state is 157 (languages and dialects). This number exceeds that of any other state in Mexico and those of any of the countries in Central America (De Ávila-Bloomberg, 2004). The total amount of native speakers of the 16 indigenous-ethnolinguistic groups in Oaxaca is as follows: Amuzgos (4, 819), Chatinos (40, 004), Chinantecos (107, 002), Chochos (770), Chontales de Oaxaca (4,617), Cuicatecos (12, 128), Huaves (13, 678), Ixcatecos (17), Mazatecos (174, 352), Mixes (105, 443), Mixtecos (245, 755), Nahuas (10, 979), Tacuates (496, 038), Triquis (15, 023), Zapotecos (377, 936), and Zoques (5, 282) (De Ávila-Bloomberg, 2004; Barabas *et al.*, 2004). Additionally, the previous authors also refer to the Pochuteco as an extinct language and the relative recent presence in the state of native speakers of Maya, Tzotzil, and Totonaca languages.

THE ROLE OF INDIGENOUS COMMUNITIES IN THE CONSERVATION OF BIOLOGICAL AND CULTURAL DIVERSITY IN OAXACA

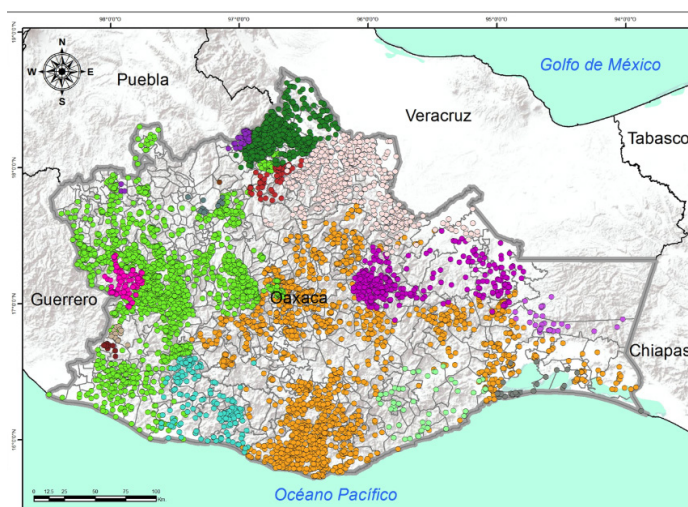
Indigenous people number over 300 million worldwide. They live in about 75 of the world's 184 countries and are inhabitants of practically each major biome of the Earth. Indigenous peoples, also called tribal, aboriginal, autochthonous peoples, national minorities, or first peoples, are best defined by using several criteria. Indigenous peoples can be characterized by all or part of the following criteria: (a) they are the descendants of the original inhabitants of a territory, which has been overcome by conquest; (b) they are “ecosystem peoples,” such as shifting or permanent cultivators, herders, hunters and gatherers, fishers, and/or handicraft makers, who adopt a multi-use strategy of appropriation of nature; (c) they practice a small-scale,

Table 2. Terrestrial vertebrate diversity in Mexico as a whole and in the five megadiverse Mexican states (Flores-Villela and García-Vázquez, 2014; Parra-Olea *et al.*, 2014; Mata-Silva *et al.*, 2021; Johnson *et al.*, 2015; Johnson *et al.*, 2017; Navarro-Sigüenza *et al.*, 2014; Blázquez-Olaciregui, 2016; Sánchez-Cordero *et al.*, 2014; Briones-Salas *et al.*, 2015; Woolrich-Piña *et al.*, 2017; Palacios-Aguilar and Flores-Villela, 2018; Torres-Hernández *et al.*, 2021).

Country and States	Amphibians	Reptiles	Birds	Mammals	Totals
Mexico	394	898	1,123	564	2,979
Oaxaca	149	293	776	216	1,434
Veracruz	122	237	719	178	1,256
Chiapas	107	223	659	211	1,200
Puebla	89	178	595	161	1,023
Guerrero	78	181	539	124	922

Table 3. Terrestrial vertebrate diversity among the four Mexican megadiverse regions (Aguilar-López *et al.*, 2016; Navarro-Sigüenza *et al.*, 2008; Lira-Torres *et al.*, 2012; González-García, 1993; Luna-Reyes, 2019; Hernández-Ordoñez *et al.*, 2015; Naranjo and Bolaños-Citalán, 2019; Vázquez-Pérez *et al.*, 2019; Rivero and Medellín, 2015; López-Paniagua *et al.*, 2017).

Regions	Amphibians	Reptiles	Birds	Mammals	Totals
Los Chimalapas (Selva Zoque)	51	105	464	149	769
La Chinantla (Sierra Madre de Oaxaca)	22	75	400	119	616
El Triunfo (Sierra Madre de Chiapas)	32	64	396	120	612
Montes Azules (Selva Lacandona)	35	90	344	134	603



ATLAS DE LOS PUEBLOS INDÍGENAS DE MÉXICO

Simbología	
Población Indígena	
●	Mixteco
●	Nahua
●	Chatino
●	Chinanteco
●	Chocholteco
●	Chontal de Oaxaca
●	Cuicateco
●	Huave
●	Ixcateco
●	Mazateco
●	Mixe
Limite	
	Oaxaca
	Estatad
	Municipal

OAXACA



Figure 2. The cultural and ethnolinguistic diversity in the Mexican state of Oaxaca.

labor-intensive form of rural production, which produce little surplus and has low energy needs; (d) they do not have centralized political institutions, organize their life at the level of community, and make decisions on a consensual basis; (e) they share a common language, religion, moral values, beliefs, clothing, and other identifying characteristics, as well as a relationship to a particular territory; (f) they have a different world-view, consisting of a custodial and non-materialistic attitude to land and natural resources, based on a symbolic interchange with the natural universe; (g) they are subjugated by a dominant culture and society; and (h) they consist of individuals who subjectively consider themselves to be indigenous (Toledo, 1999).

The concept of biodiversity was conceived relatively recently by Walter G. Rosen, from the National Research Council/National Academy of Sciences (NRC/NAS) in 1985, while planning to conduct a forum on biological diversity (Wilson, 1988). As Alcom (1993) stated, however, "...while proof of conservation success is ultimately biological, conservation itself is a social and political process, not a biological process. An assessment of conservation requires therefore an assessment of social and political institutions that contribute to, or threaten, conservation." One of the main social aspects related to biodiversity is, undoubtedly, the case of the world's indigenous peoples. Both cultural diversity and biological diversity are endangered. There exists a bio-cultural axiom: that the world's biodiversity only will be preserved effectively by preserving diversity of cultures and vice versa (Toledo, 1999). Scientific evidence shows

that virtually every part of the planet has been inhabited, modified, and manipulated throughout human history. Although they appear untouched, many of the last tracts of wilderness are inhabited and have been so for millennia. Indigenous peoples live in and have special claims to territories that, in many cases, harbor exceptionally high levels of biodiversity. On a global basis, human cultural diversity is associated with the remaining concentrations of biodiversity (Toledo, 1999).

In the case of Oaxaca, México, there are 16 ethno-linguistic groups that, in some cases, have been occupying this territory for at least ca. 3,000 years. This is the case of the Mixe-Zoque and the Chinantec ethnic groups in the Sierra Madre de Chiapas-Isthmus of Tehuantepec and the Sierra Madre de Oaxaca, respectively. In the case of the first ones known as Zoques or Chimas (*Ang p̄on*), they paid to the Spanish Empire ("Nueva España") the price of 25, 000 gold pesos delivered on "jícaras" (traditional pots from the tree called "morro" [*Crescentia alata*]) to obtain the titles that credit them as the legal owners of this vast territory currently recognized as the one harboring the most megadiverse biological richness at the country level (García-Aguirre, 2013; García-Padilla, 2018). In fact, this ethnic group is considered as the pioneer in the formal efforts of community conservation at the country level with the establishment of the Reserva Ecológica Campesina de los Chimalapas back in 1992 as an alternative method to the imposition of the Natural Protected Areas (NPAs) decrees orchestrated by the Mexican Federal Government and its environmental institutions (García-Aguirre, 2013). The main reason why they neglected to accept a federal decree of NPAs is because they were not disposed to loss of the autonomy and legal right they possess by Federal Constitutional recognition, as the ancestral owners of this vast territory for many centuries before the foundation of Mexico as an independent nation. According to anecdotal data provided by the Comisión Nacional de Areas Naturales Protegidas (CONANP, personal communication), the rhythm of annual deforestation in Los Chimalapas is three times lower than in the Selva Lacandona (Montes Azules) that is the supposed recipient of a Natural Protected Area federal decree since 1978. In addition to this, the population of the Jaguar (*Panthera onca*), the most emblematic, iconic, and important umbrella species, reaches the highest densities at the country level in this region (CONANP personal communication, 2017; Lira-Torres *et al.*, 2012).

