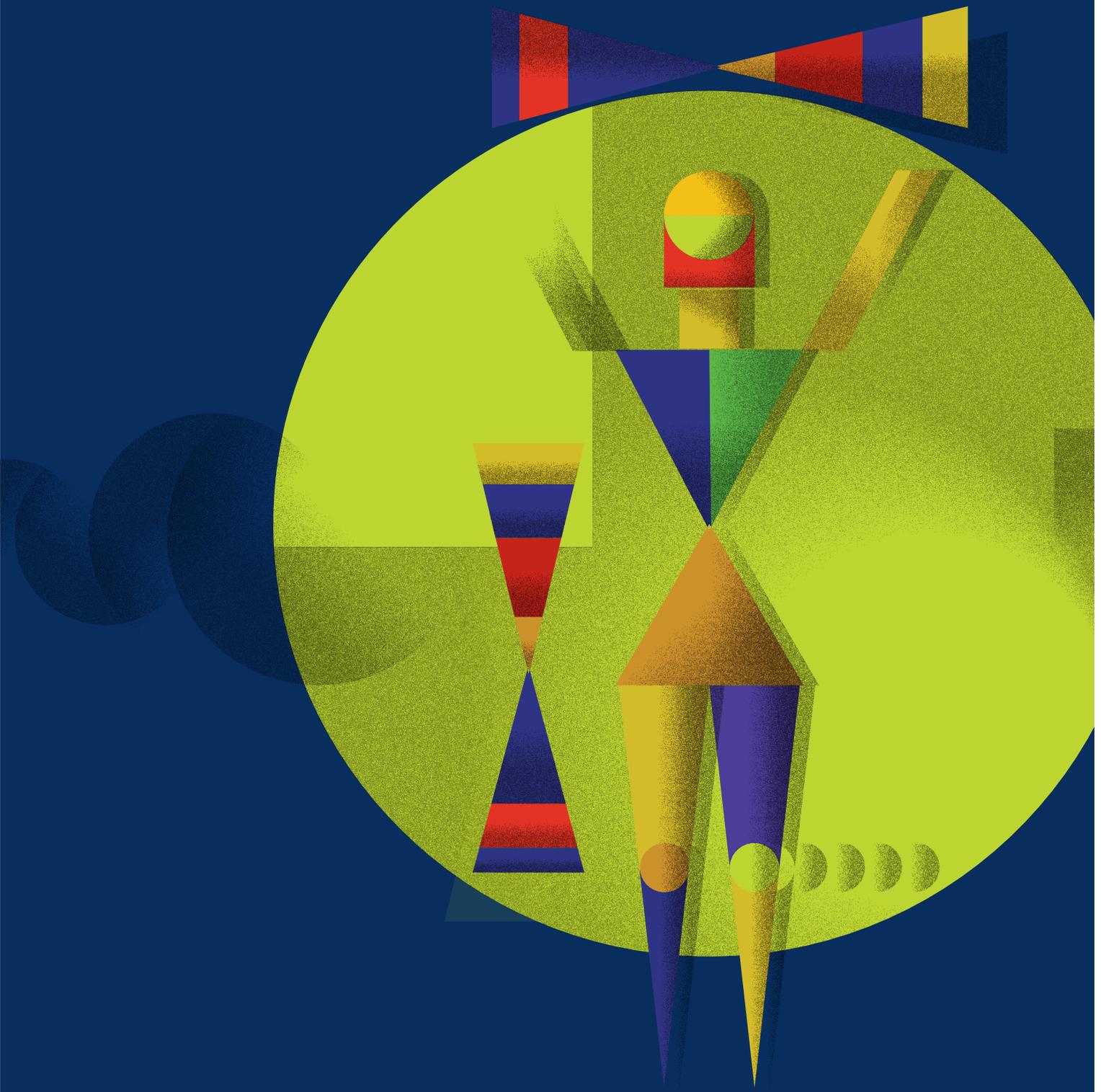


Biología y Sociedad



Una publicación de la
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Mtro. Rogelio G. Garza Rivera
Rector

Dr. Santos Guzmán López
Secretario General

QFB. Emilia Edith Vásquez Farías
Secretario Académico

Dr. Celso José Garza Acuña
Secretario de Extensión y Cultura

Lic. Antonio Ramos Revillas
Director de Publicaciones

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

Cuerpo Editorial de Biología y Sociedad

Dr. Jesús Ángel de León González
Editor en Jefe

Dra. María Elena García-Garza
Editor Técnico

Editores adjuntos:

Dr. Juan Gabriel Báez-González
Alimentos

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

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

Dr. José Ignacio González-Rojas
Dr. Eduardo Alfonso Rebollar-Téllez
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, biologiaysociedad@uanl. mx Editor responsable: Dr. Jesús Ángel de León González. Número de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2017-060914413700-203, Ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: y fecha: Dr. Jesús Ángel de León González, de fecha 18 de septiembre de 2018. ISSN en trámite. Las opiniones y contenidos expresados en los artículos son responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Queda prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier forma o medio, del contenido de la publicación sin previa autorización.

A partir de la aparición del primer número de **Biología y Sociedad** en 2017, el compromiso Editorial de esta Revista Electrónica de Divulgación Científica ha sido el de incentivar la Apropiación Social del Conocimiento. Así como lo hemos estado haciendo a lo largo de 4 años, en este Octavo número de **Biología y Sociedad**, se expone a la sociedad en general, con bases científicas y en un lenguaje accesible, el conocimiento de diversos temas, en primera instancia, Adrián González Martínez nos da a conocer la biodiversidad de coníferas del estado de Nuevo León, 31 especies de diversos géneros, y resalta además el endemismo de una especie, *Picea martinezii*, conocida solamente para este Estado de la República Mexicana.

Aurelio Ramírez Bautista y colaboradores, presentan un artículo en el que hacen una honda reflexión sobre la formación de recursos humanos y la importancia de generar cuerpos académicos sólidos y con metas comunes.

En otro trabajo, Sergio Alberto Luna Peña nos recuerda el peligro de la introducción de especies con potencial invasivo como una de las principales causas de pérdida de biodiversidad a nivel mundial, este artículo se enfoca en una especie de pez, el cíclido joya (*Hemichromis guttatus*) especie nativa de África pero ya establecida en un ecosistema frágil como lo son las pozas de Cuatro Ciénegas, Coahuila, proponiendo un método de control y erradicación mediante la introducción de cromosomas sexuales troyanos a la población.

Al respecto de promover la apropiación social del conocimiento, en este Octavo número María Ana Tovar Hernández y Sergio Salazar Vallejo presentan al público en general un grupo zoológico poco conocido, los cuales viven en ambientes extremófilos a grandes profundidades en el océano, se trata de los siboglínidos, anélidos osmotrófos que utilizan bacterias mutualistas que producen compuestos orgánicos a través de las fuentes de sulfuro de las fosas hidrotermales, así como de hielos de metano como fuente de energía.

En otro artículo Itzahi Silva Morales nos muestra otra parte de la fauna desconocida de nuestros mares, se trata de los gusanos cacahuete. En este trabajo nos muestra aspectos generales de los sipúnculos, su forma de vida, importancia ecológica y económica, así como un análisis de los escasos estudios en nuestros litorales.

Por último, David Lazcano y colaboradores nos presentan un caso en el que se describe un tumor canceroso subcutáneo en una serpiente de cascabel de roca tamaulipeca, tratándose de un macho en cautiverio de 20 años con una masa tumoral visible que le fue extirpada mediante cirugía. En este trabajo los autores proporcionan datos para futuros estudios oncológicos de serpientes en cautiverio.

Las contribuciones inmersas en este Octavo número de **Biología y Sociedad** no serían posibles sin el compromiso de parte de todo el Cuerpo Editorial, de los árbitros y de los autores de estos trabajos, muy agradecidos por la generosidad con el tiempo dedicado a **Biología y Sociedad**, así mismo a la promoción de la Apropiación del Conocimiento.



BIODIVERSIDAD DE CONÍFERAS DEL ESTADO DE NUEVO LEÓN, MÉXICO

ADRIÁN GONZÁLEZ-MARTÍNEZ



Palabras Clave: Coníferas, Nuevo León, Sierra Madre Oriental, *Abies*, *Cupressus*, *Juniperus*, *Picea*, *Pinus*, *Pseudotsuga*, *Taxodium*, *Taxus*.

Key Words: Conifers, Nuevo León, Sierra Madre Oriental, *Abies*, *Cupressus*, *Juniperus*, *Picea*, *Pinus*, *Pseudotsuga*, *Taxodium*, *Taxus*.



Foto: Estela Guadalupe Ortega Venegas

RESUMEN

Las coníferas son plantas vasculares que producen semillas en "conos" o estróbilos ovulíferos. Su importancia ecológica radica en su ubicuidad en los bosques templados y de galería en México. Se aprovechan económicamente en la producción de madera, papel, resinas, semillas comestibles, así como árboles de ornato y árboles de navidad. México es uno de los centros de diversidad de coníferas, con cerca de 94 especies, 43 de ellas endémicas al país. Tras una revisión bibliográfica y taxonómica, se encontró que en el estado de Nuevo León habitan 31 especies de coníferas pertenecientes a los géneros *Abies*, *Cupressus*, *Juniperus*, *Picea*, *Pinus*, *Pseudotsuga*, *Taxodium*, y *Taxus*. Los géneros mejor representados son *Pinus* (15 especies y 5 taxones infraespecíficos) y *Juniperus* (7 especies). *Picea martinezii* es la única especie con rango geográfico restringido a Nuevo León.

Vol. 4 No. 8, segundo semestre 2021

ABSTRACT

Conifers are vascular plants that produce seeds on "cones" or ovule-bearing strobili. Their ecological relevance in Mexico lies in their ubiquity within temperate and gallery forests. Economically, they are a source of timber, paper, and resins, as well as edible seeds, and ornamental and Christmas trees. Mexico is a centre of diversity of conifers with about 94 species, 43 of them endemic to the country. After a bibliographic and taxonomic revision, 31 species from the genera *Abies*, *Cupressus*, *Juniperus*, *Picea*, *Pinus*, *Pseudotsuga*, *Taxodium*, and *Taxus* were found to inhabit the north-eastern Mexican state of Nuevo León. The genera with most native species present are *Pinus* (15 species and 5 infraspecific taxa), and *Juniperus* (7 species). *Picea martinezii* is the only species with a geographic range restricted to the state.

INTRODUCCIÓN

Las coníferas (de las voces latinas *cōnus* 'cono', y *ferō* 'portador') son un grupo de plantas vasculares productoras de semillas, pero no de flores ni frutos. En su lugar, dichas semillas son producidas en estructuras denominadas "conos", "estróbilos femeninos" o, de forma más específica, estróbilos ovulíferos (Figuras 1 y 2). Esta definición puede confundirse con aquella asignada al término arcaico "gimnosperma", el cual engloba diversos grupos emparentados, pero no a todos los descendientes de un ancestro en común (un grupo parafilético), en particular, a las coníferas mismas, a *Ginkgo biloba* (Gingkoopsida), las cícadas (Cycadopsida), y a *Gnetum*, *Ephedra* y *Welwitschia* (Gnetopsida) (Ruiz-Oronoz *et al.*, 1975), excluyendo así al resto de las plantas con semilla: las angiospermas o "plantas con flores". El concepto de conífera puede estrecharse para sólo incluir a aquellas plantas con formas de vida arbóreas o arbustivas con un crecimiento secundario (madera) compuesto por traqueidas con puntuaciones areoladas circulares en sus paredes celulares y en sus radios, hojas simples con venación paralela, canales resiníferos, estróbilos poliníferos y ovulíferos separados, y una sola copia de una gran repetición invertida en el ADN de los cloroplastos (a diferencia del resto de las plantas conocidas, que poseen dos copias de la misma), de acuerdo con Farjon (2008).

Figura 1: Estróbilo ovulífero o "cono" de *Pinus hartwegii* en Galeana, Nuevo León. Crédito: Carlos Gerardo Velazco Macías (CC BY-NC).

Figura 2: Estróbilo ovulífero de *Taxus globosa* en General Zaragoza, Nuevo León. Crédito: Jeff Bisbee (CC BY-NC).



Taxonómicamente, por lo tanto, "conífera" refiere de forma particular a las especies pertenecientes a la clase Pinopsida y orden Pinales, del phylum Tracheophyta. Se reconocen actualmente ocho familias: Araucariaceae (37 especies), Cephalotaxaceae (8 especies), Cupressaceae (135 especies), Phyllocladaceae (4 especies), Pinaceae (231 especies), Podocarpaceae (175 especies), Sciadopityaceae (1 especie), y Taxaceae (24 especies), con un total de 615 especies repartidas en 70 géneros (Roskov *et al.*, 2020). Incluye grupos como los pinos (*Pinus*), abetos y oyameles (*Abies*), ayarines (*Pseudotsuga*), cipreses (*Cupressus*), cedros (*Cedrus*), juníperos o enebros (*Juniperus*), tuyas (*Thuja*, *Platyclusus*), entre otros, comúnmente utilizados en la industria maderera y papelera, como leña, árboles ornamentales, árboles de navidad y como alimento (gálbulas carnosas de enebros, piñones de diversas especies de *Pinus*, entre otros) (Farjon y Page, 1999).

Estas plantas ocurren de forma predominante en el hemisferio norte, con un marcado incremento en diversidad en dirección al ecuador. Se les encuentra en las taigas del Círculo Polar Ártico (*Larix*, *Picea*), en los trópicos (*Podocarpus*), tanto a nivel del mar como a grandes alturas (*Pinus*, *Abies*, *Araucaria*), y hasta el otro extremo del mundo, en las latitudes más australes de América del Sur (*Pilgerodendron uviferum*) (Farjon, 2017a; Holz *et al.*, 2018).

BIODIVERSIDAD DE CONÍFERAS EN MÉXICO

México es considerado uno de los centros de diversidad para las coníferas (Farjon y Page, 1999) con aproximadamente 94 especies nativas al territorio nacional, de las cuales, 43 (el 46%) se consideran

endémicas al país. Se clasifican en las familias Pinaceae (géneros *Abies*, *Picea*, *Pinus* y *Pseudotsuga*) con 61 especies, Cupressaceae (géneros *Calocedrus*, *Cupressus*, *Juniperus* y *Taxodium*) con 29 especies, Podocarpaceae (género *Podocarpus*) con 3 especies, y Taxaceae (género *Taxus*) con una especie (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014).

Algunas de las especies y todos los géneros de coníferas mexicanas se comparten con los Estados Unidos de América y Canadá, principalmente en su costa oeste, siguiendo las cadenas montañosas de las Rocallosas y la cordillera de las Cascadas. Esta parte de la flora norteamericana es afín a la de Eurasia oriental, y se extiende hacia el sur hasta Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua en Centroamérica, donde las coníferas de afinidad boreal detienen su distribución debido a la llamada "Depresión de Nicaragua", que separa las altas montañas de este país y las de Costa Rica (Rzedowski, 1978).

Con la notable excepción de *Taxodium mucronatum*, el sabino o ahuehuete (denominado Árbol Nacional de México en 1921) (Figura 3) y *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, que pueden encontrarse desde el nivel del mar, las coníferas mexicanas habitan y forman parte esencial de los ecosistemas montañosos en el país tapizando las laderas en la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental, Sierra Madre del Sur, Sierra Madre de Chiapas, Faja Volcánica Transmexicana y las sierras de la península de Baja California, formando comunidades dominadas por coníferas (bosque de *Pinus*, matorral de *Pinus*, bosque de *Abies*, bosque de *Pseudotsuga* y *Picea*, bosque de *Cupressus*, matorral de *Juniperus*) o bien, mezcladas con latifoliadas (bosque de *Quercus-Pinus*, bosque de *Pinus-Quercus*, bosque mesófilo de montaña, matorral xerófilo, bosque de galería), y son de los últimos árboles y pocos arbustos que pueden

encontrarse por encima de los 4,300 msnm en el centro de México, y 3,700 msnm en el norte del país (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014; Rzedowski, 1978).

BIODIVERSIDAD DE CONÍFERAS EN NUEVO LEÓN

Nuevo León, estado mexicano ubicado al noreste del país, cuenta con una fisiografía fuertemente marcada por la Sierra Madre Oriental, la cual divide crudamente al territorio estatal en tres grandes regiones: las llanuras al este y noreste, de naturaleza semiárida con matorrales espinosos xerófilos; la Sierra Madre Oriental, del sureste hacia el noroeste del estado, de climas semiáridos a templados, con matorrales submontanos a sus faldas, y densos bosques de *Quercus*, *Quercus-Pinus*, *Pinus-Quercus*, mixtos de coníferas y matorrales de coníferas; y el Altiplano Mexicano al oeste y suroeste, árido, con grandes extensiones de pastizales y matorrales xerófilos (INECC, 2007; Rzedowski, 1978).

Las coníferas en Nuevo León pueden encontrarse en las tres regiones, pero con una importante concentración de especies y abundancia en la Sierra Madre Oriental, apareciendo aproximadamente a los 900 msnm y hasta el punto más alto del norte de México, el Cerro El Potosí en el municipio de Galeana, con 3,720 msnm en su cima, la cual alberga a *Pinus culminicola*. Todas las especies de coníferas nativas a Nuevo León pueden encontrarse en la Sierra Madre Oriental y sus cerros y serranías asociados.

En el Altiplano Mexicano y las llanuras orientales del estado (correspondientes a las Llanuras Costeras del Golfo de México y las Grandes Llanuras de Norteamérica) se presentan pocas especies de coníferas. *Taxodium mucronatum* es, indudablemente, la más abundante en ambas regiones, habitando en las riberas de ríos y arroyos



Figura 3: Sabinos o Ahuehuetes (*Taxodium mucronatum*), árbol nacional de México, formando el bosque de galería en Allende, Nuevo León. Crédito: Rigel Nava (CC BY-NC).

formando "sabinales". Ubicado en el municipio de Cerralvo al norte del estado, el Parque Nacional "El Sabinal", el más pequeño de México con poco más de 7,200 m² de extensión (SEMARNAT, 2016), cuenta con cientos de ejemplares centenarios de esta especie, como también se pueden encontrar en el Parque Fundadores de Apodaca, y el Río Ramos en Allende, entre muchos otros sitios.

Sólo otros dos géneros se distribuyen en estas zonas, siendo estos *Juniperus* y *Pinus*, con escasa abundancia y riqueza en bosquetes de pocos individuos. El primero en suelos principalmente calcáreos, y el segundo en planicies con abundante yeso en el sustrato, en particular, con poblaciones de *Pinus arizonica* var. *stormiae* en los municipios de Aramberri, Doctor Arroyo, Galeana y General Zaragoza.

De los 10 géneros de coníferas conocidos para México, 8 se encuentran en Nuevo León: *Abies*, *Cupressus*, *Juniperus*, *Picea*, *Pinus*, *Pseudotsuga*, *Taxodium* y *Taxus*.

La única conífera que se puede considerar como endémica restringida al estado es *Picea martinezii*, el Pinabete de Nuevo León (Figuras 4 y 5). Se trata de una especie amenazada, con una población estimada de 350 individuos en unas seis cañadas húmedas de los municipios de Montemorelos, Aramberri, y General Zaragoza (Royal Botanic Garden Edinburg, 2019). Otras especies endémicas al noreste de México (estados de Nuevo León, Coahuila, Tamaulipas y

partes de San Luis Potosí y Zacatecas) son *Juniperus zanonii*, *Abies vejarii*, *Pinus culminicola*, *P. johannis*, *P. nelsonii*, *P. pinceana* y *P. stylesii* (Estrada-Castillón et al., 2014).

También se presentan especies con muy amplios rangos geográficos, como *Pinus hartwegii* y *P. pseudostrobus* comunes en los volcanes y altas montañas desde Honduras y Nicaragua hasta los estados de Chihuahua y Sinaloa. La última, con una importante variabilidad morfológica a lo largo de los territorios que ocupa. *Pinus cembroides* incluye en su distribución a todo el Desierto Chihuahuense y ecosistemas asociados, desde el estado de Puebla hasta Nuevo México y Arizona, en los Estados Unidos de América. *Pseudotsuga menziesii* domina las cimas más altas en cerros, volcanes y sierras del territorio mexicano desde la latitud 17° en Oaxaca hasta Chihuahua, cruzando la frontera por toda la costa oeste de los Estados Unidos y Canadá, hasta la latitud 17°, en los límites del estado de Alaska y el territorio de Yukon.

A través de los años se han publicado diversos trabajos enfocados a la diversidad de coníferas en Nuevo León, o bien, incluyendo al grupo entre la flora estudiada. El primer listado formal de la flora nativa y cultivada del estado de Nuevo León, realizado por el ilustre Dr. José Eleuterio González "Gonzalitos" incluye una especie de pino (como *Pinus occidentalis* H. B., sinónimo de *P. montezumae*), un ciprés (como *Cupressus thurifera* H. B., posiblemente

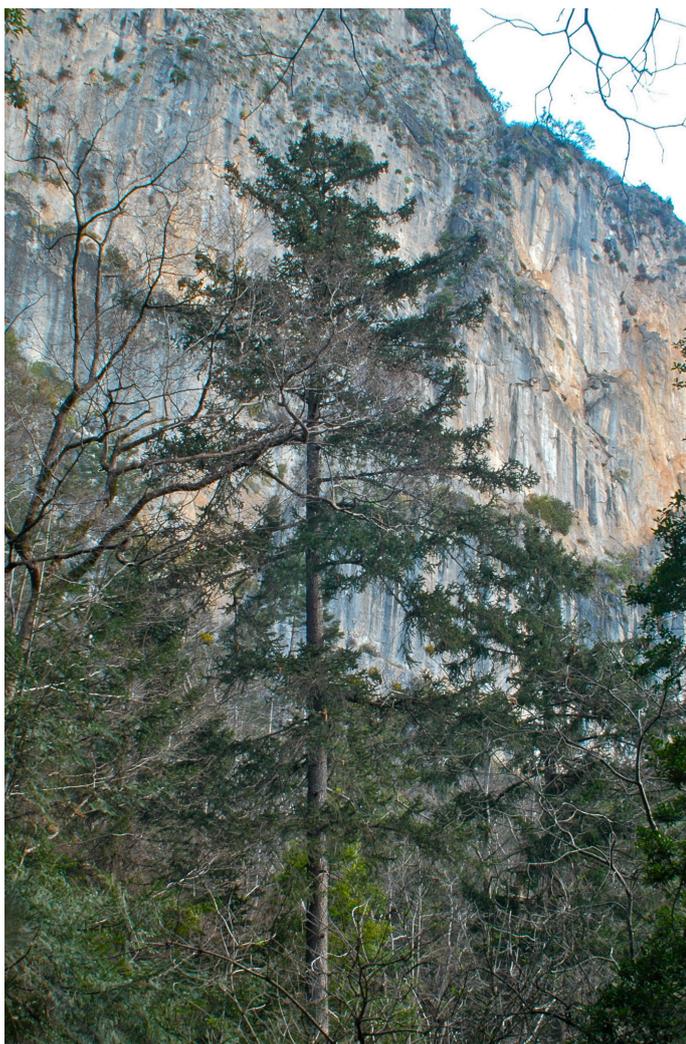


Figura 4: Pinabete de Nuevo León (*Picea martinezii*) en Rayones, Nuevo León. Especie endémica al estado, reducida a unas pocas cañadas de la Sierra Madre Oriental. Crédito: Jeff Bisbee (CC BY-NC).



Figura 5: Conos de *Picea martinezii*. Crédito: Jeff Bisbee (CC BY-NC).

alguna especie de *Juniperus* erróneamente identificada, de acuerdo con los comentarios de Martínez (1947)), y al sabino (como *Taxodium disticha* H. B.) (González-Mendoza, 1888).

Martínez (1963) reportó 12 especies para el estado en la tercera edición de *Las Pináceas Mexicanas*, mientras que Rojas-Mendoza (1965) menciona 26 taxones. Capó-Arteaga (1972) encontró un total de 42 especies pertenecientes a siete géneros en tres familias. Favela-Lara (1999) considera a Nuevo León el estado con mayor diversidad de *Pinus*, reportando un total de 24 especies del género, colectadas en 265 localidades. Villarreal-Quintanilla y Estrada-Castillón (2008) reportan 40 especies en 11 géneros y cuatro familias. Velazco-Macías (2009) menciona 35 especies correspondientes a ocho géneros y cuatro familias. El libro "Coníferas de Nuevo

León, México", por Estrada-Castillón *et al.* (2014) incluye 35 especies (algunas de ellas introducidas y de cultivo común) en 11 géneros y cinco familias.

Utilizando estos listados, además de las bases de datos Conifers of the World (Farjon, 2021) y el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB) (CONABIO, 2021), así como la información proporcionada por Farjon (2017a, 2017b), se obtuvieron registros para las especies de coníferas en el estado de Nuevo León. Posteriormente, se utilizaron los servidores taxonómicos en línea Plants of the World Online (2021), Catalogue of Life (Roskov *et al.*, 2020), The Plant List (2013) y World Flora Online (2021) para contrastar la nomenclatura y descartar nombres obsoletos y sinónimos, resultando en un listado taxonómico actualizado para la fecha presente (Tabla 1).

Tabla 1: Listado de especies de coníferas nativas al estado de Nuevo León, México, con evaluaciones de categorías de riesgo

Familia	Especie	Categoría de Riesgo	
		IUCN	NOM-059-SEMARNAT-2010
Cupressaceae Gray	<i>Cupressus arizonica</i> var. <i>arizonica</i> Greene	LC	
	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill. (Registro dudoso)	LC	Pr
	<i>Juniperus angosturana</i> R. P. Adams	VU	
	<i>Juniperus coahuilensis</i> (Martínez) Gausson ex R. P. Adams	LC	
	<i>Juniperus deppeana</i> Steud. var. <i>deppeana</i>	LC	
	<i>Juniperus flaccida</i> Schltld. var. <i>flaccida</i>	LC	
	<i>Juniperus pinchotii</i> Sudw.	LC	
	<i>Juniperus saltilensis</i> M. T. Hall	EN	
	<i>Juniperus zanonii</i> R. P. Adams	NE	
	<i>Taxodium mucronatum</i> Ten.	LC	
	Pinaceae Spreng. ex F. rudolphi	<i>Abies durangensis</i> var. <i>coahuilensis</i> (I. M. Johnst.) Martínez	VU
<i>Abies religiosa</i> (Kunth) Schltld. & Cham. (Registro dudoso)		LC	
<i>Abies vejarii</i> var. <i>macrocarpa</i> Martínez		VU	
<i>Abies vejarii</i> var. <i>mexicana</i> (Martínez) T. S. Liu		VU	
<i>Abies vejarii</i> var. <i>vejarii</i> Martínez		VU	A
<i>Picea engelmannii</i> subsp. <i>mexicana</i> (Martínez) P. A. Schmidt		EN	P
<i>Picea martinezii</i> T. F. Patt. (endémico de Nuevo León)		EN	P
<i>Pinus arizonica</i> var. <i>arizonica</i> Engelm.		LC	
<i>Pinus arizonica</i> var. <i>stormiae</i> Martínez		VU	
<i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>cembroides</i> Zucc.		LC	
<i>Pinus hartwegii</i> Andresen & Beaman		EN	P
<i>Pinus engelmannii</i> Carrière		LC	
<i>Pinus greggii</i> var. <i>greggii</i> Engelm. ex Parl.		NT	
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.		LC	
<i>Pinus johannis</i> M. -F. Robert		NE	Pr
<i>Pinus montezumae</i> var. <i>montezumae</i> Lamb.		LC	
<i>Pinus nelsonii</i> Shaw		EN	P
<i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltld. & Cham.		LC	
<i>Pinus pinceana</i> Gordon & Glend.		LC	P
<i>Pinus pseudostrobus</i> var. <i>apulcensis</i> (Lindl.) Shaw (Registro dudoso)		LC	
<i>Pinus pseudostrobus</i> var. <i>pseudostrobus</i> Lindl.	LC		
<i>Pinus remota</i> (Little) D. K. Bailey & Hawksw.	LC	Pr	
<i>Pinus stylesii</i> Frankis ex Businský	NE	Pr	
<i>Pinus teocote</i> Schiede ex Schltld. & Cham.	LC		
<i>Pseudotsuga menziesii</i> var. <i>glauca</i> (Beissn.) Franco	LC	Pr	
Taxaceae Gray	<i>Taxus globosa</i> Schltld.	EN	Pr

Listado de especies de coníferas nativas al estado de Nuevo León, México, con evaluaciones de categorías de riesgo - Red List of Threatened Species de la IUCN (2021): LC (Low Concern - Bajo Riesgo), VU (Vulnerable), EN (Endangered - En Peligro), NT (Near Threatened - Casi Amenazada), NE (Not Evaluated - No Evaluada) - NOM-059-SEMARNAT-2010 (DOF, 2019): A (Amenazada), P (En Peligro de Extinción), Pr (Sujeta a Protección Especial).

DISCUSIÓN

Este listado incluye tres especies con distribución dudosa en el estado de Nuevo León. Los registros de *Cupressus lusitanica* incluyen los ejemplares ASU0006941 del Herbario de la Universidad de Arizona colectado en el Parque Ecológico Chipinque, en San Pedro Garza García en el año 2002 (como *C. lusitanica* var. *benthamii*), e INIF-19261 del Herbario Nacional Forestal Biól. Luciano Vela Gálvez, colectado en el Cerro de las Mitras, en Monterrey en el año 1970 (como *C. lindleyi*) (CONABIO, 2021; Farjon, 2021). Esta especie también es mencionada por Villarreal-Quintanilla y Estrada-Castillón (2008) como *C. benthamii* var. *lindleyi*, aunque Estrada-Castillón *et al.* (2014) la reportan en Nuevo León como cultivada.

Abies religiosa es reportada con el ejemplar 3000 de Meyer, colectado en el Cerro de la Vieja, General Zaragoza, en 1948 (Farjon, 2021) y por Earle (2020) en la Sierra Peña Nevada y el Ejido La Encantada del mismo municipio, en 2007.

Pinus pseudostrobus var. *apulcensis* contiene 15 registros de colectas en Conifers of the World (Farjon, 2021) entre los años 1899 y 1984, provenientes de diversas localidades en la Sierra Madre Oriental, y es considerado nativo por Favela-Lara (1999) y Velazco-Macías (2009).

Villarreal-Quintanilla y Estrada-Castillón (2008), y Velazco-Macías (2009) incluyen a la especie *Juniperus ashei*. Es posible que las colectas e identificaciones correspondieran, más bien, a *J. ashei* var. *saltillensis* (M. T. Hall) Silba, sinónimo de *J. saltillensis* (Figura 6). Además, *J. monosperma* (Engelm.) Sargent es mencionado por Capó-Arteaga (1972), y Velazco-Macías (2009). Adams (2018) reporta a *J. ashei* y *J. monosperma* como nativas únicamente para el suroeste de los Estados Unidos de América, mientras que las poblaciones mexicanas que han sido identificadas bajo dichos nombres correspondiendo a *J. ovata* R. P. Adams (R. P. Adams) en el norte de Coahuila, y *J. angosturana*, respectivamente.

Capó-Arteaga (1972) comenta sobre un par de colectas dudosas de *Abies concolor* (o *A. lasiocarpa*) por Antonio Hernández Corzo en 1945, y Humberto Sánchez Vega en 1962, depositados hasta ese momento en el herbario de la Facultad de Ciencias Biológicas, de la Universidad Autónoma de Nuevo León, sin estróbilos. Aunado a esto, incluye a las especies *Pinus cembroides* var. *edulis* (Engelm.) Voss (= *Pinus edulis* Engelm.), *P. michoacana* var. *cornuta* Martínez (= *Pinus devoniana* Lindl.), y *P. durangensis* f. *quinquefoliata* Martínez, (= *Pinus durangensis* Martínez), las cuales no se registran para Nuevo León en los otros trabajos consultados.

Figura 6: *Juniperus saltillensis* cerca de La Soledad, Nuevo León.
Crédito: Jeff Bisbee



Tabla 2: Sinonimia de especies de coníferas nativas de Nuevo León en literatura seleccionada.