In a recent study on the distribution of the Jaguar in Oaxaca (Briones-Salas *et al.*, 2012), it was found that, despite monitoring and field work, there are no formal records in or near NPAs with state or federal decree in the entity, and that of the 31 specific records of veracity of the Jaguar identified in said study, nine were located within Community Conservation Areas (CCAs) without certification owned by indigenous communities and seven more (16 records, 51.6% of the total) less than 15 kilometers away from the same. This highlights the conservation value of these community and social conservation efforts. The regions with the highest number of records of the Jaguar in Oaxaca were the

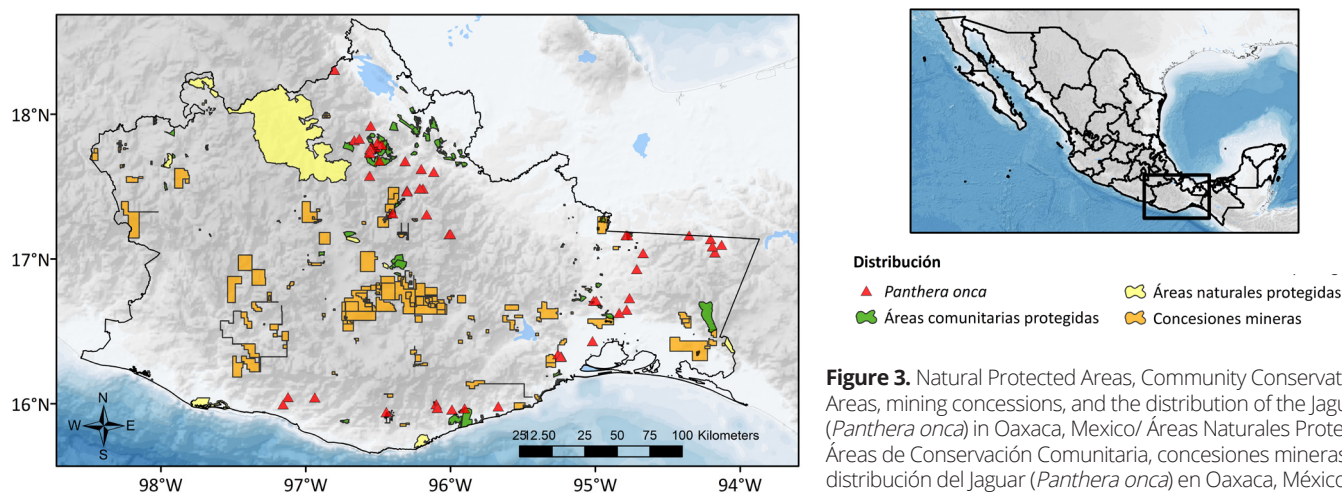
Sierra Madre de Oaxaca and the Sierra Madre de Chiapas (Chimalapas region). These regions also are not just highly diverse in terms of biodiversity but also in terms of cultural richness.

THE COMMUNITY CONSERVATION SYSTEM VS. THE FORMAL INSTITUTIONAL CONSERVATION SYSTEM

In the case of Oaxaca, the Community Conservation Areas (CCAs) for the conservation of the Jaguar and the associated biodiversity are protected areas at the initiative of communities, ejidos, and small landowners (Figure 3). This is of particular importance for at least two reasons. First, despite the relatively high percentage covered by Natural Protected Areas (NPAs), the great diversity and heterogeneity of species in Mexico means that many of the species are not included within these NPAs (for example, the Jaguar [*Panthera onca*]). An analysis of gaps and omissions in the conservation of terrestrial biodiversity in Mexico (CONABIO-CONANP-TNC-Pronatura-FCF-UANL, 2007, cited in Galindo-Leal, 2010) identified that only 15.9% of the highest priority sites for conservation in the country lie in some NPAs with federal decree. Second, between 70 and 80% of water bodies and forests are socially owned; that is, the owners are the people of ejidos and communities (Galindo-Leal, 2010). For example, Oaxaca, where about 80% of the territory consists of a social order (communal and ejidal), there has been serious resistance to the formal and institutional model of biodiversity conservation by the federal NPAs decrees.

In the case of La Chinantla region, within the Sierra Madre de Oaxaca, there exists scientific research evidence available, based on the community conservation initiatives of the Jaguar (*Panthera onca*) by the Chinantecos indigenous people (Lavariega *et al.*, 2020; Figel *et al.*, 2009). The community conservation efforts they practice are not yet recognized in many cases by the Mexican governmental institutions; however, they have been doing very well in maintaining the best preserved, the most biodiverse (García-Padilla, 2020), and the highest remnants of cloud forest at the Mesoamerican level (see the map provided by Toledo, 2009). Worth mentioning is that some native and mestizo communities have established Community Conservation Areas (CCAs) that lack official recognition (certification) but have functioned since time immemorial, thanks to community organization, the social tenure of the land, and conscious and voluntary community conservation efforts (García-Mendoza *et al.*, 2004; Galindo-Leal, 2010). At present in Oaxaca, where about 80% of the territory is communal, and, therefore, there is no private property, we can find the pioneering initiatives in Mexico and possibly the entire world in terms of the formal Community Conservation Areas.

For its own part, the institutional and federal governmental conservation efforts for Oaxacan biodiversity date back to 1937, when they were created by Federal Decree, when General Lázaro Cárdenas del Río was President of the Republic, including two



national parks: Benito Juárez and Lagunas de Chacahua. Additionally, in 1986 the beaches of La Escobilla and Chacahua were declared reserve zones and refuge sites for the protection, repopulation, development, and control of the various species of sea turtles; and in 2002 both areas were recategorized as “sanctuaries.” In 1998, the Tehuacán-Cuicatlán Biosphere Reserve was established, constituting the largest “protected” area by federal decree in Oaxacan territory. In that same year, the Bays of Huatulco National Park was also created on the Oaxaca coast. Finally, in 1999 the Yagul Natural Monument was established in the Central Valleys, which would achieve the declaration of World Heritage Site by UNESCO (2000) for being considered, among other things, as the place with the oldest archaeological evidence of domestication of the milpa system (*Zea mays*) and other Mesoamerican sacred crops, such as pumpkins, beans, and chilis. As in the vast majority of the country’s parks and nature reserves, however, the administrative neglect and corruption in which they have been maintained has not allowed them to fulfill the purposes for which they were created. Currently, many of these NPAs serve as fertile territory for biopiracy and establishment of concessions and subsequent exploitation of oil and minerals. Additionally, many other environmental crimes have been observed inside them, such as illegal logging, hunting, and traffic of species.

Despite the aforementioned efforts, to date, large gaps in biological and cultural information persist among all levels of social and governmental-institutional actors. For this reason, the purpose of the present document is to compile, discuss, and actualize the inventory figures of the biological richness in the Mexican state (Oaxaca) with the highest level of cultural diversity at the country level and the relevance of the social community initiatives to guarantee the conservation for perpetuity of this rich and invaluable bio-cultural patrimony.

COMMUNITY FOREST MANAGEMENT

Community Forest Management (CFM) is a “rights-based approach.” Securing land and resource rights for indigenous and/or local communities, and for women, within these groups is key to confronting the biodiversity and climate crises, while assuring sustainable livelihoods and food security. The achievements and the magnitude

of the challenges in devolving rights are noted in a new report, which finds that 49.2% of the area of a 42-country sample consists of territories of indigenous, local, and Afro-descendant peoples. Of these lands, 53.5% are recognized by national governments, whereas in 46.5% communities have still unrecognized and frequently threatened customary rights. Evidence is accumulating that community participation is key for the success of forest conservation initiatives. For example, indigenous territories cover 30% of the area in the Amazon Basin. In this fraction, deforestation and fire occurrence are lower and it contains more than half of the region’s carbon stocks, while having only 10% of recent forest loss, despite multiple threats. Another study of social and conservation outcomes in a large sample of protected areas found that those with positive socioeconomic outcomes and cultural and livelihood benefits for communities also had improved conservation (Bray, 2021).