Especie	Sinónimos	Referencia
<i>Cupressus arizonica</i>	<i>Hesperocyparis arizonica</i> (Greene) Bartel	Plants of the World Online (2021)
<i>Cupressus lusitanica</i>	<i>Hesperocyparis lusitanica</i> (Mill.) Bartel	Plants of the World Online (2021)
<i>Juniperus angosturana</i>	<i>Juniperus monosperma</i> var. <i>gracilis</i> Martínez	Martínez (1963), Velazco-Macías (2009)
<i>Juniperus coahuilensis</i>	<i>Juniperus erythrocarpa</i> var. <i>coahuilensis</i> Martínez	Martínez (1963), Capó-Arteaga (1972)
<i>Juniperus pinchotii</i>	<i>Juniperus erythrocarpa</i> Cory	Velazco-Macías (2009)
<i>Juniperus deppeana</i>	<i>Juniperus mexicana</i> Schiede ex Schldtl. & Cham.	Capó-Arteaga (1972)
<i>Juniperus zanonii</i>	<i>Juniperus monticola</i> f. <i>compacta</i> Martínez (únicamente los registros para el noreste de México)	Martínez (1963), Rojas-Mendoza (1965), Capó-Arteaga (1972), Velazco-Macías (2009), Villarreal-Quintanilla y Estrada-Castillón (2008)
<i>Taxodium mucronatum</i>	<i>Taxodium distichum</i> var. <i>mexicanum</i> (Carrière) Gordon & Glend.	Plants of the World Online (2021)
<i>Abies vejarii</i> var. <i>mexicana</i>	<i>Abies mexicana</i> Martínez	Martínez (1963), Rojas-Mendoza (1965), Capó-Arteaga (1972)
	<i>Abies vejarii</i> subsp. <i>mexicana</i> (Martínez) Farjon	Farjon (2017a)
	<i>Abies religiosa</i> subsp. <i>mexicana</i> Strandby, K. I. Chr. & M. Sørensen	Plants of the World Online (2021)
<i>Picea engelmannii</i> subsp. <i>mexicana</i>	<i>Picea mexicana</i> Martínez	Martínez (1963), Rojas-Mendoza (1965), Capó-Arteaga (1972)
	<i>Picea engelmannii</i> var. <i>mexicana</i> (Martínez) Silba	Villarreal-Quintanilla y Estrada-Castillón (2008)
<i>Pinus hartwegii</i>	<i>Pinus rudis</i> Endl.	Zobel y Cech (1957), Rojas-Mendoza (1965), Capó-Arteaga (1972), Favela-Lara (1999), Villarreal-Quintanilla y Estrada-Castillón (2008)
<i>Pinus johannis</i>	<i>Pinus cembroides</i> var. <i>bicolor</i> Little	Plants of the World Online (2021), The Plant List (2013), World Flora Online (2021)
<i>Pinus pseudostrobus</i> var. <i>pseudostrobus</i>	<i>Pinus estevezii</i> (Martínez) J. P. Perry	Favela-Lara (1999)
	<i>Pinus pseudostrobus</i> var. <i>estevezii</i> Martínez	Zobel y Cech (1957), Rojas-Mendoza (1965), Capó-Arteaga (1972), Villarreal-Quintanilla y Estrada-Castillón (2008), Velazco-Macías (2009)
	<i>Pinus pseudostrobus</i> f. <i>protuberans</i> Martínez	Zobel y Cech (1957), Capó-Arteaga (1972), Favela-Lara (1999)
<i>Pinus remota</i>	<i>Pinus catarinae</i> Passini, 1981	Favela-Lara (1999), Villarreal-Quintanilla y Estrada-Castillón (2008), Velazco-Macías (2009)
<i>Pinus montezumae</i> var. <i>montezumae</i>	<i>Pinus montezumae</i> var. <i>lindleyi</i> Loudon	Zobel y Cech (1957), Capó-Arteaga (1972)
<i>Pinus teocote</i>	<i>Pinus teocote</i> f. <i>macrocarpa</i> (Shaw) Martínez	Rojas-Mendoza (1965), Favela-Lara (1999), Velazco-Macías (2009)
<i>Pinus stylesii</i>	<i>Pinus ayacahuite</i> var. <i>brachyptera</i> Shaw	Zobel y Cech (1957), Rojas-Mendoza (1965), Capó-Arteaga (1972), Favela-Lara (1999), Villarreal-Quintanilla y Estrada-Castillón (2008), Velazco-Macías (2009)
	<i>Pinus flexilis</i> / <i>Pinus flexilis</i> var. <i>flexilis</i> E. James	Capó-Arteaga (1972), Favela-Lara (1999), Velazco-Macías (2009), Farjon (2021)
	<i>Pinus reflexa</i> (Engelm.) Engelm.	Capó-Arteaga (1972), Favela-Lara (1999), Velazco-Macías (2009)
	<i>Pinus strobiformis</i> Engelm.	Favela-Lara (1999), Villarreal-Quintanilla y Estrada-Castillón (2008), Velazco-Macías (2009), Farjon (2021)
<i>Pseudotsuga menziesii</i> var. <i>glauca</i>	<i>Pseudotsuga flahualti</i> Flous	Martínez (1963), Rojas-Mendoza (1965), Capó-Arteaga (1972)
	<i>Pseudotsuga rehderi</i> Flous	Martínez (1963), Rojas-Mendoza (1965)
	<i>Pseudotsuga macrolepis</i> Flous	Martínez (1963), Rojas-Mendoza (1965), Capó-Arteaga (1972)
	<i>Pseudotsuga mucronata</i> (Raf.) Sudw.	Capó-Arteaga (1972), Velazco-Macías (2009)



Velazco-Macías (2009) incluye a *Pseudotsuga taxifolia* (Lindl.) Britton (= *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* (Mirb.) Franco). Esta especie sólo se distribuye en la costa oeste de los Estados Unidos de América y Canadá (Farjon, 2017b).

La nomenclatura de múltiples especies y taxones infragenéricos se ha modificado desde la publicación original de algunos de los trabajos utilizados para compilar este listado, en la Tabla 2 se presentan las sinonimias.

Gracias a los estudios filogenéticos realizados por Cruz-Nicolás *et al.* (2021) sobre el género *Abies*, las poblaciones de *Abies durangensis* var. *coahuilensis* (Figura 7), presentes en Coahuila y Nuevo León, podrían regresar al binomio *A. coahuilensis* I. M. Johst. ya que este taxón se encuentra notablemente separado filogenéticamente (y geográficamente) de *A. durangensis* var. *durangensis*, y más cercano a *A. vejarii* (Figura 8). Al momento de la redacción de este texto, ningún servidor taxonómico ha aplicado o sugerido este cambio.

El caso de *Pinus stylesii* (Figura 9) corresponde a la evolución del entendimiento un complejo conformado por varias especies de pinos blancos (*Pinus* subsect. *Strobus*). Se le encuentra bajo los nombres *P. ayacahuite* var. *brachyptera* Shaw, *P. flexilis* o *P. flexilis* var. *flexilis* E. James, *P. reflexa* (Engelm.) Engelm., y *P. strobiformis* Engelm. en diversos trabajos, algunos de ellos incluso reportando dos o más de estos taxones en el estado. Considerando las diferencias morfológicas, moleculares y geográficas propuestas por Moreno-Letelier y Piñero (2009), Frankis (2008; 2009), así como las observaciones en campo de Bisbee (2018), es probable que las poblaciones de Nuevo León correspondan únicamente a *P. stylesii*.



CONCLUSIONES

El estudio de las coníferas en el estado de Nuevo León, como en el resto del país, es una fuente inagotable de conocimiento botánico. Numerosos trabajos han abordado la complicada y exhaustiva tarea de documentar la totalidad de esta flora en el territorio nacional y estatal, pero el imparable avance de las técnicas y puntos de vista dejan a estas obras con la urgente necesidad de actualización. La finalidad de este trabajo es, precisamente, facilitar la comprensión y lectura de obras anteriores para poder seguir valorándolas como lo que son: los fundamentos de nuestro conocimiento, y siempre con la meta de que este trabajo mismo sea obsoleto en un futuro.

Los bosques templados en el estado de Nuevo León enfrentan en la actualidad gigantescos retos, como el cambio climático, el peligro de la desertificación y las sequías, las plagas, los incendios forestales y, por supuesto, la intromisión y destrucción causada por el hombre. Es de vital importancia conocer y tener presente la biodiversidad que tenemos para así poder ejercer programas pertinentes para la preservación de nuestros ecosistemas.

Hasta este momento, la IUCN reporta 6 especies vulnerables, 6 especies amenazadas y una casi amenazada, mientras que las autoridades mexicanas bajo la NOM-059-SEMARNAT-2010 consideran una especie amenazada, 5 en peligro de extinción, y 5 merecedoras de protección especial. Los estudios taxonómicos, así como los que conciernen a la ecología de las especies son necesarios para tener una visión clara de qué y cómo debemos proteger nuestra biodiversidad.

AGRADECIMIENTOS

A mis estimados amigos Valeria Magalli Garza, Pedro Adrián Ibarra, Valeria Barra, Jorge Madrazo, Samantha Alejandra Leal y Rafael Lucero por su apoyo y recomendaciones para la realización del estudio. Al Dr. Christopher J. Earle, al Dr. Aljos Farjon, y al Dr. Juan P. Jaramillo Correa y colaboradores por proporcionar y facilitar información de gran utilidad, además a los revisores por sus excelentes comentarios, correcciones y pertinentes opiniones sobre el manuscrito. A todos los cuerpos de combate que ayudaron a extinguir los catastróficos incendios en la Sierra Madre Oriental a principios del 2021, y a los seguidores del proyecto "Flora de Nuevo León" en Instagram y Facebook.

Figura 7: *Abies durangensis* var. *coahuilensis* en Galeana, Nuevo León. Crédito: Jeff Bisbee (CC BY-NC).

Figura 8: *Abies vejarii* en el Cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León. Crédito: Jeff Bisbee (CC BY-NC).

Figura 9: Cono de *Pinus stylesii* en los límites de Coahuila y Nuevo León. Crédito: Rafael Torres Ramírez (CC BY-NC).



LITERATURA CITADA

- Adams, R. P. 2018. *Juniperus* of Canada and the United States: Taxonomy, Key and Distribution. *Lundellia*. 21(1): 1-34. <https://doi.org/10.25224/1097-993X-21.1>
- Bisbee, J. 2018. Conifers of the Sierra Madre Oriental, Mexico, trip report. *Bulletin of the Cupressus Conservation Project*. 7(1):3-44. http://www.cupressus.net/bulletin/17/BullCCP07_1.pdf
- Capó-Arteaga, M. 1972. Observaciones sobre la taxonomía y distribución de las coníferas de Nuevo León, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garza, México, 190 pp.
- CONABIO. 2021. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad en México. CONABIO. En: <https://www.snib.mx/> (consultado el 21/03/2021).
- Cruz-Nicolás, J., Villaruel-Arroyo, A., Gernandt, D. S., Fonseca, R. M., Aguirre-Planter, E., Eguiarte, L. E., y Jaramillo-Correa, J. P. 2021. Non-adaptive evolutionary processes governed the diversification of a temperate conifer lineage after its migration into the tropics. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 160. Art. 107125. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2021.107125>
- DOF. 2019. Modificación del Anexo Normativo III, Lista de especies en riesgo de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres - Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo, publicada el 30 de diciembre de 2010. Diario Oficial de la Federación - Secretaría de Gobernación. En: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019 (consultado el 11/05/2021).
- Earle, C. J. 2020. *Abies religiosa*. The Gymnosperm Database. En: https://www.conifers.org/pi/Abies_religiosa.php (consultado el 21/03/2021).
- Estrada-Castillón, A. E., Villarreal-Quintanilla, J. A., Salinas-Rodríguez, M. M., Cantú-Ayala, C. M., González-Rodríguez, H., y Jiménez-Pérez, J. 2014. *Coníferas de Nuevo León, México*. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, México. 145 pp.
- Farjon, A. 2008. *A Natural History of Conifers*. Timber Press. Portland, E. U. A., 304 pp.
- Farjon, A. 2017a. *A Handbook of the World's Conifers. Volume 1*. (2da. Ed.). Brill. Leiden, Países Bajos, y Boston, E. U. A., 544 pp.
- Farjon, A. 2017b. *A Handbook of the World's Conifers. Volume 2*. (2da. Ed.). Brill. Leiden, Países Bajos, y Boston, E. U. A., 610 pp.
- Farjon, A. 2021. Conifers of the World – Resources for Conifer Research. En: <https://herbaria.plants.ox.ac.uk/bol/conifers> (consultado el 19/03/2021).
- Farjon, A., y Page, C. N. (eds.). 1999. *Conifers. Status Survey and Conservation Action Plan*. IUCN/SSC Conifer Specialist Group. Gland, Suiza, y Cambridge, Reino Unido de la Gran Bretaña, 121 pp.
- Favela-Lara, S. 1999. *Taxonomía de los pinos del noreste de México*. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. Informe Final SNIB-CONABIO Proyecto No. H038. Ciudad de México, México, 29 pp.
- Frankis, M. 2008. pp. 6-7. En: Businský, R. The Genus *Pinus* L., Pines: Contribution to Knowledge. *Acta Pruhoniciana*. 88:1-126.
- Frankis, M. 2009. The high altitude white pines of Mexico and the adjacent SW USA (*Pinus* L. subgenus *Strobus* Lemmon, Pinaceae). *International Dendrology Society Yearbook*, 2008: 64-72.
- Gernandt, D., y Pérez-de la Rosa, J. A. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (Coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85. S126-S133. <http://doi.org/10.7550/rmb.32195>
- González-Mendoza, J. E. 1888. *Un Discurso y Un Catálogo de Plantas Clasificadas - La Flora de Nuevo León*. Imprenta Católica, Monterrey, 27 pp.
- Holz, A., Hart, S. J., Williamson, G. J., Veblen, T. T., y Aravena, J. C. 2018. Radial growth response to climate change along the latitudinal range of the world's southernmost conifer in southern South America. *Journal of Biogeography*. 45(5): 1140-1152. <https://doi.org/10.1111/jbi.13199>
- INECC. 2007. Capítulo II. Caracterización ambiental de México y su correlación con la clasificación y la nomenclatura de las comunidades vegetales. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático - Gobierno de México. En: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/421/cap2.html#:~:text=Llanura%20costera%20del%20Golfo%20Sur,-Abarca%20las%20regiones&text=Localizada%20en%20la%20parte%20baja,el%20Coatzacoalcos%20y%20el%20Papaloapan.> (consultado el 21/03/2021).
- IUCN. 2021. Red List of Threatened Species – International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources. En: <https://www.iucnredlist.org/> (consultado el 11/05/2021).
- Martínez, M. 1947. Sobre la no existencia del Ciprés *Cupressus thurifera* H. B. K. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 5:10-11. <http://www.doi.org/10.17129/botsci.937>
- Martínez, M. 1963. *Las Pináceas Mexicanas* (3ª ed.). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. 400 pp.

- Moreno-Letelier, A., y Piñero, D. 2009. Phylogeographic structure of *Pinus strobiformis* Engelm. Across the Chihuahuan Desert filter-barrier. *Journal of Biogeography*. 36(1):121-131. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.02001.x>
- Plants of the World Online. 2021. Plants of the World Online – Royal Botanic Gardens, Kew. En: <http://www.plantsoftheworldonline.org/> (consultado el 19/03/2021).
- Rojas-Mendoza, P. 1965. *Generalidades sobre la Vegetación del Estado de Nuevo León y Datos acerca de su Flora*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México. 107 pp.
- Roskov, Y., Ower, G., Orrell, T., Nicolson, D., Bailly, N., Kirk, P. M., Bourgoin, T., DeWalt, R. E., Decock, W., van Nieuwerkerken, E. J., y Penev, L. (eds.). 2020. Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 2020-12-01. Species 2000: Naturalis, Leiden, the Netherlands. ISSN 2405-8858. En: <https://www.catalogueoflife.org/data/taxon/GG> (consultado el 19/03/2021).
- Royal Botanic Garden Edinburgh. 2019. *Picea martinezii*. Threatened Conifers of the World. En: <https://threatenedconifers.rbge.org.uk/conifers/picea-martinezii> (consultado el 22/03/2021).
- Ruiz-Oronoz, M., Nieto-Roaro, D., y Larios-Rodríguez, I. 1975. *Tratado Elemental de Botánica*. Editorial E. C. L. A. L. S. A. Ciudad de México, pp 565-584.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Editorial Limusa. México, 432 pp.
- SEMARNAT. 2016. Parque Nacional El Sabinal. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales – Gobierno de México. En: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/parque-nacional-el-sabinal> (consultado el 11/05/2021).
- The Plant List. 2013. The Plant List. Version 1. 1. En: <http://www.theplantlist.org/> (consultado el 19/03/2021).
- Velasco-Macías, C. G. 2009. *Flora del Estado de Nuevo León, México: Diversidad y Análisis Espacio-Temporal*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garza, México. 272 pp.
- Villarreal-Quintanilla, J. A., y Estrada-Castillón, E. (2008). *Listados Florísticos de México XXIV. Flora de Nuevo León*. UNAM – Instituto de Biología. México, 153 pp.
- World Flora Online. 2021. World Flora Online. En: <http://www.worldfloraonline.org/> (consultado el 19/03/2021).
- Zobel, B., y Cech, F. 1957. Pines from Nuevo León, México. *Madroño*, 14(4): 133-144.



CRECIMIENTO ACADÉMICO:

REDES DE INVESTIGACIÓN Y JÓVENES INVESTIGADORES

/// AURELIO RAMÍREZ-BAUTISTA^{1*}, RACIEL CRUZ-ELIZALDE², ANA PAOLA MARTÍNEZ-FALCÓN³, IRERI SUAZO-ORTUÑO⁴, LIZZETH A. TORRES-HERNÁNDEZ¹, ADRIÁN LEYTE-MANRIQUE⁵, JORGE LUIS BECERRA-LÓPEZ⁶, Y DAVID RAMIRO AGUILLÓN-GUTIÉRREZ⁷

¹Laboratorio de Ecología de Poblaciones, Centro de Investigaciones Biológicas, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Km 4. 5 Carretera Pachuca-Tulancingo, 42184 Mineral de La Reforma, Hidalgo, México

²Laboratorio de Zoología, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Avenida de las Ciencias S/N, Santa Fe Juriquilla, C. P. 76230, Querétaro, Querétaro, México

³Laboratorio de Ecología de Comunidades, Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México

⁴Laboratorio de Ecología y Herpetología, Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Av. San Juanito Itzicuaró s/n, Col. Nueva Esperanza, Morelia, Michoacán, CP 58330, México

⁵Laboratorio de Biología, Tecnológico Nacional de México, Campus Salvatierra (ITESS), Salvatierra, Guanajuato, México

⁶Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Durango, México

⁷Centro de Investigación y Jardín Etnobiológico, Universidad Autónoma de Coahuila, Dr. Francisco González 37, CP. 27480. Viesca, Coahuila, México

*Autor de correspondencia: ramibautistaa@gmail.com

RESUMEN

La generación de conocimiento y productos académicos es el reflejo de la calidad de los investigadores e instituciones. Sin embargo, debido al alto número de doctores egresados de los programas de doctorado y, a la limitada disponibilidad de plazas académicas en instituciones públicas y privadas, además de la falta de condiciones adecuadas para la jubilación de investigadores, el crecimiento de las líneas de generación y aplicación del conocimiento (LGAC), es limitado y, por lo tanto, la producción científica baja. En este escrito se hace una reflexión sobre la formación y la importancia de generar grupos académicos, llamados Cuerpos Académicos (CAs) de trabajo sólidos con metas comunes para plantear y resolver problemas enfocados a las LGAC del grupo. Cualquier resultado en la dinámica de los CAs, se implementa con la incorporación en estos a jóvenes investigadores a las instituciones, los que enriquecen y promueven nuevas LGAC, formación de recursos humanos y, por lo tanto, producción científica del CA de la institución. La formación académica de un alumno, desde la licenciatura, y especialmente en los niveles de posgrado, es fundamental para el estudiante, y con ello el cumplimiento de las actividades por parte de los investigadores (formación de recursos humanos). La dinámica continua de producción y colaboración de pares académicos dentro y fuera de la institución refuerza en muchos casos el conocimiento generado en el interior de los grupos. Esta actividad, se desarrolla mejor al incluir a investigadores jóvenes que generen conocimiento innovador, que fortalezca a cada investigador, al grupo de investigadores y, a las instituciones educativas. Las redes académicas apoyan el trabajo científico, especialmente los grupos multidisciplinarios que incorporan no solo investigadores nacionales, sino también internacionales. En la actualidad, solo queda que las autoridades reconozcan la necesidad de crear redes y mantenerlas económicamente para consolidarlas, así como la creación de programas y un mayor presupuesto para la incorporación y contratación de nuevos investigadores a ellas.