The case of Mexico represents an unusual set of circumstances where agrarian policy beginning in the third decade of the 20th century established communal governance institutions (in some cases blended with traditional forms of governance), and a common property resource on a nation-wide scale. The agrarian governance institutions, with episodic influence from forestry legislation, then served as the organizational and social capital platform for the development of more entrepreneurially-oriented institutions that permitted the vigorous development of a very large sector of community forests managed for the commercial production of timber (Bray *et al.*, 2003 cited in Bray *et al.*, 2006). Reforms to agrarian law, at the constitutional level, in 1992 encouraged a transition from state-led to a community-led community forestry sector (de Janvry *et al.*, 2001 cited in Bray *et al.*, op. cit).

The Sierra Norte de Oaxaca or Sierra Madre de Oaxaca is recognized as an iconic region in the world for the CFM that is practiced there. This makes the conservation of forests and care of biodiversity coincide in the same territory. A recent study of 23 community forestry companies (with a total territory of 201, 994 hectares) showed that they use and conserve their forests according to the criteria of sustainable forest management. Seventy-eight % of said territory (156, 550 hectares) is forested and, according to its uses, is divided

into wood production areas (37%), strict conservation areas (36%), restoration areas (5%), agricultural areas, and other uses (22%). This forest territory is highly productive, since in a period of 20 years, it has produced approximately three million metric tons of wood. In the 1990s, the Community Forest Development Program supported the diversification of forest production into ecotourism and spring water bottling (Bray, 2018).

The success of this productive community initiative depends on what is currently called “comunalidad.” The notion of “comunalidad” was born as a category of anthropological analysis. The late Floriberto Díaz-Gómez (2004) defined it as “the space in which people carry out activities of recreation and transformation of nature, while the first relationship is that of the Earth with the people, through work.” It means that all the efforts and the derived economical resources are produced and distributed among all the community members equally also known as “comuneros.” Currently, the organization known as Unión de Comunidades Forestales Zapotecas y Chinantecas (UZACHI) has set an example now considered as a world leader referent in terms of the CFM, creating the basis for the utopic social progress in harmony with Mother Nature.

SUSTAINABLE OR LOW-IMPACT ECOTOURISM

We consider here a third ally for conservation biodiversity within an indigenous context in Oaxaca, i.e., sustainable or low impact ecotourism. According to the United Nations World Tourism Organization’s (UNWTO, 2022) definition, ecotourism refers to forms of tourism which have the following characteristics:

1. All nature-based forms of tourism in which the main motivation of the tourists is the observation and appreciation of nature as well as the traditional cultures prevailing in natural areas.
2. It contains educational and interpretation features.
3. It is generally, but not exclusively organized by specialized tour operators for small groups. Service provider partners at the destinations tend to be small, locally owned businesses.
4. It minimizes negative impacts upon the natural and socio-cultural environment.
5. It supports the maintenance of natural areas which are used as ecotourism attractions by:
 - Generating economic benefits for host communities, organizations and authorities managing natural areas with conservation purposes;
 - Providing alternative employment and income opportunities for local communities;
 - Increasing awareness towards the conservation of natural and cultural assets, both among locals and tourists.

The sustainable or low-impact ecotourism is currently an economic sustainable activity within the Zapotecan and Chinantecan communities in the Sierra Madre de Oaxaca (Sierra de Juárez). Communities such as Calpulalpan de Méndez and Santa Catarina Lachatao

in the Sierra de Juárez (Sierra Norte; SMO). These two are splendid examples of how human societies have been producing a sustainable lifestyle due to low-impact nature tourism. At the same time, these “comuneros” are struggling against the illegal forest exploitation and against the mining concessions inside their ancestral territories that they legally own. Each year, the people of both communities celebrate the “Festival de Tierra Caliente,” as part of a pacifist resistance movement against the eco- and ethnocidal capitalism represented by mining concessions operating on their lands.

The other referent of sustainable or low-impact ecotourism in the Sierra Madre de Oaxaca are the six Chinantecan communities of CORENCHI (Comité de Recursos Naturales de la Chinantla Alta AC) in the Chinantla region. Specifically, Santa Cruz Tepetotutla and San Antonio del Barrio Chinantecan communities celebrate each year the “Festival de la Biodiversidad de la Chinantla,” an event consistent on multiple activities to promote the low impact ecotourism in the region in benefit of the local owners of the land. Worth mentioning is that these communities do not have Community Forest Management; however, they are doing well in terms of the social conservation initiatives and low impact ecotourism in favor of the conservation of this indigenous territory that is in fact the largest remnant of cloud forest at the country level (Toledo, 2009).

Within the Sierra Madre de Chiapas-Isthmus of Tehuantepec, there is also a community-based, low-impact ecotourism known as “Paraíso Jaguar” in the Ejido La Esmeralda, located in the municipality of Santa María Chimalapa. The comuneros there are facing several challenges to combine the community conservation system and, at the same time, the low-impact ecotourism activities as an alternative economic method to avoid non-sustainable activities long established in the region, such as cattle-raising and illegal logging that are affecting the largest remnant of a mosaic of tropical forests of ca. 400, 000 hectares harboring the highest levels of biodiversity at the country level.

Together, all of these low-impact ecotourism activities, led by the social actors and their strategic level of organization, represent an effective ally for the conservation of some of the most biologically and culturally diverse regions at the country level (e.g., Chinantla and Chimalapas).

THE PRINCIPAL ENVIRONMENTAL PRESSURES ON CONSERVATION EFFORTS

There are several types of environmental issues affecting the biodiversity within the Mexican state of Oaxaca. Examples of them are the megaprojects, such as the mining concessions, hydroelectric dams, wind and solar farms, fracking, and cattle expansion, genetical modified organisms (GMOs), and the use of pesticides and glyphosate. In the region of the Isthmus of Tehuantepec and in general in the whole state of Oaxaca, there are different environmental pressures; however, the most

significant threat is the mega- project known as “Corredor Interoceánico,” orchestrated by the Mexican Government. Additionally, we have been witnessing how the laws at the constitutional level are changing dramatically in the last decades in benefit of the private interests of the big capitalists and to the detriment of the real owners of the land. The Ley Minera and the Ley General de Biodiversidad, which allow the legal establishment of mining concessions inside the natural protected areas by federal decree, are just a couple of examples of how the conditions for the dispossession and extractivism of the territories and the natural resources are created by big capitalists and politicians working for them and their agenda. To date, there are documented ca. 1, 609 mining concessions inside the Natural Protected Areas (Armendariz-Villegas and Ortega-Rubio, 2015). Based on this activity, the questions arise as to what NPAs are for and who they are supposed to benefit.

The Corredor Interoceánico in the Isthmus of Tehuantepec is placing under a lot of social and environmental pressure the most biodiverse and ethnoculturally diverse region of Mexico. This region is also highly valuable in terms of water resources, with ca. 40% of the reservoir of fresh water available at the country level. This same trend is observed in the Yucatan Peninsula with the “Tren Maya” megaproject, which is already suffering from several environmental pressures, such as deforestation, GMOs, soy crops, oils spills, bad drainage management, the plague of sargassum seaweed (*Sargassum* sp.), massive tourism, crime, and land speculation due to the imminent creation of tourist development nuclei of ca. 50, 000 habitants in every train station. In the case of the “Megaproyecto del Istmo,” there are considered the creation of various industrial development nuclei, which will demand the use of land and natural resources at an unprecedented rate in the region. The Isthmus of Tehuantepec is currently suffering in general a lack fresh water even for agricultural purposes and human consumption. Given that we are entering a sixth major extinction crisis; we advocate for alternative sustainable practices to guarantee the continuity of life on planet Earth.