Palabras clave: Instituciones educativas, Interacciones académicas, Investigadores, Producción científica.

INTRODUCCIÓN

La generación de conocimiento es una forma de ver materializada la producción científica en cantidad y calidad, que se reflejan en una alta diversidad de tópicos publicados en revistas científicas nacionales e internacionales de alto impacto. La generación de conocimiento se nutre con la producción en términos de publicaciones, sobre todo en tesis de los tres niveles educativos (licenciatura, maestría y doctorado), artículos de difusión, y artículos en revistas indizadas o con arbitraje. Se considera que las publicaciones científicas arbitradas e indizadas reflejan mayor calidad en la formación, ya que son evaluadas con un alto rigor científico (revisión por pares). Por esto, es deseable que los profesores-investigadores de una universidad, realicen este tipo de publicaciones, pues de esta forma, se fomenta el prestigio del profesor-investigador y, por lo tanto, de la universidad (Castañeda-Cortés, 2010; Orozco *et al.* 2017). Bajo esta dinámica, se fortalecen las diferentes líneas de aplicación y generación del conocimiento (LGAC) de las universidades, promovidas por la Secretaría de Educación Pública (SEP), mediante el Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) para cumplir con la *misión y visión* de las Instituciones de Educación Superior (IES).

En este contexto, una universidad que mantiene esta dinámica, se le cataloga como triunfadora, y visible a nivel nacional e internacional por promover el conocimiento y, por lo tanto, la métrica académica es valorada por las citas a los trabajos científicos de sus investigadores, que es una dinámica para avanzar frente a la realidad académica actual como exigencia de la globalización (Gorostiaga y Tello, 2011). Esta tendencia se ha hecho apremiante frente a las necesidades académicas para echar a andar los programas educativos de alto nivel que hoy día demandan las IES (Hernández Arteaga, 2009). Con base en estas características académicas, los jóvenes doctores juegan un papel importante dentro de un grupo académico bajo el liderazgo de un profesor-investigador, Cuerpo Académico (CA; grupo de profesores que comparten una o más líneas de investigación en común; Martínez *et al.* 2006; Yurén *et al.* 2015) y Redes Académicas (grupo formado por investigadores de diferentes universidades, cuyo objetivo es la vinculación del conocimiento bajo las diferentes LGAC, mecanismo de apoyo, intercambio de información; REFAMA, 2015) para cumplir los objetivos de la *Misión y Visión* de las IES, promovidos en gran parte por la SEP a través del PRODEP. Estos objetivos se cumplen bajo múltiples factores integrados, que son los parámetros medibles (clases frente a grupo [entre

18 y 24 horas/semana], asesorías y tutorías [3-6 horas/semana] obligatorias, formación de recursos humanos, redes académicas, publicaciones en revistas nacionales e internacionales, entre otros), lo que conlleva a grandes retos y desafíos para cumplirlos (López Molina, 2017). Esta forma de vida académica dinámica globalizante del siglo XXI, incita a una fuerte reflexión crítica hacia las universidades y administración, aunque hablar de éstas, siempre será un tema de actualidad y complejo para ser discutido a mayor profundidad (Rastrepo, 2008; Hernández Arteaga, 2009).

La generación y aplicación del conocimiento se manifiesta en diversos escenarios, desde un contexto puramente científico-tecnológico, cuya apropiación es de grupos selectos de académicos (centros e institutos de investigación), cuyo objetivo es hacer investigación, ya sea básica y/o aplicada, integrando en este a jóvenes en la ciencia, pero poco a la docencia (ejemplo, institutos y centros de investigación de varias universidades de México, no es un requisito las clases frente a grupo). Mientras que otro grupo, es el que realiza un trabajo mixto, docencia e investigación, siempre sesgado a la docencia y poco tiempo le queda para hacer investigación. Por otra parte, se encuentran los que hacen investigación desde un lenguaje puramente empírico, como resultado de experiencias de vida (por ejemplo, recolectores de datos de la historia natural de diferentes grupos biológicos), pero no necesariamente deben estar empapados con la generación de un conocimiento científico y metodológico (Torres, 2006; Schmelkes del Valle, 2017). Esta diversidad de forma de hacer ciencia se encuentra en los Institutos, Centros de investigación, IES y, posgrados de este país, quienes llevan a cabo la labor de transmitir el conocimiento a las nuevas generaciones de profesionistas, y en su caso, a los futuros investigadores en las diversas áreas del conocimiento que se formaran en dichos centros educativos (Chúa y Orozco, 2016).

Independientemente de cualquier tipo de formación académica, todos pasamos por diferentes formas de procesar el conocimiento recibido en el seno familiar, en un aula educativa y, de la experiencia recibida de la vida. En la familia, se reciben los valores cívicos para relacionarnos con la sociedad; en el aula de clase, se reafirman y confirman los valores de comportamiento frente a la gente y a nuestros maestros, pero éstos nos enseñan otros temas en los que van implícitos el conocimiento general de la vida, como es la riqueza de cultura, religión, lengua, etnias, así como la diversidad vegetal y animal; por lo tanto, el profesor es un facilitador de la enseñanza a sus alumnos, quienes lo serán en un futuro cercano con nuevas metodologías interdisciplinarias (Giordan, 1984; Porlán Ariza, 2011). Todo esto integrado es lo que se llama conocimiento o cultura.

El crecimiento intelectual de un científico y de un grupo académico y, por lo tanto, de una institución educativa (IES, Institutos y Centros de Investigación), se debe a una serie de factores que promueven la generación en la innovación de un nuevo conocimiento (Boshell Villamarín, 2011). Sin embargo, para que este se

realice de forma exitosa, existen limitantes de distinta índole (presupuesto, material, conflicto de intereses, entre otros) que pueden detener o hacer muy lento su proceso. Partiendo de esta visión, entonces, ¿Qué hace el científico para tener una dinámica académica donde no sólo saldrá favorecido a nivel personal, sino también a un grupo y, por lo tanto, a la universidad? El científico que tiene una visión amplia hacia la generación de un conocimiento mayor, verá la forma de ir integrando un grupo de investigadores con diferentes herramientas y datos para participar en un mejor trabajo científico más globalizado y, por lo tanto, a una tasa de producción mayor que el promedio (Boshell Villamarín, 2011). La generación del conocimiento de un profesor-investigador, requiere no solo de tener un proyecto individual, sino de formar redes de interacciones, no solo con sus colegas dentro de su institución, sino con Cuerpos Académicos que trabajen con el mismo tema con diferentes grupos biológicos, como es el caso de la Red Académica Biología, Manejo y Conservación de Fauna Nativa en Ambientes Antropizados (REFAMA, 2015), esto con el fin de intercambiar información en los hallazgos científicos y así incrementar el conocimiento y avanzar en el mismo (Boshell Villamarín, 2011).

En algunas universidades, el requisito para ingresar en ella como profesor-investigador de tiempo completo, se exige el título de doctor, pero no necesariamente contar con un trabajo científico extenso y de rigor (publicaciones en revistas de impacto JCR). La razón es que para dar clases a nivel educativo de la licenciatura, no se necesita estar publicando en revistas de impacto continuamente, con sólo dar las clases y, de vez en cuando publicar un trabajo de divulgación, es suficiente para mantenerse en el puesto y con la plaza de profesor-investigador, aunque no genere publicaciones de forma sistemática. Sin embargo, esto depende mucho de que la universidad esté o no dentro del programa de la SEP-PRODEP (2006), ésta tiene el objetivo de plantear e integrar las LGAC de los investigadores que forman los Cuerpos Académicos (CA) para cumplir con la *misión* y *visión* de las instituciones bajo el programa de esta institución. En parte se cumple en aquellos CA consolidados que tienen proyectos PROMEP y/o CONACyT, pero poco para los que están en vías o en consolidación que carecen de proyectos con recursos financiados (REFAMA, 2015). Esto último también se relaciona con la falta de presupuesto de las universidades y tampoco existen los mecanismos para crear nuevas plazas, y al crecer la matrícula, la respuesta en la mayoría de los casos, es incrementar el número de horas/clase frente a grupo a los profesores ya contratados (en ocasiones, dos cursos nivel licenciatura y dos nivel posgrado), saturando de esta forma al profesor-investigador (López Molina, 2017). El ciclo se repite, los tiempos se deben de repartir entre la docencia e investigación para cumplir con los objetivos y planes de trabajo del personal bajo la demanda académica que exige la SEP-PRODEP y/o de otras instituciones que aportan recursos económicos a proyectos. Las autoridades de las instituciones universitarias deben analizar esta dinámica académica de su plantilla de profesores-investigadores, ya que estos no solo imparten clases

en los tres niveles educativos (licenciatura, maestría y doctorado), sino que también son líderes de proyectos de investigación, ya sea con recursos federales, estatales o propios (del profesor-investigador), dirigen tesis de los tres niveles educativos, dan asesorías y tutorías de forma obligatoria, tienen generalmente cargos académicos-administrativos y deben de publicar en revistas científicas de alto impacto para cumplir con los estándares internos de las universidades, especialmente si cuentan con la distinción de pertenecer al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

Por otra parte, a los jóvenes doctores con una muy buena formación académica y, que incluso fueron becados por el gobierno federal (CONACyT), se les dificulta encontrar un empleo como profesores-investigadores, porque ya existen otros profesores que sin contar con el perfil académico competitivo, ya están contratados. Esto limita en mayor medida el crecimiento académico de una universidad, puesto que las LGAC se ven truncadas o con avances lentos, que finalmente este estancamiento le perjudica a la institución, pero parece ser que es poco percibido por las autoridades de las universidades a pesar de que tienen conocimiento de la evaluación de los programas educativos de nivel superior. Esto no se logra comprender, ya que desde hace más de 20 años existe un programa de becas del gobierno federal (CONACyT) para formar nuevos investigadores mexicanos competitivos, y recientemente, se creó un solo programa como lo fueron las Cátedras CONACyT, el que ha sido descuidado para incorporarlos laboralmente a una institución. Esto refleja un fuerte problema del país al no generar nuevas plazas de profesor-investigador a la misma tasa en la que están egresando estudiantes con doctorado con el perfil necesario para ingresar a la academia, aunque se debe de señalar que esto varía entre institución educativa, programas educativos y, entre egresados (López Molina, 2017).

Por lo anterior, estamos de acuerdo que el crecimiento científico y la generación de conocimiento, se derivan de una base, que es la persona o profesor-investigador líder en su campo, generador de ideas (facilitador académico), gestor de recursos para trabajo de campo y de laboratorio, el cual tiene el fin de formar recursos humanos donde se va integrando y produciendo nuevo conocimiento bajo las LGAC que promueve el PRODEP en las IES. Con la dinámica actual de acceso a la información en páginas web que almacenan bases de datos y bibliotecas virtuales (digitales), entre otros, para obtener datos sobre un tema y grupo biológico en particular, hoy día, los alumnos de posgrado, maestría y doctorado cuentan con este recurso y nuevas herramientas para bajar la información y realizar los análisis de su competencia. En parte, con esta nueva forma de hacer ciencia, se plantean ideas bajo diferentes hipótesis ecológicas y evolutivas, implementando nuevas metodologías que el profesor-investigador líder va dirigiendo, pero estas nuevas implementaciones, son generadas por los doctores jóvenes. El método de obtener la información para realizar investigación, amortigua de alguna forma los gastos de trabajo de campo y laboratorio, pero también limita en el sentido de explorar



el conocimiento actual de los cambios en tiempo y espacio de las poblaciones animales y vegetales; sin embargo, el método de explorar la información extraída de las páginas web y/o colecciones científicas virtuales, es bien manejada por los jóvenes investigadores y con esto generan nuevo conocimiento para la ciencia, demostrando su habilidad para producir ciencia de calidad (artículos JCR), así siendo egresado de la universidad y contratado por la misma, en este caso no se aplica el término “endogamia académica” (factor que atenta contra la calidad de la investigación), sino que éste suma de nuevas ideas e implementa nuevas líneas de investigación con diferentes métodos y técnicas y demostrada en su producción individual, de esta forma es como se genera el crecimiento académico o nuevo conocimiento de frontera ante esta dinámica del mundo globalizado (López Molina, 2017).

El presente trabajo tiene como objetivo la reflexión de las condiciones para el trabajo en grupo basada en la experiencia laboral dentro de la institución; por lo que, no se basa en una comparación de problemas de LGAC y CA entre universidades del país, y menos una pretensión de análisis general del tema (estado del arte). Este parte bajo la visión general que actualmente se encuentran los estudiantes egresados de los diferentes

programas de doctorado, pero también tiene mucho que ver con la calidad de la formación de los nuevos doctores (as); un programa de posgrado, busca la formación de recursos humanos de alto nivel y, por lo tanto, con el conocimiento académico base para el crecimiento académico, generando nuevas LGAC. En este sentido, el escrito se divide en tres secciones breves de reflexión, (1) reclutamiento de alumnos de los tres niveles educativos (licenciatura, maestría y doctorado), (2) formación de grupos o redes académicas, y (3) formación de grupo de trabajo con nuevos doctores egresados.

RECLUTAMIENTO DE ALUMNOS EN LOS TRES NIVELES EDUCATIVOS

La docencia frente a grupo es una plataforma que da la oportunidad de la interacción profesor-alumno. En esta actividad se da a conocer el profesor por medio de la difusión de sus proyectos, publicaciones, anécdotas de su trabajo y, experiencia, por lo que muchos alumnos son motivados para integrarse en alguno de los temas de mayor interés. Este es un proceso que se va generando paso a paso, en algunos casos se logra, pero en otros no, es lo que se llama "filtro"; si un alumno se interesa en el tema y grupo biológico (en el caso de la carrera de Biología) de forma inherente, se asegura un futuro académico de éxitos; si el estudiante lo percibe sólo como un requisito a cumplir, entonces, no pasa nada, su finalidad es trabajar un tema para una tesis, y ahí finaliza el trabajo. Esta forma de interacción o vinculación del profesor con los alumnos es la base para la formación de recursos humanos y, el inicio de la generación de conocimiento y nuevas líneas de investigación.

En este andar académico, los alumnos que están interesados en hacer una carrera académica después de una licenciatura; por ejemplo, maestría y doctorado, inician el proceso de una formación de conocimientos vinculándolos a las líneas de investigación del profesor, que no sólo se verá reflejado en concluir un proyecto de tesis doctoral y defenderlo para obtener el título de doctor, sino tener el conocimiento teórico y la habilidad para plantear nuevos proyectos innovadores, integrando nuevos temas (LGAC) con metodologías renovadas, si es así, inicia con una nueva formación de conocimiento que fue inculcado por su profesor guía (López Molina, 2017). Sin embargo, para llegar a esto se requiere que el alumno de forma inherente tenga el gusto y disciplina para hacer investigación, así que la base se inicia desde la formación a nivel de la licenciatura, que es la puerta principal para que el alumno se interese en un tema e irlo explorando bajo el conocimiento teórico y práctico, que pueda derivar en un planteamiento hipotético bajo un buen diseño metodológico para responder las preguntas planteadas, siendo así, este presenta la calidad de un proyecto para un programa de estudio de un posgrado, y por lo tanto, finalizar con las herramientas teóricas y prácticas para iniciar una carrera científica, por lo que el haber tenido un profesor en la licenciatura que hace ciencia, puede ser vital para formar futuros científicos mexicanos.

FORMACIÓN DE GRUPOS O REDES ACADÉMICAS

Una de las formas para mantener dinámico el conocimiento es el contacto con colegas de diferentes universidades, nacionales o del extranjero. El acercamiento con profesores de otras universidades que trabajan temas similares, pero con métodos diferentes, es lo que enriquece la ciencia, haciéndola más productiva, de esta forma se va fortaleciendo y generando mayor conocimiento y, por lo tanto, se cumple con la *misión* y *visión*, objetivo principal de PRODEP para las IES. El trabajo colaborativo entre profesores-investigadores (CA) de diferentes instituciones educativas (universidades), tiene como meta el desarrollo académico entre éstas y los investigadores de las Redes Académicas (Boshell Villamarín, 2011; REFAMA, 2015). Esto no es una tarea fácil, pero si la mente de los profesores que forman la red es abierta y sin mucha egolatría, lo acepta como un reto a la integración del mundo globalizado, ya que de esta forma, los avances de la ciencia son a través de las interacciones que suman con las nuevas herramientas (metodologías) y técnicas aplicadas en la investigación (Boshell Villamarín, 2011; López Molina, 2017). En las Redes Académicas, se integran los nuevos profesores-investigadores, quienes retroalimentan al grupo con nuevas ideas, métodos y ganas de enriquecer el conocimiento frente a este mundo globalizado, fortaleciendo de esta forma los proyectos de ciencia básica y la aplicada que hoy día demandan las universidades y la sociedad en general (Boshell Villamarín, 2011; López Esquivel, 2017; López Molina, 2017). Esto fluye si entre el grupo no existe percepción de poder (protagonismo), sino de un buen liderazgo que dirige al grupo para beneficio grupal, con una buena producción científica, talleres, congresos, vinculación con los diferentes sectores sociales y, apoyo a los estudiantes de los tres niveles educativos, un ejemplo de esta dinámica es la Red Académica REFAMA (2015), entre otras (Martínez *et al.* 2006; Yurén *et al.* 2015). Por lo que, el éxito académico, ya sea como red o como grupo de nuevos doctores formados por un profesor-investigador, la universidad se verá beneficiada y, por supuesto, el grupo mismo. Esto tiene visibilidad dentro y fuera del país, reflejado en la métrica de citas a la producción científica, colocando a la institución (universidad) en un nivel académico de prestigio derivado de un grupo académico interdisciplinario. Así que, la institución debe cuidar y mantener este grupo, facilitándole los recursos básicos para mantener la buena generación del conocimiento (LGAC; Yurén *et al.* 2015).

Actualmente, la mayoría de las universidades públicas tienen sus propios grupos de investigación denominados cuerpos académicos (CA), promovidos y apoyados por la SEP-PRODEP (2006), que tiene el objetivo de fortalecer la *misión* y *visión* de los programas educativos, principalmente nivel superior. Estos están conformados por un grupo de profesores-investigadores que se unen por intereses académicos comunes, trabajando temas de investigaciones similares para fortalecer las LGAC, y así, publicar de forma conjunta (en ocasiones cuestionado), pero sin dejar su producción individual y/o con sus alumnos formados o en formación. Sin embargo, como se mencionó previamente, lo deseable es que estos grupos, no sólo

se integren localmente (universidades del mismo país), sino con investigadores de otros países; es decir, formar una red internacional, ya que el conocimiento avanza más exitosamente si varias personas trabajan en un tema y comparten sus respectivos hallazgos, como lo han hecho otros profesores extranjeros (Wilson *et al.* 2013). En algunos casos puede ser suficiente tener un grupo de investigación local (regional), si el tema solo es de ese interés, pero si se trata de un tema global, es indispensable la creación de redes de investigadores a través del mundo, tal ha sido el caso de las investigaciones médicas, las cuáles suelen ser de una importancia internacional, por lo que, se requieren grupos más numerosos y con amplio conocimiento del tema, lo mismo sucede con varios temas en biología, por ejemplo, la diversidad biológica (Ramírez-Bautista *et al.* 2017) y ecología y conservación de fauna en ambientes antropizados (Ramírez-Bautista y Pineda-López, 2018).

FORMACIÓN DE GRUPO DE TRABAJO CON NUEVOS DOCTORES EGRESADOS

El trabajo académico de forma individual, es mal visto (no en nuestro caso) por cualquier autoridad de las instituciones educativas, ya que se piensa que no se está trabajando en la formación de grupos de investigación, que es lo que impulsa y apoya la SEP-PRODEP (2006) para fortalecer las LGAC. Sin embargo, esto es cuestionado, ya que al trabajar en grupo, va más allá de la buena voluntad de los profesores-investigadores y una fuerte responsabilidad de las universidades (instituciones) promotoras, que ofrezcan los mecanismos reales para la formación de grupos de investigación con liderazgos verdaderos que se evidencien por su producción científica de alto rigor (Yurén *et al.* 2015; López Molina, 2017).

Este tercer punto es otra forma de crear, mantener y fortalecer la generación del conocimiento, integrando nuevos doctores egresados de un laboratorio, es decir, formados por el profesor bajo sus propias líneas de investigación, pero con innovación, aportando el conocimiento de nuevas herramientas a la metodología del trabajo, siendo así, no existe la forma de considerarse como "endogamia" el trabajo en equipo dentro de un laboratorio, siempre y cuando se demuestre la capacidad del nuevo doctor que genera conocimiento nuevo para fortalecer las LGAC del laboratorio, y es con su producción científica. Sin embargo, para fortalecer un grupo de trabajo con nuevos doctores egresados, estos deben tener ciertas características académicas y de ética. Entre las académicas, que sea capaz de generar ideas con nuevas metodologías, que son las que enriquecerán e innovarán la investigación, estas formarán las bases para crear nuevas líneas, contar con el diálogo para la posición de las autorías de un trabajo científico, pero sobre todo, estar dispuesto de trabajar para mantener el grupo en forma dinámica. La ética de un grupo de trabajo debe mantenerse dentro del mismo, siempre pensando en cómo mantener y hacer crecer académicamente al mismo, si los intereses personales no son fuertes, esto se puede dar con fluidez; sin embargo, debe haber tolerancia para aceptar casos

en los que, en un momento dado, alguien de este, por alguna razón académica, tiene que trabajar fuera del grupo, pero sin que éste se vea disminuido. Esto último no se refiere a una imposición del grupo, sino más bien a una continua colaboración en la cual todos aporten y todos produzcan de buena forma.

Las interacciones académicas en grupo con jóvenes doctores egresados favorecen y enriquecen la generación del conocimiento. La formación de grupos académicos no es fácil, históricamente se percibe lo complicado que ha sido formar grupos consolidados. Una barrera fuerte y negativa ha sido el protagonismo, la soberbia, y sentimientos de que a un profesor se le limita su expansión de conocimiento individual, cuando debería ser lo contrario, no limitar barreras del conocimiento a diferentes escalas espaciales (geográfico). La formación de redes o grupos académicos, puede ser un arma de doble filo, y es cuando alguno o algunos de los profesores investigadores no siguen la ética, pero sí el protagonismo para moverse entre el grupo o los grupos con la finalidad de conseguir una autoría o coautoría. A esto, se le ha llamado en el medio académico como *vedettes* que caen en el *vedettismo*, quienes creen que su labor académico no se les retribuye, siendo ellos que toman por cuenta propia esta posición, muchas veces sin darse cuenta, ya que se pierde el autoanálisis que les indique que no son capaces de escribir un trabajo científico por ellos mismos, sino que usan el trabajo de los demás (Yurén *et al.* 2015; López Molina, 2017). En las nuevas generaciones de doctores, se podrían sentir limitados, sin independencia, pero esto no es así, ya que, trabajando en grupo, su conocimiento va sumando y creando interacciones con otros investigadores y colegas de su propia generación, sólo que como se mencionó, este debe estar cimentado en una fuerte disciplina y código de valores (Torres, 2006; López Molina, 2017). Finalmente, con estos recursos humanos, se vería beneficiada la universidad, el grupo e individuo a escala nacional e internacional. Siendo así, el docente (profesor-investigador) frente a grupo (clases), es importante para la universidad, el profesor motiva y vincula al estudiante para sus estudios futuros de posgrado, pero todo el proceso para adquirir las bases teóricas y prácticas y generar conocimiento (el alumno) es bajo el apoyo del facilitador académico (profesor), por lo que, es un largo camino que toda institución debe meditar para darle la verdadera importancia a los formadores del conocimiento bajo el rigor científico del mundo globalizado que estamos viviendo.

Basado en lo anterior, las interacciones académicas (CA y Redes Académicas) y sus resultados deben ser el reflejo de la innovación científica de cada individuo, que sumada a la de otros integrantes del grupo, se reflejará en una alta tasa de producción académica, no solo de artículos, capítulos de libros, entre otros, sino en la formación de recursos humanos (López Esquivel, 2017). Esto hace que el trabajo multidisciplinario sea exitoso, manteniendo las raíces académicas, pero generando nuevo conocimiento y dando realce a los profesores-investigadores, al grupo de trabajo y, por lo tanto, a las instituciones. Ante el mundo globalizado, la academia debe ser puerta y maquinaria del desarrollo como país, integrando aquellos profesores-investigadores de

muchos años de experiencia con los nuevos doctores, sin duda favorecerá a la ciencia y siempre en busca del bien común. Por lo que, toda institución, debe promover y apoyar con los recursos básicos necesarios para enriquecer el quehacer científico de la plantilla de sus profesores (Yurén *et al.* 2015), porque finalmente los directivos de estas, en sus informes anuales, dentro de los rubros a informar, está el trabajo científico del profesor- investigador y el de sus alumnos, más que el número de clases o grupos que estos imparten, métrica evaluada por la SEP-PRODEP, pero no para CONACyT (SNI). La producción científica de calidad, es una mirada a nivel internacional, que se refleja en las citas a los trabajos publicados por revistas nacionales e internacionales de impacto, que es también lo que las autoridades de las instituciones de nivel educativo superior informan a sus superiores. Asimismo, es importante que las autoridades correspondientes del gobierno federal reflexionen en la necesidad de crear plazas nuevas para los jóvenes investigadores, así como la creación de nuevos centros de investigación y universidades que enfrenten las necesidades actuales de investigación y difusión de la ciencia. Esto es una necesidad inmediata para la incorporación de jóvenes investigadores y el acceso a poder liderar proyectos de investigación, siendo así, no solo se fomentará el despegue de una carrera científica personal, sino que se verá reflejado en el desarrollo científico del país; tristemente se diseñan nuevos programas para estudios de maestría y doctorado, programas que llegan a ser evaluados y estar dentro del padrón de excelencia del CONACyT, y de esta forma contar con las becas PNPC, pero no hay un plan de estrategias a nivel nacional por parte del Gobierno Federal para crear nuevas universidades con una buena estructura de laboratorios para crear nuevas plazas de profesores-investigadores y contratar a los nuevos doctores egresados.

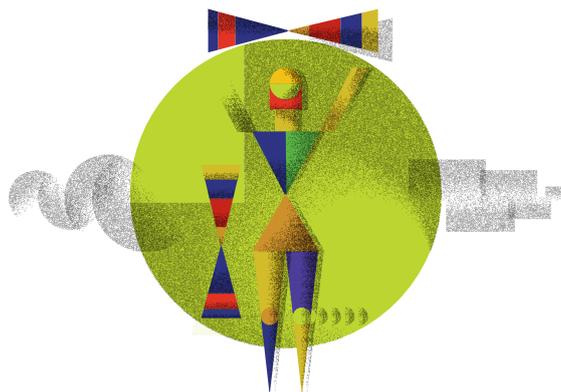
Esta falta de creación de espacios para jóvenes egresados de doctorado representa una incongruencia, puesto que el gobierno federal ha invertido un elevado recurso económico en el desarrollo de programas de doctorado en las universidades del país que se encuentran en el PNPC; sin embargo, sus doctores egresados, no encuentran donde desarrollarse académicamente, hay una fuerte crisis de fuente de empleo. Si bien es cierto que la política

de los posgrados de las universidades del país, es que sus egresados busquen colocarse en otras universidades, hoy día es muy complicado, ya que no hay ofertas de empleo, y cuando alguna universidad saca una convocatoria, ésta está publicada con un perfil de retrato hablado, candidato que es apoyado por un grupo (CA) que quiere que ingrese como profesor-investigador, sin que este o esta reúna el perfil académico de calidad (producción científica), así existan buenos competidores con una alta producción científica de calidad (JCR), no pasa nada con estos últimos, la plaza ya tiene un ganador, justificado en que la convocatoria fue abierta y se presentaron contrincantes académicos, oficialmente así queda manifestado, todo fue legal. Así que estos doctores seguirán buscando nuevas convocatorias de trabajo y tocando puertas hasta encontrar la oportunidad, justicia académica.

Finalmente, las Redes Académicas, en la mayoría de los casos, sí apoyan el quehacer científico, sobre todo los grupos multidisciplinarios (REFAMA, 2015); algunas logran incorporar nuevos profesores-investigadores, no solo nacionales, sino también internacionales, pero son pocos los casos. Las Redes Académicas en las que se integran varios cuerpos académicos (CA) logran ser multidisciplinarios, esto ayuda a enfrentar los retos académicos actuales del país. Incorporar investigadores con amplia experiencia y jóvenes investigadores en un mismo grupo, puede implicar un éxito para los proyectos de investigación, solo falta que las autoridades reconozcan esta necesidad de crear redes y establecer un programa de incorporación de nuevos investigadores a las mismas, crear nuevas líneas de investigación para fortalecer los laboratorios ya creados, de lo contrario, estos son aniquilados (se trunca la LGAC de un laboratorio y de una red) cuando un profesor se retira o se jubila de la institución.

Agradecimientos

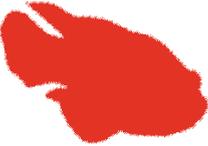
Los autores agradecen al cuerpo Académico de Conservación Biológica de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, a PRODEP-SEP, a los jóvenes doctores que han colaborado como grupo en varios proyectos que se han realizado con algunos de los integrantes de este estudio; se agradece a los doctores Sergio Ignacio Salazar Vallejo y Rubén Pineda López por sus sugerencias para enriquecer el trabajo.