CONCLUSIONS

- Oaxaca is the most biologically and culturally diverse state in Mexico.
- The native and mestizo peoples presently inhabiting Oaxaca are all descendants, either partially or completely, from the Olmec culture.
- The native peoples of Oaxaca currently are attempting to defend their ancestral territories and resources from exploitation by large commercial enterprises, including large-scale open-pit mining, hydroelectric dams, wind farms, livestock farming, large-scale monocultures, geoengineering, and fracking.
- Oaxaca is the fifth largest federal entity in Mexico and is divided into 30 districts, 570 municipalities, and around 10, 500 towns. The state comprises 12 physiographic regions and supports 16 indigenous-ethnolinguistic groups.
- High cultural diversity is correlated with equally high biological and environmental diversity.
- Our understanding of the biodiversity of Oaxaca continues to increase. For example, the diversity of birds now stands at 776 species, that of the herpetofauna at 480 species, and that of mammals at 216 species.
- The cultural richness of Oaxaca is the most diverse in the country of Mexico, especially in terms of languages.
- Cultural and biological diversity in Oaxaca are heavily intertwined and it is understood that biological diversity will be preserved only by the protection of cultural diversity and vice versa.
- The system of Community Conservation Areas in Oaxaca consists of protected areas maintained by various communities, ejidos, and small landowners, and is important for two major reasons. First, because they offer protection to a variety of species that are not included within the natural protected areas system (NPAs) of the federal government, and second, because between 70 and 80% of water bodies and forests are owned by ejidos and communities. Thus, members of these ejidos and communities have resisted being involved with the formal NPA system.
- The Chinantecan indigenous people of Oaxaca are part of the indigenous peoples in the world in general that are recognized by the United Nations as the guardians of approximately 80% of the remnant global biodiversity.
- The Mexican government's efforts to protect Oaxaca's biodiversity date back to the presidency of General Lázaro Cárdenas del Río, when the national parks Benito Juárez and Lagunas de Chacahua were established. Since that time, a number of subsequent initiatives have been introduced in the federal government's efforts to add to the system of natural protected areas.
- Community Forest Management efforts by the world's indigenous peoples have constituted almost half of a 42-country sample of such efforts, which involve the securing of resource rights for indigenous and/or local communities, as well as for women. While 53.5% of these lands are given recognition and given protection also by federal governments; the remaining 46.5% are still unrecognized and frequently threatened by non-indigenous societal elements. In Oaxaca, such community initiatives have been effective in the social struggle against previous non-indigenous groups.
- Some indigenous groups living within the Sierra Madre de Oaxaca are utilizing low-impact ecotourism as another means of conserving their lands and allowing for sustainable lifestyles, while at the same time struggling against the exploitative efforts by outside interests.
- The greatest threat to such indigenous efforts is the large project known at the Corredor Interoceánico, which is a federal government effort to restore some 300 km of railways in the Isthmus of Tehuantepec, ostensibly to move goods rapidly from the Pacific Ocean to the Gulf of Mexico.

15. Several environmental pressures exist that impact the community conservation efforts of indigenous peoples by allowing extractive activities within protected areas by political interests in the federal government, including large-scale mining activities. This deleterious activity is so widespread that it calls into question why natural protected areas really exist and who they are supposed to benefit.

RECOMMENDATIONS

1. We recommend to the Mexican Government and the environmental institutions such as SEMARNAT, CONAFOR, and CONANP, to recognize and declare formally that the native people as not just the real owners of the land but also the real social and environmental heroes. The environmental agenda should include the recognition of the rights among the multiple indigenous groups of Mexico over their ancestral territories, which in many cases were even recognized by the Spanish Empire before the independence of Mexico ca. 200 years ago.
2. We propose also the inclusion and strengthening of Community Conservation Initiatives, Community Forest Management, and Low-Impact Ecotourism as just three of the main alternative productive and sustainable activities in favor of the social and environmental justice. Together with other achievements led by the Oaxacan indigenous people, such as fair coffee trade and agroecology, these will determine the achievement of the still unattained sustainability and preservation for perpetuity of wildlife and human societies.
3. We call on the new generations of “comuneros” and community members in general of the Mexican and Oaxaca societies to defend their fundamental human rights for a healthy environment and so a quality of life based on social justice in harmony with Mother Nature, translated into a more sustainable lifestyle that guarantees the viability of the coming generations.
4. To the Mexican Government, we request the abolition of all faces of these ethno- and ecocidal megaprojects that act in favor of capitalists and to the detriment of the civil population. The Ley Minera and Ley General de Biodiversidad ought to be extinguished to guarantee the conservation of the last remnants of biodiversity in possession of the indigenous communities.
5. We strongly call for the civil societies to consider better and more sustainable practices to guarantee the survival of not just the entirety of biodiversity but also of our own species. We are still have time to create collectively the conditions to achieve social and environmental justice. As a predominant mestizo society in Mexico, we still have a lot to learn from indigenous communities and their traditional uses and practices among their ancestral and legally-owned territories and common natural resources. What the environmental elite in Mexico ignore or do not want to recognize is that for the indigenous peoples, their territories and common natural resources possess a value (cultural, ecological, symbolic, magical, and religious), but never a monetary price.



*I LOVE THE SONG OF THE MOCKINGBIRD,
BIRD OF FOUR HUNDRED VOICES,
I LOVE THE COLOR OF JADE
AND THE INTOXICATING SCENT OF FLOWERS,
BUT MORE THAN ALL I LOVE MY BROTHER, MAN.*



—NEZAHUALCÓYOTL



LITERATURE CITED

- Aguilar-López, J. L., Pineda, E., Luria-Manzano, R., and Canseco-Márquez, L. 2016. Species diversity, distribution, and conservation status in a Mesoamerican region: Amphibians of the Uxpanapa-Chimalapas region, Mexico. *Tropical Conservation Science*. 9: 1–16.
- Alcom, J. B. 1993. Indigenous peoples and conservation. *Conservation Biology* 7: 424-426.
- Armendáriz-Villegas y Ortega-Rubio. 2015. Concesiones mineras en Áreas Naturales Protegidas de México (Pp.11-13). En: La jornada ecológica edición agosto-septiembre.
- Barabas A., Bartolomé M. and Maldonado B. 2004. Los pueblos indígenas de Oaxaca, atlas etnográfico. Instituto Nacional de Antropología e Historia. Gobierno del Estado de Oaxaca. Fondo de Cultura Económica. Pp. 260
- Bartra, A. 2017. Vivimos un capitalismo del fin del mundo, suicida. *La Jornada*, 26 de marzo. <https://www.jornada.com.mx/2017/03/26/politica/007e1pol>
- Blázquez-Olaciregui, M. 2016. Avifauna de Oaxaca (México): Acervo bibliográfico para el diagnóstico de su conocimiento actual. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. Pp.146.
- Bray D.B., Antorini C., and Torres-Rojo J. M. 2006. The Mexican model of community forest management: The role of agrarian policy, forest policy and entrepreneurial organization. *Forest Policy and Economics* 8 (2006) 470–484.
- Bray D.B. 2018. Sierra Norte de Oaxaca: El manejo forestal comunitario. *La Jornada*. <https://www.jornada.com.mx/2018/09/30/opinion/016a1pol>
- Bray, D.B. 2021. It takes communities to save forests. *Nature Sustainability* 4, 190–191.
- Briones-Salas, M., M. C. Lavariega, and I. Lira-Torres. 2012. Distribución actual y potencial del jaguar (*Panthera onca*) en Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 83(1): 246-257.
- Briones-Salas, M., M. Cortes-Marcial, and M. C. Lavariega. 2015. Diversidad y distribución geográfica de los mamíferos terrestres del estado de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 86(3):.685-710.
- De Ávila-Bloomberg, A. 2004. La clasificación de la vida en las lenguas de Oaxaca (Pp. 481–540). In: A. J. M. García-Mendoza, J. Ordoñez, and M. Briones-Salas (Eds.), *Biodiversidad de Oaxaca*. Instituto de Biología, UNAM-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund, México, D.F., México.
- Díaz-Gómez, F. 2004. Comunidad y comunalidad. *Diálogos en la acción, segunda etapa Culturas Populares e Indígenas*. (Pp. 365–363). <http://rusredire.lautre.net/wp-content/uploads/Comunidad.-y-comunalidad.pdf>
- Figel, J., E. Durán, D. Barton, and J. R. Prisciliano-Vázquez. 2009. New jaguar records from montane forest at a priority site in southern Mexico. *CATnews* 50: 14–15.
- Flores-Villela, O., and U. O. García-Vázquez. 2014. Biodiversidad de reptiles en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(2): 467–475.
- Galindo-Leal, C. 2010. Áreas Comunitarias Protegidas en Oaxaca. (Pp. 20-21). In: Carabias, J., et al. (coords.), 2010. *Patrimonio natural de México*. Cien casos de éxito. México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Mexico City, Mexico.
- García-Aguirre, M.A. 2013. La tenaz lucha del pueblo zoque chimalapa en defensa de sus invaluables bienes naturales. *La Jornada Ecológica*. 2 de diciembre. <https://www.jornada.com.mx/2013/12/02/eco-d.html>
- García-Mendoza, A. J., M. J. Ordoñez, and M. Briones-Salas (Eds.). 2004. *Biodiversidad de Oaxaca*. Instituto de Biología, UNAM- Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza- World Wildlife Fund, México, D. F., Mexico.Pp. 603.
- García-Padilla E. 2018. Los Chimalapas: exploring the most biodiverse forest of Mesoamerica. *Biology of Mexican Herps*. Wordpress: <https://biomh.wordpress.com/2018/12/28/los-chimalapas-exploring-the-most-biodiverse-tropical-forest-of-mesoamerica/>
- García-Padilla E. 2020. Los Chimalapas: donde viven los hijos del Jaguar Pp. 8-9). En: *Suplemento Ojarasca, La Jornada*. Edición de Octubre https://issuu.com/lajornadaonline/docs/ojarasca_282

- González-García, F. 1993. Avifauna de la Reserva de la Biosfera "Montes Azules", Selva Lacandona, Chiapas, México. *Acta Zoológica Mexicana*. 55: 1-86.
- Hernández-Ordoñez, O., V. Arroyo-Rodríguez, A. González-Hernández, G. Russildi, R. Luna-Reyes, M. Martínez-Ramos, and V.H. Reynoso. 2015. Extensión del área de distribución de anfibios y reptiles en la parte sureste de la selva Lacandona, México. *Revista Mexicana Biodiversidad* 86(2):457-468.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2022. Censo Nacional de Población, México.
- 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: 544-620.
- Johnson, J. D., V. Mata-Silva, E. García-Padilla, and L. D. Wilson. 2015. The herpetofauna of Chiapas, Mexico: composition, physiographic distribution, and conservation status. *Mesoamerican Herpetology* 2: 272-329.
- Lavariega M. C., J. A. Ríos-Solís, J. J. Flores-Martínez, R. E. Galindo-Aguilar, V. Sánchez-Cordero, S. Juan-Albino, and I. Soriano-Martínez. 2020. Community-based monitoring of Jaguar (*Panthera onca*) in the Chinantla Region, Mexico. *Tropical Conservation Science* 13: 1-16.
- Lira-Torres I., C. Galindo-Leal, and M. Briones-Salas. 2012. Mamíferos de la Selva Zoque, México: riqueza, uso y conservación. *Revista Biología Tropical (Int. J. Trop. Biol.*
- López-Paniagua, J. E., M. Bolaños-Méndez, and Á. González-Ríos. 2017. Conservación comunitaria en La Chinantla. Grupo Mesófilo A.C. Oaxaca de Juárez, Oaxaca, Mexico. Pp. 55.
- Luna-Reyes, R. 2019. Anfibios y reptiles de la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México: estudios y recomendaciones para su conservación y manejo (Pp. 101-113). In: Enríquez P. L, Martínez Camilo R and Carrillo García M. (eds.). *La Reserva de la Biósfera El Triunfo: avances y necesidades de investigación y conservación*. El Colegio de la Frontera Sur, Oaxaca, México.
- Mata-Silva, V., J. D. Johnson, L. D. Wilson, and E. García-Padilla. 2015. The herpetofauna of Oaxaca, Mexico: composition, physiographic distribution, and conservation status. *Mesoamerican Herpetology* 2: 6-62.
- Mata-Silva, V., E. García-Padilla, A. Rocha, D. DeSantis, J. D. Johnson, A. Ramírez-Bautista, and L. D. Wilson. 2021. A reexamination of the herpetofauna of Oaxaca, Mexico: composition update, physiographic distribution, and conservation commentary. *Zootaxa* 4,996: 201-252.
- Naranjo, E. J., and J. E. Bolaños-Citalán. 2019. Mamíferos de la Reserva de la Biósfera El Triunfo (Pp. 167-168). In: Enríquez P. L., R. Martínez Camilo, and M. Carrillo García. (eds.). *La Reserva de la Biósfera El Triunfo: avances y necesidades de investigación y conservación*. El Colegio de la Frontera Sur, Oaxaca, México.
- Navarro-Sigüenza, A. G., L. C. Márquez, and H.O. Monroy. 2008. Vertebrados terrestres de Los Chimalapas: Una prioridad de conservación. *CONABIO. Biodiversitas* 77: 10-15.
- Navarro-Sigüenza A.G., Ma. Fanny Rebón-Gallardo, Alejandro Gordillo-Martínez, A. Townsend Peterson, Humberto Berlanga-García y Luis A. Sánchez-González. 2014. Biodiversidad de aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85: S476-S495.
- Palacios-Aguilar, R., and O. Flores-Villela. 2018. An updated checklist of the herpetofauna of Guerrero, México. *Zootaxa* 4,422: 1-24.
- Parra-Olea, G., O. Flores-Villela, and C. Mendoza-Almeralla. 2014. Biodiversidad de anfibios en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 460-466.
- Rivero, M. and R. Medellín. 2015. Mamíferos de Chiapas. *Revista Mexicana de Mastozoología, nueva época*, 2015, Año 5, Núm. 2: 23-37.
- Sánchez-Cordero V., J. Francisco Botello, J. Flores-Martínez, R. A. Gómez-Rodríguez, L. Guevara, G. Gutiérrez-Granados, and A. Rodríguez-Moreno. 2014. Biodiversidad de Chordata (Mammalia) en Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(3):496-504
- Sarukhán, J., P. Koleff, J. Carabias, J. Soberón, R. Dirzo, J. Llorente-Bousquets, G. Halffter, R. González, I. March, A. Mohar, S. Anta, and J. de la Maza. 2009. Capital Natural de México: Conocimiento actual, evaluación y perspectivas de Sustentabilidad. Síntesis. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pp.100.
- Toledo T. 2009. El bosque de niebla. *CONABIO. Biodiversitas* 83: 1-6.
- Toledo, V. M. 1999. Indigenous people and biodiversity. (Pp.) In: Levin, S. et al., (eds.) *Encyclopedia of Biodiversity*. Academic Press https://www.researchgate.net/publication/255585922_Indigenous_Peoples_and_Biodiversity.
- Torres-Hernández, LA, Ramírez-Bautista A, Cruz-Elizalde R, Hernández-Salinas U, Berriozabal-Islas C, DeSantis DL, Johnson JD, Rocha A, García-Padilla E, Mata-Silva V, Fucsko LA, and Wilson LD. 2021. The herpetofauna of Veracruz, Mexico: composition, distribution, and conservation status. *Amphibian & Reptile Conservation* 15(2) [General Section]: 72-155 (e285).
- United Nations Organization. 2018. Los indígenas guardan el 80 % de la biodiversidad el resto la hemos exterminado. <https://news.un.org/es/audio/2018/04/1432172>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 2000. World Heritage Conservation. <https://whc.unesco.org/es/list/1352#>
- UNWTO, 2022. Biodiversity. Ecotourism and protected areas. <https://www.unwto.org/sustainable-development/ecotourism-and-protected-areas>
- Vázquez-Pérez J. R., P. L. Enríquez, and G. de Jesús Cartas Heredia. 2019. Diversidad de aves en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México. (Pp. 115-136). In: Enríquez, P. L, Martínez Camilo R., and Carrillo García M. (eds.). *La Reserva de la Biósfera El Triunfo: avances y necesidades de investigación y conservación*. El Colegio de la Frontera Sur, Oaxaca, Mexico.
- Wilson, E. O. (ed.) 1988. *Biodiversity*. National Academy Press, Washington, D. C., USA. Pp.538.
- Woolrich-Piña, G. A., E. García-Padilla, D. L. DeSantis, J. D. Johnson, V. Mata-Silva, and L. D. Wilson. 2017. The herpetofauna of Puebla, Mexico: composition, distribution, and conservation. *Mesoamerican Herpetology* 4: 791- 884.



1. Francisco Toledo (seated second from the right) during the last forum he organized in defense of the territories and natural common resources in 2019 in the community of Atzompa, Valles Centrales of Oaxaca. Photo by Elí García-Padilla.



2. The landscape in the Valles Centrales of Oaxaca. Photo by Elí García-Padilla.



3. The native maize (*Zea mays*) in the Sierra Madre del Sur, Oaxaca. Photo by Elí García-Padilla.



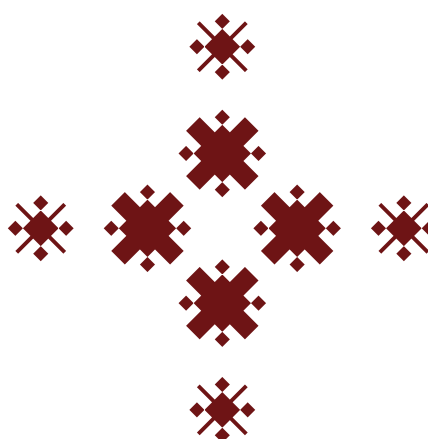
4. The Jaguar represented in the rupestrian art inside the Cave Los Machines in the Ejido Unión Zapata, in the municipality of Mitla (Lyobaa). Photo by Elí García-Padilla.



5. People from the Triqui culture in the community of San Andrés Chicahuaxtla, Sierra Madre del Sur. Photo by Elí García-Padilla.



6. The sale of domestic turkey (*Meleagris gallopavo*) in the market of Tlacolula de Matamoros, Valles Centrales. Photo by Elí García-Padilla.