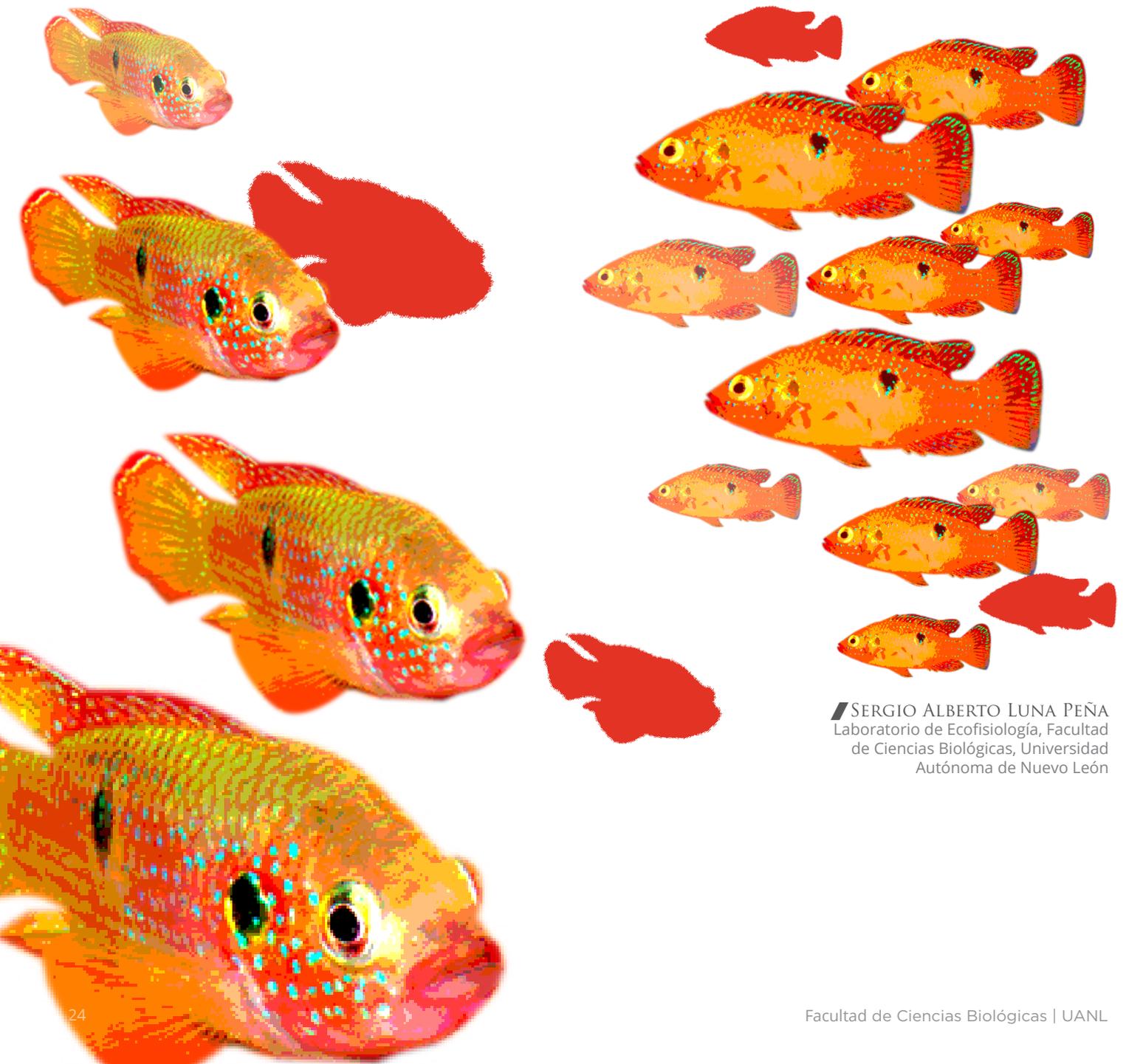


LITERATURA CITADA

- Boshell Villamarín, M. G. 2011. Redes académicas y producción de conocimiento pertinente. *Hallazgos*. 16(8): 43-62.
- Castañeda-Cortés, J. B. 2010. *Los cuerpos académicos del Promep: Su constitución y desarrollo en las instituciones de educación superior de México*. Universidad Autónoma de Sinaloa, México, 153 pp.
- C. Chúa, y R. Orozco. 2016. La producción científica. *Revista Médica*. 155(1): 7-13.
- Giordan, A. 1984. *¿Qué tipo de investigación desarrollar para favorecer la construcción de los conocimientos científicos?* II Jornada de estudios sobre la investigación en la escuela, Sevilla, s/p.
- Gorostiaga, J. M. y C. G. Tello. 2011. Globalización y reforma educativa en América Latina: un análisis inter-textual. *Revista Brasileira de Educação*. 16(47): 363-514.
- Hernández Arteaga, I. 2009. El docente investigador en la formación de profesionales. *Revista Tumbago*. 27(4): 185-198.
- López Esquivel, M. de los A. 2017. *Producción del conocimiento, un diagnóstico del instituto estatal de investigación y posgrado en educación*. Congreso Nacional de Investigación Educativa, COMIE, 1-15, San Luís Potosí.
- López Molina, S. A. 2017. *La producción científica en México, una visión de la subcultura del neoliberalismo académico*. Universidad de Colima, 110 pp.
- Martínez, P. C., R. M. Rico Venegas, y S. E. Preciado Tarabay. 2006. Evolución de los Cuerpos Académicos en la Universidad de Guanajuato. *Acta Universitaria*. 16 (3): 15-24.
- Orozco, R., J. Saquimux, C. Chúa, y V. Argueta, 2017. La importancia de las publicaciones científicas en el ranking de universidades: reto para una universidad pública. *Revista Médica*. 156(1): 30-34.
- Porlán Ariza, R. 2011. *El Maestro como investigador en el aula. Investigar para conocer, conocer para enseñar*. Pp. 25-45. En: Morán Oviedo, P. (Comp.). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones sobre la Universidad y la Investigación, 201 pp.
- Ramírez-Bautista, A. y R. Pineda-López. 2018 (Eds.). *Ecología y conservación de fauna en ambientes antropizados*. Refama-CONACyT-UAQ. Querétaro, México, 403 pp.
- Ramírez-Bautista, A., A. Sánchez-González, G. Sánchez-Rojas, y C. Cuevas-Cardona. 2017 (Eds.). *Biodiversidad del estado de Hidalgo*. Tomos I y II. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo/Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Pachuca de Soto, Hidalgo, México, 646 pp.
- Rastrepo, B. 2008. *Política pública sobre calidad de la educación superior y retos de la educación superior hoy*. Distrito Federal México. ASIESDA.
- REFAMA. 2015. *Red Temática Biología, Manejo y Conservación de Fauna Nativa en Ambientes Antropizados*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad Autónoma de Querétaro, Proyecto #271845.
- Schmelkes del Valle, C. 2017. *Retos y desafíos de los investigadores de la formación de investigadores en educación*. Congreso Nacional de Investigación Educativa-Comie.
- Secretaría de Educación Pública (SEP). 2006. *Programa de mejoramiento del profesorado. Un primer análisis de su operación e impactos en el proceso de fortalecimiento académico de las Universidades Públicas*. Secretaría de Educación Pública, México: SEP. 146 pp.
- Torres, J. 2006. Los procesos de formación de investigadores educativos: un acercamiento a su comprensión. *Revista Regional de Investigación Educativa*. 2: 67-79.
- Wilson, L. D., V. Mata-Silva, y J. D. Johnson. 2013. A conservation reassessment of the reptiles of Mexico base on the EVS measured. *Amphibian and Reptile Conservation*. 7(1): 1-47.
- Yurén, T., C. Saenger, A. Escalante, e I. López. 2015. Las prácticas de los Cuerpos Académicos como factor de la información ética de los estudiantes. Estudio en casos. *Revista de la Educación Superior*. 174 (2): 75-99.



EL PEZ CÍCLIDO JOYA (*HEMICHROMIS GUTTATUS*) EN CUATROCIÉNEGAS, COAHUILA: **UNA ESPECIE EXÓTICA INVASORA**



/// SERGIO ALBERTO LUNA PEÑA
Laboratorio de Ecofisiología, Facultad
de Ciencias Biológicas, Universidad
Autónoma de Nuevo León

RESUMEN

La introducción de especies exóticas invasoras es una de las principales causas de pérdida de la biodiversidad a nivel mundial, siendo los ambientes acuáticos especialmente susceptibles a su impacto. El pez cíclido joya (*Hemichromis guttatus*) es una especie nativa de África que fue reportada por primera vez en Cuatrociénegas, Coahuila, en 1996, donde se ha expandido rápidamente. Esta especie invasora ha provocado impactos por competencia sobre algunas de las especies de peces nativos de la región, algunas de las cuales se reportan bajo alguna categoría de riesgo. En especial han sido afectadas las poblaciones de la mojarra endémica *Herichthys minckleyi*. Considerando lo anterior, resulta imperativo establecer un método de control para mitigar de manera eficaz la invasión del cíclido joya. En el presente artículo se describe el proceso de invasión de esta especie en Cuatrociénegas, y se describe una alternativa para su control mediante la introducción de cromosomas sexuales troyanos a la población.

INTRODUCCIÓN

La introducción de especies exóticas invasoras es actualmente uno de los principales factores causales de pérdida de la biodiversidad a nivel mundial (Pyšek *et al.*, 2020). Los ambientes acuáticos dulceacuícolas se han destacado por ser más susceptibles al impacto generado por las especies invasoras, los cuales además presentan una mayor tasa de extinción de especies con respecto a los ecosistemas terrestres (Rahel, 2002; Leprieur *et al.*, 2008). En México, se tiene registro de 506 especies de peces dulceacuícolas, de los cuales 169 se encuentran en alguna categoría de riesgo y 25 se consideran ya extintos, siendo la introducción de especies exóticas uno de los principales factores causales (Contreras-Balderas *et al.*, 2003; Mendoza y Koleff, 2014).

El pez cíclido joya (*Hemichromis guttatus*) es una especie nativa de África que fue reportado por primera vez en la Poza Churince de Cuatrociénegas, Coahuila, México, en 1996. Se desconoce el motivo por el cual fue introducida esta especie, aunque se ha sugerido que fue debido a su liberación por algún acuarista ya que esta poza fue empleada anteriormente con fines turísticos y las especies de cíclido joya son comercializadas en el acuarismo (Contreras-Balderas y Ludlow, 2003; APFFC, 2008).

Desde su introducción el cíclido joya se ha expandido rápidamente a otros sistemas acuáticos de la región como Laguna Intermedia, Poza San José del Anteojo, Mojarral Este, Río Churince y Poza Bonita (Cohen *et al.*, 2005; Lozano-Vilano *et al.*, 2006; Aguilar-Aguilar *et al.*, 2014; Hernández *et al.*, 2017). Algunas de las características que contribuyen a su éxito como especie invasora son su alta agresividad hacia otros peces y una dieta omnívora oportunista (Froese y Pauly, 2020). Además, posee una gran capacidad de reproducción ya que se ha reportado actividad reproductiva durante todo el año, los individuos alcanzan la edad reproductiva en el primer año y la especie

muestra cuidado biparental; es decir, ambos progenitores participan en el cuidado de la descendencia durante las primeras etapas de vida (Espinoza-Hernández *et al.*, 2006; Hernández *et al.*, 2017). En individuos silvestres se reporta una fecundidad máxima de 498 huevos por hembra (Espinoza-Hernández *et al.*, 2006), aunque en cautiverio hemos observado desoves de hasta 991 huevos (observación personal).

CUATROCIÉNEGAS UN ÁREA NATURAL PROTEGIDA

El valle de Cuatrociénegas se encuentra ubicada en el estado de Coahuila (Figs. 1 y 2). Es una región con un clima árido tipo BWh, aunque está rodeado por sistemas de montañas que funcionan como fuentes de captación de agua y brindan condiciones de aislamiento entre los cuerpos de agua formados. Lo anterior ha ocasionado una alta presencia de especies endémicas, razón por lo que fue decretada como Área de Protección de Flora y Fauna en 1994. Además, se encuentra clasificada como un sitio RAMSAR, por lo cual es un humedal de conservación prioritario a nivel mundial (Carabias *et al.*, 1999; Ruiz, 2010).

Dentro de la biota nativa destaca la presencia de comunidades formadoras de estromatolitos en diferentes puntos del valle, una condición poco común en cuerpos de agua dulce (Carabias *et al.*, 1999). Las comunidades microbianas formadoras de estromatolitos, constituidas principalmente por bacterias, se consideran entre las formas de vida más antiguas de la Tierra. En Cuatrociénegas, a diferencia de otros sitios, estas poblaciones coexisten con animales superiores que se alimentan de ellas (principalmente caracoles), formando la base productiva de las pozas que da sustento a la existencia de otras especies endémicas. Por lo cual su estudio es de una gran importancia para comprender los cambios en la historia evolutiva del planeta (Elser *et al.*, 2005).

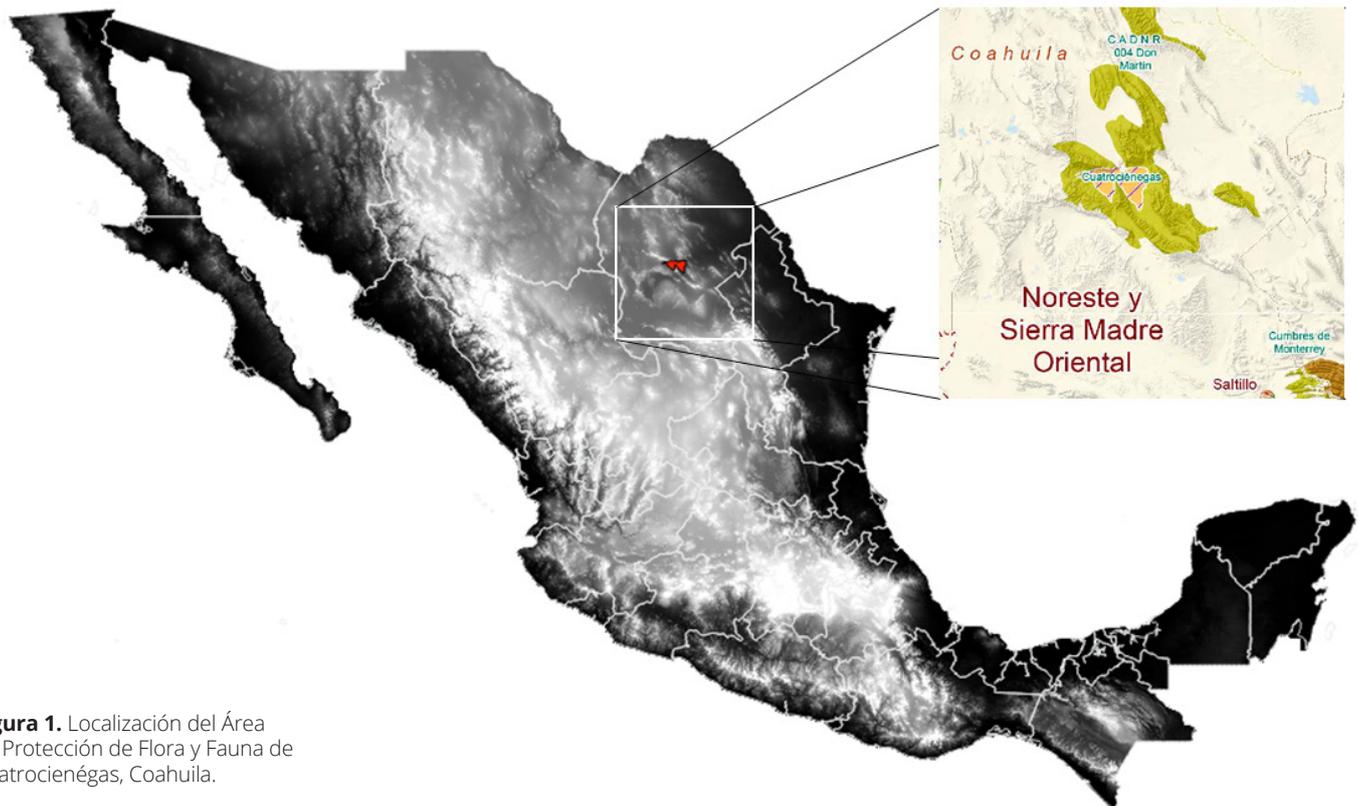


Figura 1. Localización del Área de Protección de Flora y Fauna de Cuatrociénegas, Coahuila.

IMPACTO DEL CÍCLIDO JOYA

En la región de Cuatrociénegas actualmente se reportan 13 especies de peces bajo alguna categoría de riesgo (Cohen *et al.*, 2005; Jelks *et al.*, 2008). El cíclido joya (Fig. 3) ha provocado impactos por competencia sobre algunas de estas especies como *Ictalurus* sp., *Gambusia marshi*, *Herichthys minckleyi* y *Astyanax mexicanus* (Lozano-Vilano *et al.*, 2006; Marks *et al.*, 2011). En especial han sido afectadas las poblaciones del cíclido *H. minckleyi*, ya que se ha reportado que el cíclido joya es muy agresivo hacia esta especie, inhibiendo potencialmente su reproducción (Dugan, 2014) y compitiendo por alimento con los individuos juveniles de acuerdo con estudios de isotopos estables en la dieta (Marks *et al.*, 2011). Además de lo anterior, los cambios en la composición de la comunidad de macroinvertebrados y alteraciones de las redes tróficas debido a la presencia de la especie invasora, pueden conducir eventualmente a un impacto en las comunidades formadoras de estromatolitos presentes en Cuatrociénegas (Elser *et al.*, 2005; Hulseley *et al.*, 2005; Dugan, 2014), lo cual tendría graves repercusiones para la biodiversidad del lugar.

CONTROL DEL CÍCLIDO JOYA

Considerando lo anterior, resulta imperativo establecer un método de control para mitigar de manera eficaz la invasión del cíclido joya en Cuatrociénegas. Históricamente se han empleado diversas estrategias para el control y erradicación de poblaciones de peces invasores, como el uso de químicos (Hill y Cichra, 2005)



Figura 2. Detalles de dos cuerpos de agua de Cuatrociénegas: Poza Churince (a) y Poza de La Becerra (b).

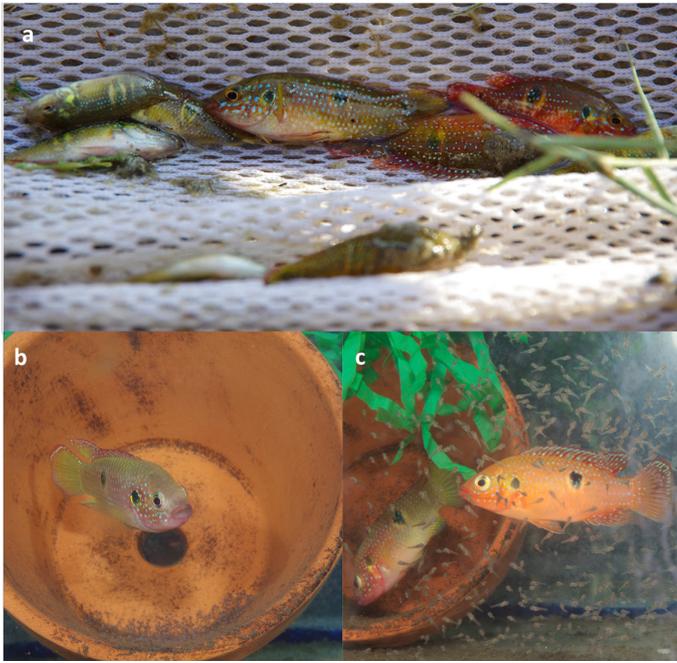


Figura 3. Cíclidos joya capturados en Cuatrociénegas (a), macho adulto protegiendo su nido en cautiverio (b), y una pareja cuidando sus larvas (c).

o el control biológico (Hoddle, 2004). Sin embargo, estos métodos suelen ser inespecíficos, controversiales o de difícil implementación.

En el caso de la invasión del cíclido joya, se ha reportado un esfuerzo de erradicación aparentemente exitoso mediante su captura, así como la restauración de la fauna nativa en la poza San José del Anteojo (Lozano-Vilano *et al.*, 2006). No obstante, aunque esto demuestra la factibilidad de remoción manual de especies exóticas en espacios reducidos, el procedimiento puede ser costoso y prolongado, ya que fueron requeridas un total de 20 visitas durante un período de 4 años para el trampeo.

Recientemente se ha sugerido una forma de control de poblaciones exóticas mediante la introducción de individuos portadores de cromosomas sexuales “troyanos” (TYC, por sus siglas en inglés). Esta estrategia implica la liberación de individuos portadores de dos cromosomas sexuales Y, de ahí el nombre de cromosoma troyano, ya sean machos YY, también conocidos como supermachos, o (preferiblemente en teoría) hembras (Gutierrez y Teem, 2006). Esto funcionaría de la siguiente manera; la introducción de estos individuos en una población exótica durante varias generaciones conduciría a un cambio en la proporción de sexos a través del tiempo. Lo anterior debido a que un supermacho solo produce gametos sexuales con el cromosoma Y, por lo cual al reproducirse con una hembra XX su descendencia consiste exclusivamente de machos XY. El impacto en la proporción de sexos sería aún mayor si fueran introducidas hembras YY, ya que éstas al reproducirse con un macho XY silvestre, producirían una descendencia que consistiría en 50% de machos XY y 50% de machos YY, y estos últimos continuarían reduciendo la proporción de hembras durante la siguiente generación. Además, en generaciones sucesivas existe la posibilidad de cruce entre estos machos YY silvestres con hembras YY introducidas, generando una descendencia de 100% de machos YY (Fig. 4). Con el tiempo eventualmente el número de hembras llegaría a cero, por lo que al alcanzar este momento se lograría la extirpación local de la población al dejar de introducir más individuos (Gutierrez y Teem, 2006; Gutierrez *et al.*, 2012).

De esta forma, en el caso del cíclido joya, la introducción de organismos YY durante varias generaciones, conduciría a un aumento paulatino en la proporción de machos debido a un mayor flujo del cromosoma Y, reduciendo el número de hembras hasta lograr la extinción de la población (Cotton y Wedekind, 2007).

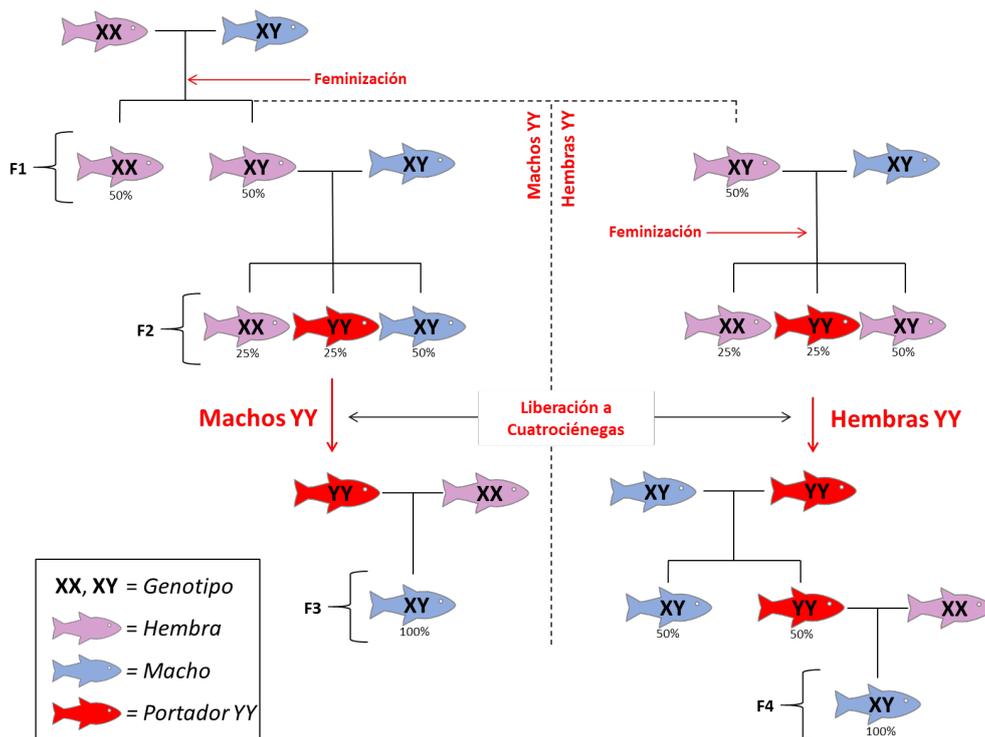


Figura 4. Esquema de los eventos reproductivos, reversión sexual e introducción de organismos YY para el control del cíclido joya en Cuatrociénegas. Se muestra el efecto de la introducción de machos YY producidos en cautiverio (F2), cuya descendencia (F3) consiste sólo de machos XY; o de la introducción de hembras YY para lo cual sería necesario un segundo paso de feminización de la F2. El fenotipo y genotipo sexual esperado de los individuos se muestra en el recuadro. Los porcentajes indican la proporción esperada de los individuos en la descendencia.

Un aspecto fundamental para la implementación de esta estrategia es la obtención de los individuos YY. Para lo cual el mecanismo que se ha empleado más frecuentemente es la reversión sexual, donde son administradas hormonas a los peces en etapas tempranas de desarrollo de forma que los individuos se desarrollan como machos (masculinización) o hembras (feminización), independientemente del sexo genético. En el caso de la estrategia TYC se realiza la feminización mediante la administración de estradiol, por ejemplo. De esta forma se obtienen hembras revertidas, es decir, individuos con un fenotipo de hembra, pero cuyo sexo genético es XY. Posteriormente estas hembras son cruzadas con machos normales XY y una parte de su descendencia consiste en machos YY. Con un segundo paso de feminización estos últimos pueden feminizarse a hembras YY. Durante este proceso es necesario contar con un método de identificación de los genotipos sexuales de los individuos mediante el uso de marcadores moleculares, ya que normalmente no es posible machos o hembras YY de los individuos normales de forma física (Piferrer, 2009; Schill *et al.*, 2016).

El análisis de un modelo matemático aplicado a la tilapia, otra especie de pez cíclido, que también es exótico en América, ha mostrado que la introducción continua de al menos 3.2% de hembras YY durante varias generaciones puede conducir efectivamente a la extinción de la población (Figura 5; Gutierrez y Teem, 2006; Cotton y Wedekind, 2007). En el caso de aquellas especies en las que las hembras YY no son viables, la introducción de machos YY también podría conducir a la extirpación de la población, aunque sería necesario un mayor tiempo o frecuencia de introducción de estos individuos (Parshad *et al.*, 2013). El tiempo necesario para lograr la extirpación de la población se encontrará

definido por el número total de individuos silvestres presentes y la cantidad y frecuencia de introducción de los individuos YY, así como su éxito reproductivo y competitivo (Cotton y Wedekind, 2007; Day *et al.*, 2020).

Desde su postulación como estrategia para el control de especies invasoras (Gutierrez y Teem, 2006), el uso de cromosomas Y troyanos ha generado mucho interés. Por ejemplo, se ha extrapolado el modelo a especies con sistemas de determinación sexual distintos al XY (Cotton y Wedekind, 2007; Senior *et al.*, 2013), se ha modelado la dinámica poblacional de acuerdo con la distribución espacial de las poblaciones (Gutierrez *et al.*, 2012; Day *et al.*, 2020), se ha evaluado su potencial uso en combinación con otras estrategias de control de especies invasoras (Teem y Gutierrez, 2014) y se ha analizado la influencia de distintos parámetros poblacionales (Parshad, 2011; Parshad *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2014, 2015).

Considerando lo anterior el empleo de esta estrategia para el control de las poblaciones de cíclido joya podría resultar factible ya que esta especie además de cumplir con los requisitos básicos del modelo: susceptibilidad de reversión sexual y un sistema de determinación sexual XY; también se apega a la factibilidad teórica del modelo aplicado a la tilapia *Oreochromis niloticus* (Gutierrez y Teem, 2006), una especie filogenéticamente cercana (Schwarzer *et al.*, 2015). Además, se encuentra introducida en algunas pozas con espacios reducidos, lo cual facilitaría el monitoreo de las poblaciones durante la implementación de la estrategia. Por último, debido a su comportamiento de cuidado biparental, es posible la disminución del éxito reproductivo conforme aumente el sesgo en la proporción de sesgos, lo cual ha sido reportado en otras especies de cíclidos (Rogers, 1987), y facilitaría aún más el control de esta especie.

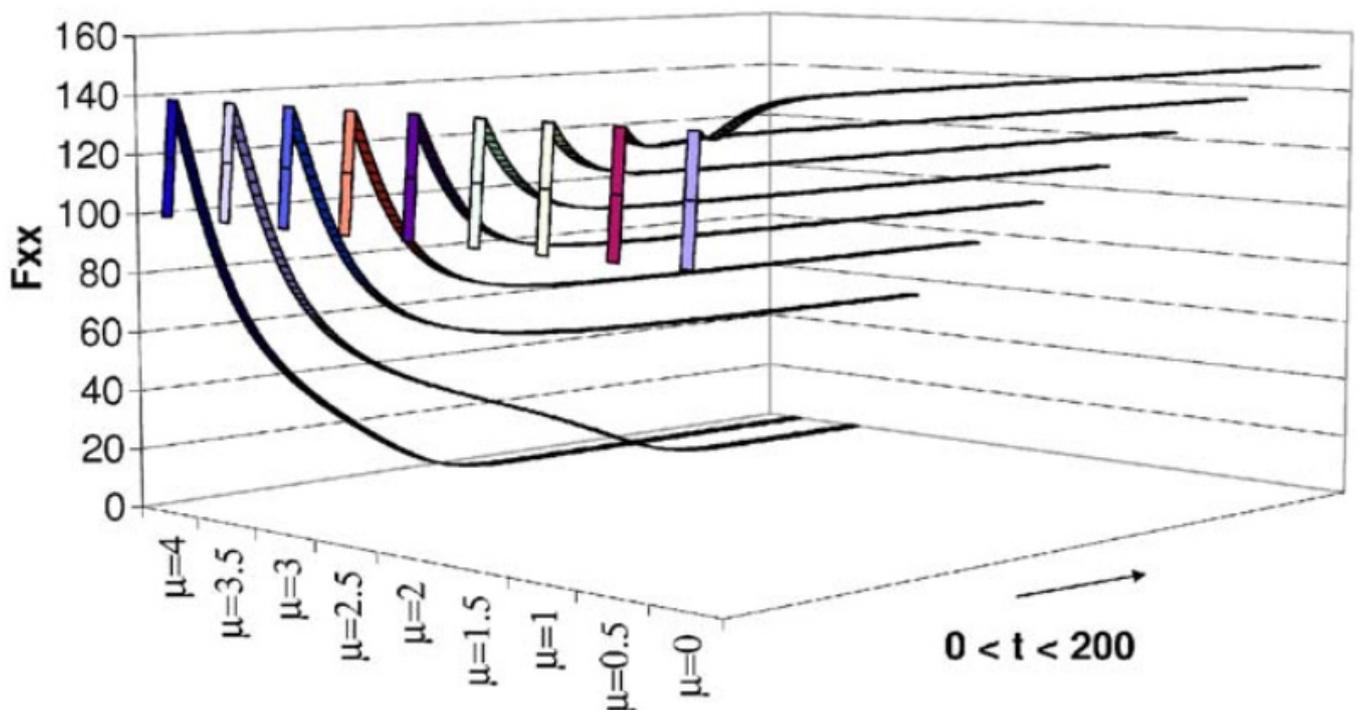
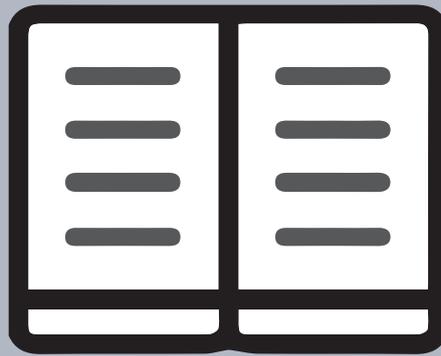


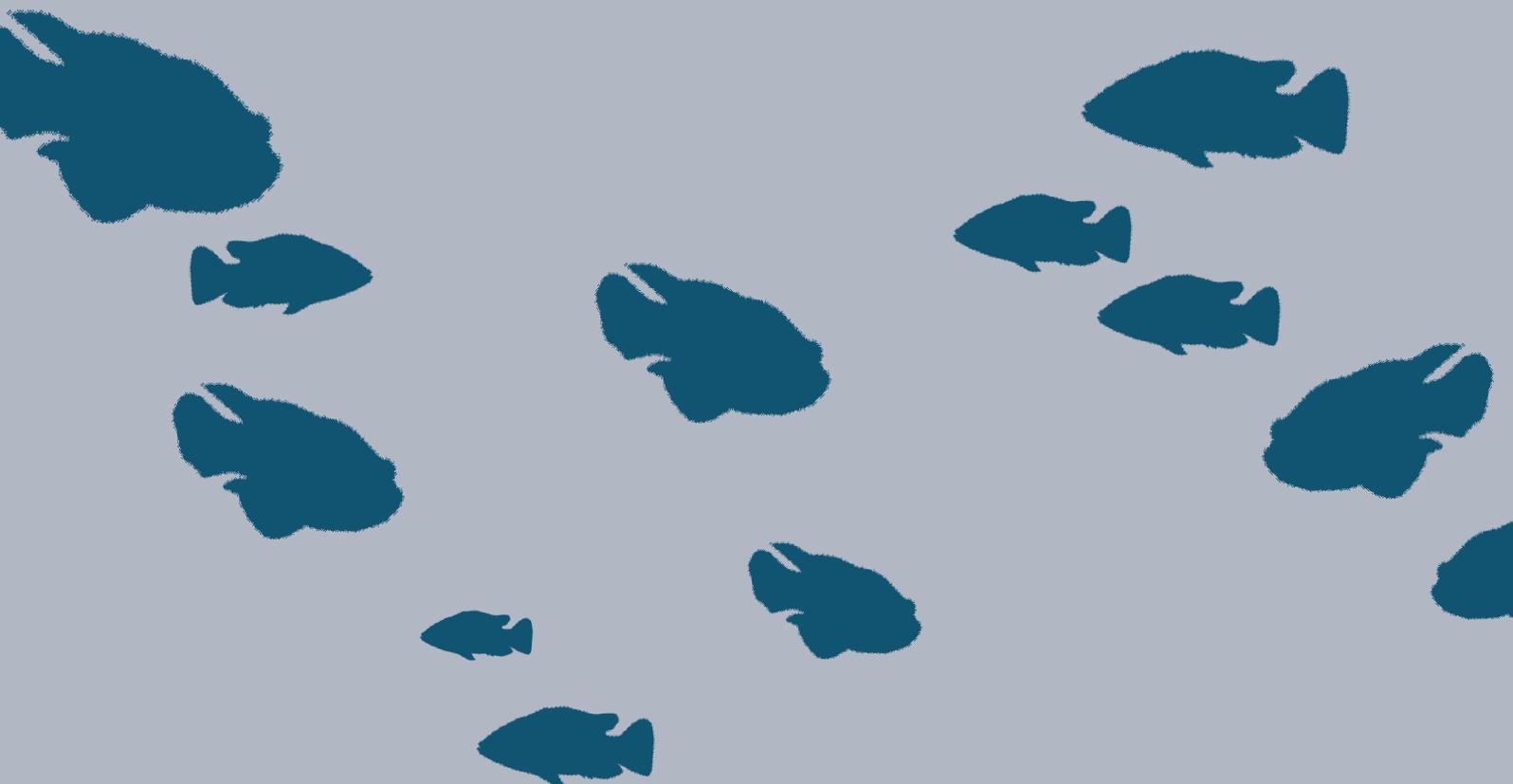
Figura 5. Cambio en la proporción de hembras (F_{xx}) a través del tiempo para diferentes porcentajes de individuos YY introducidos (tomado de Gutierrez y Teem, 2006).



LITERATURA CITADA

- Aguilar-Aguilar, R., A. Martínez-Aquino, H. Espinosa-Pérez, G. Pérez-Ponce De León. 2014. Helminth parasites of freshwater fishes from Cuatro Ciénegas, Coahuila, in the Chihuahuan Desert of Mexico: inventory and biogeographical implications. *Integrative Zoology*. 9 (3): 328-339.
- Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas (APFFC). 2008. Monitoreo del Pez Joya (*Hemichromis guttatus*) en el Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas. Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, (200), pp 1-3.
- Carabias, L. J., E. Provencio, J. De la Maza, Y. S. Moncada. 1999. Programa de manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Cuatrociénegas. Instituto Nacional de Ecología SEMARNAP. D. F, México, 167pp.
- Cohen, A. E., D. A. Hendrickson, C. Parmesan, J. C. Marks. 2005. Habitat segregation among trophic morphs of the Cuatro Ciénegas Cichlid (*Herichthys minckleyi*). *Hidrobiológica*. 15 (2): 169-181.
- Contreras-Balderas, S., A. Ludlow. 2003. *Hemichromis guttatus* Günther, 1862 (Pisces: Cichlidae), nueva introducción en México, en Cuatro Ciénegas, Coahuila. *Vertebrata Mexicana*. 12: 1-5.
- Contreras-Balderas, S., P. Almada-Villela, M. L. Lozano-Vilano, M. E. García-Ramírez. 2003. Freshwater fish at risk or extinct in Mexico. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 12: 241-251
- Cotton, S., C. Wedekind. 2007. Control of introduced species using Trojan sex chromosomes. *Trends in Ecology and Evolution*. 22 (9): 441-443.
- Day, C. C., E. L. Landguth, R. K. Simmons, W. P. Baker, A. R. Whiteley, P. M. Lukacs, A. Bearlin. 2020. Simulating effects of fitness and dispersal on the use of Trojan sex chromosomes for the management of invasive species. *Journal of Applied Ecology*. 57 (7): 1413-1425.
- Dugan, L. E. 2014. Invasion risk and impacts of a popular aquarium trade fish and the implications for policy and conservation management. PhD dissertation. The University of Texas at Austin, 166pp.
- Elsner, J. J., J. H. Schampel, F. Garcia-Pichel, B. D. Wade, V. Souza, L. Eguiarte, A. Escalante, J. D. Farmer, 2005. Effects of phosphorus enrichment and grazing snails on modern stromatolitic microbial communities. *Freshwater Biology*. 50 (11): 1808-1825.
- Espinosa-Hernández, S., M. E. García-Ramírez, M. L. Lozano-Vilano. 2006. Aspects of growth and reproduction of spotted jewelfish, *Hemichromis guttatus* (Cichlidae), an exotic species in Poza Churince, Cuatro Ciénegas, Coahuila, Mexico. Proceedings Of The Desert Fishes Council – VOL. XXXVIII (2006 SYMPOSIUM).
- Froese, R., D. Pauly. 2020. *Hemichromis guttatus* Günther, 1862. Fishbase. World Wide Electronic publication. <https://www.fishbase.in/summary/Hemichromis-guttatus>
- Gutierrez, J. B., M. K. Hurdal, R. D. Parshad, J. L. Teem. 2012. Analysis of the Trojan Y chromosome model for eradication of invasive species in a dendritic riverine system. *Journal of Mathematical Biology*. 64 (1-2): 319-340.
- Gutierrez, J. B., J. L. Teem. 2006. A model describing the effect of sex-reversed YY fish in an established wild population: the use of a Trojan Y chromosome to cause extinction of an introduced exotic species. *Journal of Theoretical Biology*. 241 (2): 333-341.
- Hernández, A., H. S. Espinosa-Pérez, V. Souza. 2017. Trophic analysis of the fish community in the Ciénega Churince, Cuatro Ciénegas, Coahuila. *PeerJ*. 5,:e3637.
- Hill, J. E., C. E. Cichra. 2005. Eradication of a reproducing population of convict cichlids, *Cichlasoma nigrofasciatum* (Cichlidae), in North-Central Florida. *Florida Scientist*. 68 (2): 65-74.
- Hoddle, M. S. 2004. Restoring balance: using exotic species to control invasive exotic species. *Conservation Biology*. 18 (1): 38-49.
- Hulsey, C. D., D. A. Hendrickson, F. J. García De León. 2005. Trophic morphology, feeding performance and prey use in the polymorphic fish *Herichthys minckleyi*. *Evolutionary Ecology Research*. 7 (2): 1-22.
- Jelks, H. L., S. J. Walsh, N. M. Burkhead, S. Contreras-Balderas, E. Diaz-Pardo, D. A. Hendrickson, J. Lyons, N. E. Mandrak, F. McCormick, J. S. Nelson, S. P. Platania, B. A. Porter, C. B. Renaud, J. J. Schmitter-Soto, E. B. Taylor, M. L. Warren. 2008. Conservation status of imperiled North American freshwater and diadromous fishes. *Fisheries*. 33 (8): 372-407.
- Leprieux, F., O. Beauchard, S. Blanchet, T. Oberdorff, S. Brosse. 2008. Fish invasions in the world's river systems: when natural processes are blurred by human activities. *PLoS Biology*. 6 (2): 0404-0410.
- Lozano-Vilano, M., A. J. Contreras-Balderas, M. García-Ramírez. 2006. Eradication of Spotted Jewelfish, *Hemichromis guttatus*, from Poza San José del Anteojo, Cuatro Ciénegas Bolsón, Coahuila, Mexico. *The Southwestern Naturalist*. 51 (4): 553-555.