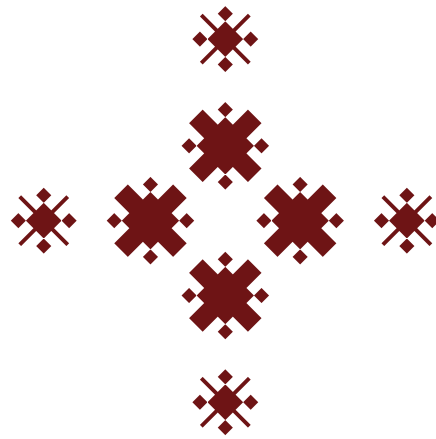
7. Cacao (*Theobroma cacao*) in the region of the Los Chimalapas, Isthmus of Tehuantepec. Photo by Elí García-Padilla.



8. The mescal and diversity of agaves (*Agave* sp.) in the region of Sola de Vega, Sierra Madre del Sur. Photo by Elí García-Padilla.



9. The pulque (octli) obtained from the pulquero agaves (*Agave americana*) in the vicinity of El Almacén, Santa María Apasco, Mixteca region. Photo by Elí García-Padilla.



10. The Mexican horned pit viper (*Ophryacus undulatus*) found in the community of Santa Catarina Lachatao, Sierra Madre de Oaxaca. Photo by Elí García-Padilla.



11. A pair of military macaws (*Ara militaris*) in the vicinity of San Pedro Jocotipac, Cañón del Sabino, Cañada region. Photo by Elí García-Padilla.



12. The vegetation composed of tropical evergreen forest in the vicinity of La Gloria in Los Chimalapas region, Isthmus of Tehuantepec. Photo by Elí García-Padilla.



13. The individual of Baird's Tapir (*Tapirella bairdii*) in the photo was photographed in captivity in the Zoológico Regional Miguel Álvarez del Toro in Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Photo by Elí García Padilla.



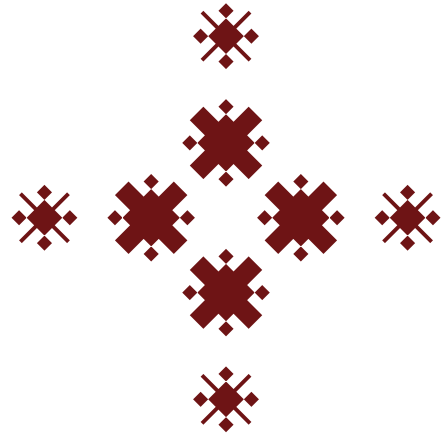
14. A Zapotecan woman from the Central Valley of Oaxaca. San Miguel del Valle, Oaxaca. Photo by Elí García-Padilla.



15. A Zapotecan woman from the Sierra Madre del Sur, Santa Lucía Miahuatlán, Oaxaca. Photo by Elí García-Padilla.



16. A group of Zapotecan women from Sierra Norte (SMO), San Melchor Betaza, Oaxaca. Photo by Elí García-Padilla.



17. A baby Jaguar called "Pitao Bedxé" (God Jaguar) photographed in captivity at the local zoo "Yaguar Xoo," Tanivet, Oaxaca. Photo by Elí García-Padilla.



18. The olive ridley sea turtle (*Lepidochelys olivacea*) on the shore of the community of La Ventanilla, Santa María Tonameca, Oaxaca. Photo by Elí García-Padilla.



19. The Oaxaca spiny-tailed iguana (*Ctenosaura oaxacana*) and habitat in the vicinity of Morro Ayuta in the Isthmus-Coast of Oaxaca. Photo by Elí García-Padilla.



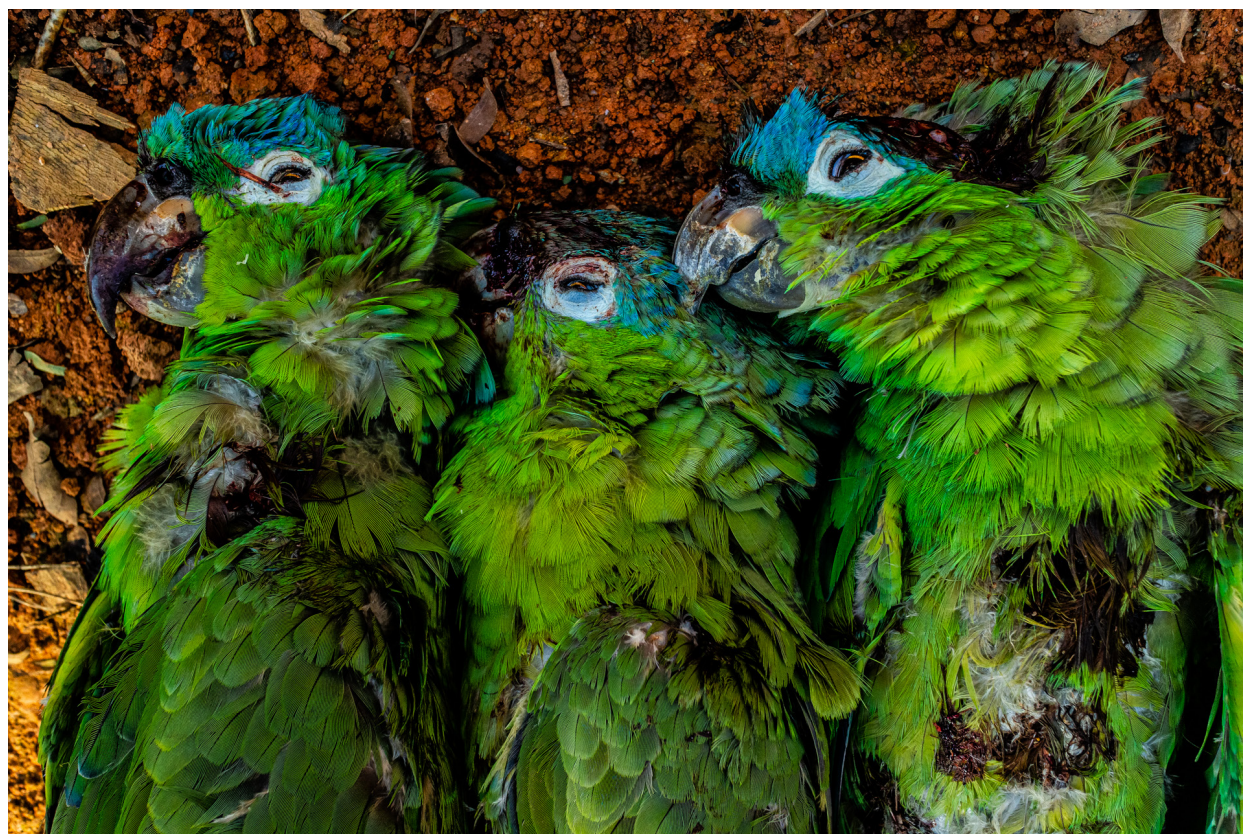
20. The Chamula mountain brook frog (*Duellmanohyla chamulae*) in the vicinity of Santa María Chimalapa in the Isthmus of Tehuantepec. Photo by Elí García-Padilla.



21. The Conant's false brook salamander (*Pseudoeurycea conanti*) in the vicinity of Vega del Sol, in the municipality of Sola de Vega. Photo by Elí García-Padilla.



22. The community forests of the Sierra de Juárez, worldwide pioneer of the Community Forest Management. Santiago Comaltepec, Oaxaca. Photo by Elí García-Padilla.



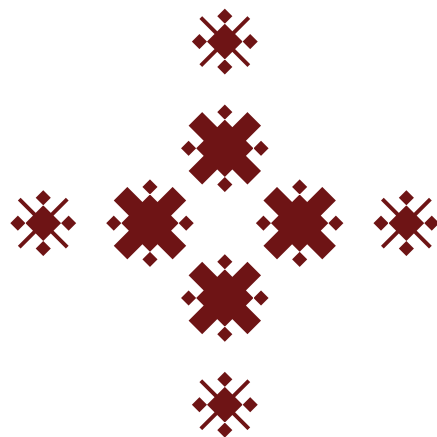
23. A group of *Amazona guatemalensis* hunted by local people to be consumed as forest meat. This species supposedly is protected and under a high category of vulnerability according to the Mexican and international legal instruments. However, we personally observed that in the region of the Los Chimalapas, a bastion of ca 400, 000 hectares of well- preserved forests, it is a very common species. Photo by Elí García-Padilla.



24. The tropical deciduous low forest and xeric vegetation typical of the Reserva de la Biósfera Tehuacan-Cuicatlán and the communal lands of San Pedro Jocotipac in the “Cañada” region, sanctuary of the last populations of Military macaw (*Ara militaris*). Photo by Elí García-Padilla.



25. The tree ferns typical of the mountain cloud forest in the humid zone of the Sierra Norte or Sierra Madre de Oaxaca, Sendero Relámpago, La Esperanza, Santiago Comaltepec. Photo by Elí García-Padilla.





ADRIÁN LEYTE MANRIQUE. Biólogo por la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco; Maestro en Recursos Bióticos y Doctor en Ciencias en Biodiversidad y Conservación por el Centro de Investigaciones Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Becario de CONACYT. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores de 2013 a 2018; Nivel "C" y perfil PRODEP (de 2017 a la fecha; 2021). Mi experiencia como docente ha sido en nivel superior en la Carrera de Biología en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (2006-2010), en el Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (De 2011 a 2014), y en el Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra, carrera de Innovación Agrícola Sustentable, de 2015 a la fecha (septiembre 2021). Mi línea de investigación se enfoca al estudio de la diversidad y ecología de anfibios y reptiles de Guanajuato, tanto en ambientes conservados como perturbados (antropizados; zonas agrícolas y rural-urbano). He colaborado en diversos proyectos de investigación como colaborador y responsable. He participado en más de 15 congresos nacionales e internacionales como ponente, tallerista y jurado. Revisor y editor asociado para revistas científicas nacionales e internacionales, así como para la Universidad Autónoma de Aguascalientes, Universidad de Guanajuato, SICES para los proyectos FINNOVATEG, TecNM y el CONACYT. En cuanto a mi producción, a la fecha cuento con 25 artículos publicados en revistas nacionales e internacionales arbitradas e indexadas, así como con 10 notas científicas, tres libros; uno como autor principal y dos en co-autoría. Seis capítulos en libro como autor principal y coautor. He participado en 26 tesis de licenciatura y de posgrado como sinodal y director de tesis (13). Imparto las cátedras de biología, ecología, entomología, taller de investigación, y agroclimatología en nivel Licenciatura.

ALEJANDRA LLANAS-MERAZ. Estudiante del cuarto semestre en la carrera de Lic. En Biotecnología Genómica en la Facultad de Ciencias Biológicas. Enfocada en la investigación de plantas medicinales y productos naturales que benefician al cuerpo humano, además, se desempeña en trabajos colaborativos e individuales y presenta la capacidad para analizar y sintetizar textos científicos referentes al área de interés, siendo participe de actividades extracurriculares dentro del área de la ciencia como las olimpiadas del conocimiento y otros proyectos externos.

ale.llanasmeraz@hotmail.com

ALMA YESENIA GUTIERREZ-VENCES. Estudiante del noveno semestre de Licenciatura en Biotecnología Genómica, se ha desempeñado como voluntaria en el laboratorio de bioquímica y como becaria en el laboratorio de ciencia de datos además de en la investigación de modelaje y ensayos in silico.

alma.gutierrezvcs@uanl.edu.mx

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

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

CARLOS JESÚS BALDERAS VALDIVIA. Biólogo, Maestro en Ciencias y Doctor en Ciencias Biológicas egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México. Becario CONACyT-DGAPA. Académico Titular de Tiempo Completo con adscripción en la Dirección General de Divulgación de la Ciencia y Profesor de Asignatura de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Imparte las Asignaturas Anfibios y Reptiles y el Taller Procesos de la Biosfera, Sustentabilidad y Sociedad. Fue Profesor visitante de Ecología y Medio Ambiente del Programa de posgrado Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California. Tiene un enfoque de investigación en Ecología, Comportamiento, Conservación, Biodiversidad y Divulgación Científica con especialidad en Herpetología. Es responsable reciente de proyectos financiados PAPIME-UNAM 2016 y 2018. Es autor de más de 26 trabajos científicos nacionales e internacionales, 3 libros y 12 artículos de divulgación científica. Es fundador y editor responsable de Herpetología Mexicana (www.herpetologiamexicana.org). Ha dirigido 8 tesis profesionales y de posgrado. Ha participado en 50 congresos científicos y es conferencista de más de 40 ponencias. Es fundador del Coloquio sobre Riqueza Natural y Sociedad de la DGDC-UNAM y ha organizado 11 eventos públicos. Fue Secretario, Vicepresidente y Presidente de la Sociedad Herpetológica Mexicana A. C. Es fundador Vocal de Coco Tortuga A. C. Fue acreedor a la Medalla Alfonso Caso por la UNAM y ha recibido otros reconocimientos por premios a estudiantes ganadores asesorados. Fue Editor ex-oficio del Boletín de la Sociedad Herpetológica Mexicana, A. C. y ha colaborado como árbitro de *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, *Revista Latinoamericana de Herpetología*, *Ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo de México*, entre otros.

CLAUDIA BALLESTEROS BARRERA. Obtuvo el título de Bióloga en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAM-I), de Maestra en Ciencias en la Facultad de Ciencias de la UNAM y de Doctora en Ciencias en el Instituto de Biología de la UNAM. Actualmente es Profesora Titular de Tiempo Completo del Departamento de Biología de la UAM-I. Su línea de investigación es la ecología biogeográfica y teoría del nicho ecológico. Estudia la distribución en el espacio geográfico y ecológico de las especies, utilizando Sistemas de Información Geográfica y Modelos del Nicho Ecológico, abordando las siguientes cuestiones: A) Respuestas al cambio global: cambio climático, deforestación, especies invasoras B) Análisis y determinación de áreas de riqueza, diversidad y endemismo, C) Tendencias evolutivas del nicho ambiental: paleodistribuciones

y análisis del nicho con relación a la filogenia. Ha sido coeditora de libros, ha publicado artículos científicos y de divulgación, es editora asociada de la *Revista Mexicana de Biodiversidad* de la UNAM, y participa activamente impartiendo asignaturas y dirigiendo tesis de licenciatura y posgrado. Tiene el Reconocimiento a Profesores de Tiempo Completo con Perfil Deseable por parte del Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP), asimismo ha recibido distinciones académicas como la Medalla al Mérito Universitario por parte de la UAM, y la Medalla de Plata Alfonso Caso otorgada por la parte de la UNAM.

DAVID LAZCANO is a herpetologist who earned a bachelor's degree in chemical science in 1980, and a bachelor's degree in biology in 1982. In 1999 he earned a master's degree in wildlife management and later a PhD degree in biological sciences with a specialty in wildlife management (2005), all gained from the Facultad de Ciencias Biológicas of the Universidad Autónoma de Nuevo León (FCB/UANL), Mexico. Currently, he is a full-time professor at the same institution, where has taught courses in soil sciences, herpetology, herpetological ecology, animal behavior, biogeography, biology and diversity of chordates, and wildlife management. He is also the head of the Laboratorio de Herpetología since 1993 and Coordinación de Intercambio Académico de la Facultad de Ciencias Biológicas at UANL. Since 1979, he has been teaching and providing assistance in both undergraduate and graduate programs. In 2006 he was honor to receive the Joseph Lazlo award for his herpetological trajectory, from the IHS. In October 2017 he was awarded national recognition by the Asociación para la Investigación y Conservación de Anfibios y Reptiles (AICAR), due to his contribution to the study of ecology and conservation of herpetofauna in northeastern Mexico (Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila). Participated in the elaboration of the Program of Action for the Conservation of the Species (PACE) Rattlesnakes (*Crotalus* spp.). His research interests include the study of the herpetofaunal diversity of northeastern Mexico, as well as the ecology, herpetology, biology of the chordates, biogeography, animal behavior, and population maintenance techniques of montane herps. He has been thesis advisor for many Bachelor's, Master's, and PhD degrees dealing with the study of the herpetofauna of the region as well as nationally. David has published more 250 scientific notes and articles in indexed and general diffusion journals, concerning the herpetofauna of the northeastern portion of Mexico. His students named a species in honor of his work *Gerrhonotus lazcanoi*.

DOMINIC L. DESANTIS is currently a Ph.D. candidate and National Science Foundation-Graduate Research Fellow at the University of Texas at El Paso in the Ecology and Evolutionary Biology program. He received his Bachelor's degree at Texas State University where he also completed multiple research projects on the antipredator behavior of the critically endangered Barton Springs Salamander (*Eurycea sosorum*). His ongoing dissertation research

integrates radio telemetry with recent advances in animal biotelemetry technologies to study movement and behavioral ecology in Western Diamond-backed Rattlesnakes (*Crotalus atrox*). Dominic accompanied Vicente Mata-Silva, Elí García-Padilla, and Larry David Wilson on survey and collecting trips to Oaxaca in 2015, 2016, and 2017 and is a co-author on numerous natural history publications that were produced from those visits. Overall, Dominic has authored or co-authored over 40 peer-reviewed scientific publications.

ELÍ GARCÍA-PADILLA is a biologist-herpetologist primarily focused on the study of the ecology and natural history of the Mexican herpetofauna. His research efforts have centered on the Mexican states of Baja California Sur, Tamaulipas, Chiapas, and Oaxaca. His first experience in the field was researching the ecology of the insular endemic populations of the rattlesnakes *Crotalus catalinensis*, *C. muertensis* (*C. pyrrhus*) and *C. tortugensis* (*C. atrox*) in the Gulf of California. For his Bachelor's degree he presented a thesis on the ecology of *C. muertensis* (*C. pyrrhus*) on Isla El Muerto, Baja California, Mexico. To date, he has authored or co-authored over 100 peer-reviewed scientific publications. One of his main passions is environmental education, and for several years he has been working on a variety of projects that include the use of audiovisual media as a powerful tool to reach large audiences and to promote the importance of the knowledge, protection, and conservation of the Mexican biodiversity. Elí's interests include wildlife and conservation photography, and his art has been published in several recognized scientific, artistic, and educational books, magazines, and websites. Presently, he is focused in the study of the community conservation system and the evaluation of the jaguar (*Panthera onca*) as an umbrella species for the conservation of the Mesoamerican herpetofauna.

EZEQUIEL VIVEROS-VALDEZ. Profesor-Investigador del departamento de química de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I, cuenta con perfil PRODEP y forma parte del cuerpo académico de química biológica (UANL-CA-180 Consolidado), trabajando en la línea de generación y aplicación del conocimiento de Investigación y Desarrollo de Productos Naturales Bioactivos. Sus investigaciones se han enfocado en determinar el efecto biológico de productos naturales mediante el uso de bioensayos in vitro, ex vivo e in vivo, así como su análisis químico mediante técnicas analíticas acopladas como LC-DAD-NMR-MS.

jose.viverosvld@uanl.edu.mx

JERRY D. JOHNSON is Professor of Biological Sciences at The University of Texas at El Paso, and has extensive experience studying the herpetofauna of Mesoamerica, especially that of southern Mexico. Jerry is the director of the 40,000-acre "Indio Mountains Research Station," was a co-editor on Conservation of Mesoamerican Amphibians and Reptiles and co-author of four of its chapters. He

is also the senior author of the recent paper "A conservation reassessment of the Central American herpetofauna based on the EVS measure" and is Mesoamerica/Caribbean editor for Geographic Distribution section of Herpetological Review. Johnson has authored or co-authored over 100 peer-reviewed papers, including two 2010 articles, "Geographic distribution and conservation of the herpetofauna of southeastern Mexico" and "Distributional patterns of the herpetofauna of Mesoamerica, a Biodiversity Hotspot." One species, *Tantilla johnsoni*, has been named in his honor. Presently, he is an Associate Editor and Co-chair of the Taxonomic Board for the journal Mesoamerican Herpetology.

LARRY DAVID WILSON is a herpetologist with lengthy experience in Mesoamerica. He was born in Taylorville, Illinois, United States, and received his high school diploma from Stephen Decatur High School in Decatur, Illinois, and his university education at Millikin University in Decatur, Illinois, the University of Illinois at Champaign-Urbana (B.S. degree), and at Louisiana State University in Baton Rouge (M.S. and Ph.D. degrees). He served on the faculty of Miami-Dade College for 35 years, retiring in 2007. He has authored or co-authored more than 455 peer-reviewed papers and books on herpetology. Larry is the senior editor of Conservation of Mesoamerican Amphibians and Reptiles (2010) and the co-author of eight of its chapters. His other books include The Snakes of Honduras (1985), Middle American Herpetology (1988), The Amphibians of Honduras, Amphibians & Reptiles of the Bay Islands and Cayos Cochinos, Honduras (2005), The Amphibians and Reptiles of the Honduran Mosquitia (2006), and Guide to the Amphibians & Reptiles of Cusuco National Park, Honduras (2008). To date, he has authored or co-authored the descriptions of 75 currently-recognized herpetofaunal species, and seven species have been named in his honor, including the anuran *Craugastor lauraster*, the lizard *Norops wilsoni*, and the snakes *Oxybelis wilsoni*, *Myriopholis wilsoni*, and *Cerrophidion wilsoni*. Currently, Larry is Co-chair of the Taxonomic Board for the website Mesoamerican Herpetology.

LYDIA ALLISON FUCSKO who resides in Melbourne, Australia, is an environmental activist and amphibian conservationist. As a photographer with international publications, she has taken countless amphibian photographs, including photo galleries of frogs mostly from southeastern Australia. Dr. Fucsko has a Bachelor of Humanities from La Trobe University (Bundoora, Victoria, Australia) and a Diploma in Education from the University of Melbourne (Parkville, Victoria, Australia). She has postgraduate diplomas in computer education and in vocational education and training from the University of Melbourne (Parkville). Additionally, Dr. Fucsko has a Master's Degree in Counseling from Monash University (Clayton, Victoria, Australia). She received her Ph.D. on Environmental Education, which promoted habitat conservation, species perpetuation, and global sustainable management, from Swinburne University of Technology (Hawthorn, Victoria, Australia), while being mentored by the late

Australian herpetologist and scholar Dr. Michael James Tyler (Order of Australia recipient). Dr. Fucsko, a sought-after educational consultant, has academic interests that include clinical psychology, focusing on psychopathology, neuroscience and empathy, environmental education for sustainable development, sentient ecology, academic writing, and creative writing, which includes poetry and creative non-fiction books for children and young adults. Dr. Fucsko is also the senior author (with Boria Sax) of a chapter in the 2019 Springer Encyclopedia of Sustainability in Higher Education entitled "Learning Activities for Environmental Education for Sustainable Development." In 2020, the species *Tantilla lydia*, with the suggested common name, Lydia's Little Snake, was named in her honor.

SAMUEL CADENA RICO. Biólogo egresado del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. He colaborado en diversos proyectos y veranos de investigación, participado en congresos nacionales, así como talleres y cursos sobre el manejo y contención de reptiles como ponente y tallerista. Con más de tres años de experiencia como divulgador científico enfocado a la conservación y desmitificación de los anfibios y reptiles en Guanajuato. Mi interés principal es la diversidad, patrones de distribución de los anfibios y reptiles además del uso de los sistemas de información geográfica para la investigación de la herpetofauna. Siendo autor del artículo titulado Herpetofauna de la cuenca baja del Río Temascatio, Irapuato, Guanajuato, México. *Acta zoológica mexicana*.

SERGIO I. SALAZAR-VALLEJO. Investigador Titular C de ECOSUR. Biólogo (1981), Maestro en Ciencias en Ecología Marina (1985), Doctor en Biología (1998). Miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1985 (Investigador Nacional desde 1988, SNI 3901, nivel actual III). Noventa y seis artículos en revistas JCR y 3 en revistas non-JCR, 27 capítulos de libro. Tres libros publicados (1989. *Poliquetos de México*; 1991. *Contaminación Marina*; 2005. *Poliquetos pelágicos del Caribe*) y tres co-editados (1991. *Estudios Ecológicos Preliminares de la Zona Sur de Quintana Roo*; 1993. *Biodiversidad Marina y Costera de México*, 2009. *Poliquetos de América Tropical*); 47 publicaciones de divulgación. Veinticuatro tesis dirigidas: 8 de doctorado (todos SNI), 8 de maestría y 8 de licenciatura. Profesor de Licenciatura en ocho instituciones (Cursos: Zoología de Invertebrados, Ecología Marina, Biogeografía, Comunicación Científica, Taxonomía de Poliquetos), Profesor de Posgrado en seis instituciones (Cursos: Ecología del Bentos, Comunicación Científica, Ecología Costera, Sistemática Avanzada) y del Diplomado Reserva. Veintiocho ponencias en congresos nacionales y 33 ponencias en congresos internacionales. Treinta y seis distinciones académicas. Arbitro de 31 revistas o series y miembro del comité editorial de cuatro de ellas. Veintinueve estancias de investigación en Museos e Instituciones de Estados Unidos, Europa y Sudamérica. Areas de investigación: biodiversidad costera, taxonomía de invertebrados marinos, política ambiental y científica (evaluación académica).



UANL

Biología y Sociedad

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



FCB



La
excelencia
por principio
la **educación**
como instrumento