- Marks, J. C., C. Williamson, D. A. Hendrickson. 2011. Coupling stable isotope studies with food web manipulations to predict the effects of exotic fish: lessons from Cuatro Ciénegas, Mexico. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 21 (4): 317-323.
- Mendoza, R., P. Koleff. 2014. Introducción de especies exóticas acuáticas en México y en el mundo. Pp. 17-41. En: Mendoza, R., P. Koleff (Eds.). *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 555pp.
- Parshad, R. D. 2011. Long time behavior of a PDE model for invasive species control. *International Journal of Mathematical Analysis*. 5 (37-40): 1991-2015.
- Parshad, R., S. Kouachi, J. Gutierrez. 2013. Global existence and asymptotic behavior of a model for biological control of invasive species via supermale introduction. *Communications in Mathematical Sciences*. 11 (4): 951-972.
- Piferrer, F. 2009. Determinación y diferenciación sexual en los peces. Pp. 249-278. En: Carrilli-Estévez, M. A. (coord). *La reproducción de los peces: aspectos básicos y sus aplicaciones en acuicultura*. Fundación Observatorio Español de Acuicultura. Madrid, España.
- Pyšek, P., P. E. Hulme, D. Simberloff, S. Bacher, T. M. Blackburn, J. T. Carlton, W. Dawson, F. Essl, L. C. Foxcroft, P. Genovesi, J. M. Jeschke, I. Kühn, A. M. Liebhold, N. E. Mandrak, L. A. Meyerson, A. Pauchard, J. Pergl, H. E. Roy, H. Seebens, M. Kleunen, M. Vila, M. J. Wingfield, D. M. Richardson. 2020. Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews*. 95 (6): 1511-1534.
- Rahel, F. J. 2002. Homogenization of freshwater faunas. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 33: 291-315.
- Rogers, W. 1987. Sex ratio, monogamy and breeding success in the Midas cichlid (*Cichlasoma citrinellum*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*. 21 (1): 47-51.
- Ruiz, R. 2010. Estimación y actualización al 2009 de la Tasa de Transformación del hábitat de las áreas naturales protegidas SINAP I y SINAP II del FANP: Área de Protección de Flora y Fauna Cañón de Santa Elena. México. México: Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A. C. y Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, 49 pp. https://simec.conanp.gob.mx/TTH/SantaElena/SantaElena_TTH_2000_2008.pdf
- Schill, D. J., J. A. Heindel, M. R. Campbell, K. A. Meyer, E. R. J. M. Mamer. 2016. Production of a YY male brook trout broodstock for potential eradication of undesired brook trout populations. *North American Journal of Aquaculture*. 78 (1): 72-83.
- Schwarzer, J., A. Lamboj, K. Langen, B. Misof, U. K. Schliewen. 2015. Phylogeny and age of chromidotilapiine cichlids (Teleostei: Cichlidae). *Hydrobiologia*. 748: 185-199.
- Senior, A. M., M. Krkosek, S. Nakagawa. 2013. The practicality of Trojan sex chromosomes as a biological control: an agent based model of two highly invasive *Gambusia* species. *Biological Invasions*. 15 (8): 1765-1782.
- Teem, J. L., J. B. Gutierrez. 2014. Combining the Trojan Y chromosome and daughterless carp eradication strategies. *Biological Invasions*. 16 (6): 1231-1240.
- Wang, X., J. R. Walton, R. D. Parshad. 2015. Stochastic models for the Trojan Y-Chromosome eradication strategy of an invasive species. *Journal of Biological Dynamics*. 10 (1): 179-199.
- Wang, X., J. R. Walton, R. D. Parshad, K. Storey, M. Boggess. 2014. Analysis of the Trojan Y-Chromosome eradication strategy for an invasive species. *Journal of Mathematical Biology*. 68 (7): 1731-1756.



ANÉLIDOS MARINOS EXTRAORDINARIOS

MARÍA ANA TOVAR-HERNÁNDEZ¹ & SERGIO I. SALAZAR-VALLEJO²

RESUMEN

Presentamos un panorama sobre uno de los grupos de anélidos marinos más fascinantes y algunos detalles de unos de sus representantes: los osmótrofos que utilizan bacterias mutualistas que producen compuestos orgánicos a través de fuentes de sulfuro y metano como fuentes de energía. Estos gusanos extraordinarios, cuyas peculiaridades son rarezas no solo en el filo Annelida del cual son parte, sino en todo el reino animal, son los siboglínidos.



PALABRAS CLAVE: Annelida, Polychaeta, Siboglinidae, extremófilos, quimiosíntesis, osmotrofia, endosimbiosis.

¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Biosistemática, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México.

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

INTRODUCCIÓN

El año 1977 estuvo marcado por varios eventos. Se estrenaban dos películas que hicieron época: Fiebre del sábado por la noche y La guerra de las galaxias; se fundaba la empresa Apple; la sonda espacial Voyager I y la nave espacial Voyager II eran lanzadas al espacio; se descubrieron anillos alrededor de Urano. En el medio marino, el sumergible **Alvin** iniciaba las exploraciones en el mar profundo a 400 km al norte de las islas Galápagos, en una zona donde se unen dos placas continentales: Nazca y Cocos.

El **Alvin** fue una embarcación sumergible tripulada dedicada a la investigación oceánica (Fig. 1), que operó desde el barco de soporte RV **Atlantis** (AGOR-25), propiedad de la Marina de los Estados Unidos y dirigido por la Institución Oceanográfica de Woods Hole (WHOI). El sumergible se popularizó por su relevancia en el hallazgo de los restos del **Titanic** en 1986.

Los hallazgos de esa expedición financiada por la National Science Foundation cerca de las Galápagos cambiaron la forma de ver la vida extrema en nuestro planeta, pues a 2,500 m de profundidad descubrió un nuevo ecosistema lleno de vida, que ahora se conoce como ventilas hidrotermales o chimeneas volcánicas (Corliss *et al.* 1979) (Fig. 2). Estos ecosistemas son pequeños volcanes activos que lanzan incesantemente agua con productos sumamente tóxicos (Fig. 2), como ácido sulfhídrico y metano, y a temperaturas inesperadas, de hasta 400°C, que se mezclan con las aguas frías (~2°C) típicas de las regiones abisales (Desbruyères *et al.* 2006). Los materiales

expulsados se acumulan en estructuras elevadas y complejas (Fig. 3) que denominaron chimeneas.

Los exploradores del **Alvin** registraron grupos de miles de cangrejos, almejas, camarones, y unos organismos bastante raros de color carmesí que sobresalían de unos tubos blancos de gran tamaño, algunos de hasta 2 m de altura. El paisaje era tan espectacular que le llamaron Jardín de Rosas. Estos organismos tubícolas metían y sacaban una parte de su cuerpo fuera del tubo, como un lápiz labial, y sus tubos, que estaban unos juntos a otros, estaban anclados a las rocas (Fig. 4).

¿QUÉ ERAN LOS TUBÍCOLAS?

La tripulación recolectó muestras de esos tubos y más tarde las enviaron al curador de gusanos del Instituto Smithsonian, el prestigiado investigador Meredith Jones (1926-1996) (Fig. 5). El Dr. Jones estudio su morfología e hizo estudios histológicos, con lo que mostró que estos gusanos no tenían boca ni tubo digestivo. En 1981 nombró estos organismos como *Riftia pachyptila*, ubicándolos en una nueva familia Riftiidae, orden Vestimentifera, Phylum Pogonophora (Jones, 1981).

¿CÓMO SOBREVIVEN?

Las riftias no tienen tubo digestivo y, en vez de eso, tienen un trofosoma. Es un órgano de color pardo, esponjoso y que ocupa más de la mitad del largo del cuerpo del gusano (Fig. 6). El trofosoma no es un intestino, pero contribuye con la nutrición. En él no hay nada parecido a la comida, pero en vez de eso hay cristales de azufre.

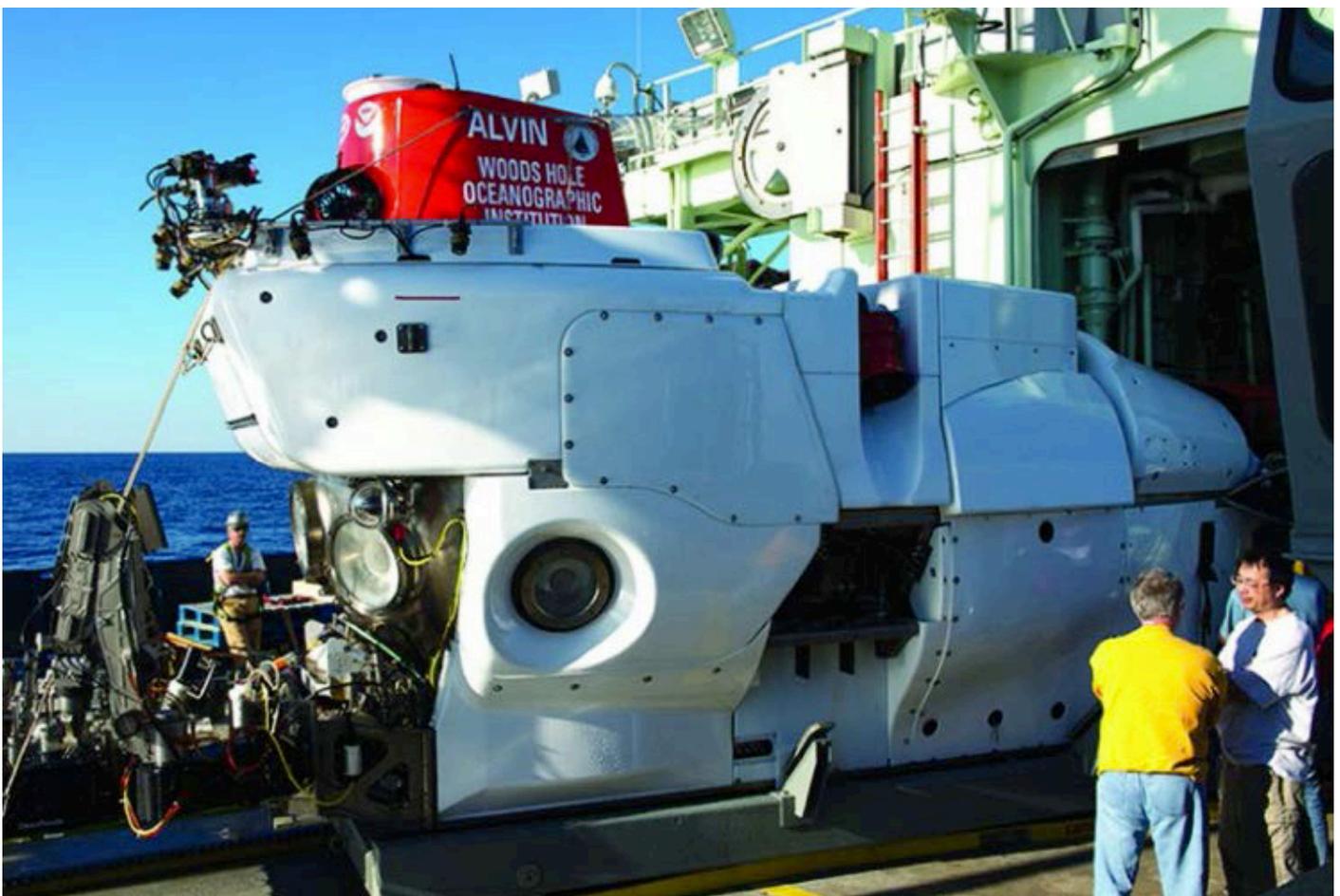


Figura 1. Vista lateral izquierda del sumergible **Alvin**. Al frente el sistema para recolectar muestras. (Tomada de Internet, dominio público).

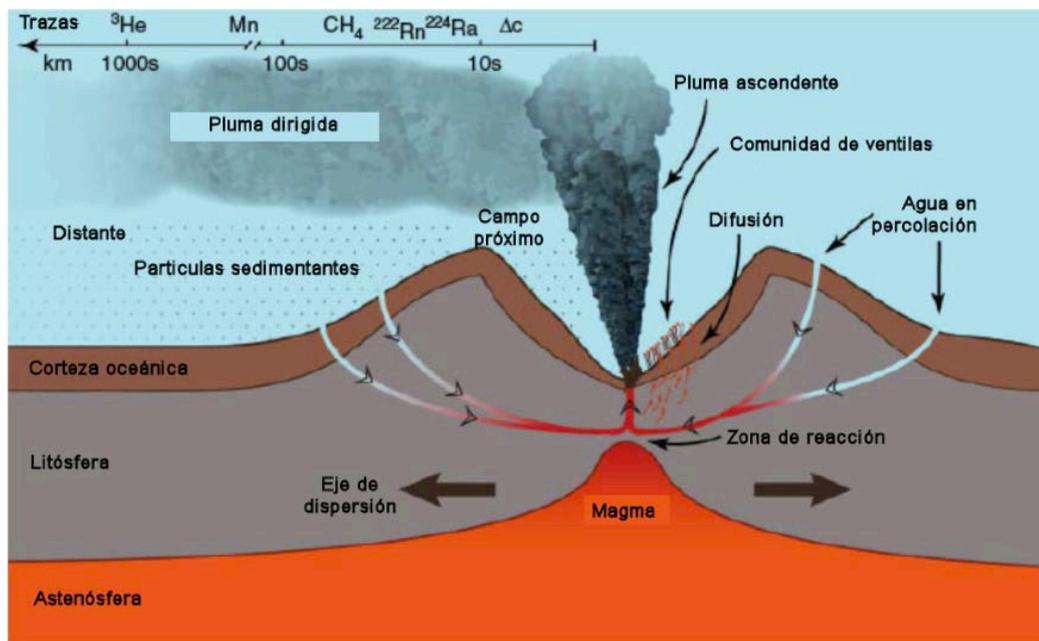


Figura 2. Ventilias hidrotermales o chimeneas volcánicas. (Tomada de Internet, dominio público).

¿CÓMO VIVEN SIN LUZ NI FOTOSÍNTESIS?

En el agua circundante a las ventilas hidrotermales hay ácido sulfhídrico, que para la mayoría de las formas de vida es altamente tóxico. En el marco de una conferencia académica impartida por el Dr. Jones en el Instituto Smithsonian, Colleen Cavanaugh, una estudiante de biología de la Universidad de Harvard, argumentó que si el trofosoma no era el órgano que alimenta al gusano, quizá este era un filtro o algo similar que pudiera ayudar a descomponer todo el sulfhídrico con ayuda de bacterias dentro de su cuerpo.

Como era de esperar, la hipótesis de Cavanaugh no fue bien recibida, pero más tarde el Dr. Jones le envió un ejemplar para que lo estudiara (Kunzing, 2000). Así, después de un análisis basado en estudios químicos y del ADN, con respaldo de microscopía electrónica de barrido y de transmisión, Cavanaugh confirmó su hipótesis. Ella descubrió que trillones de bacterias viven en el trofosoma y que éstas usan el ácido sulfhídrico de las ventilas hidrotermales como fuente de energía en un proceso llamado quimiosíntesis (Cavanaugh *et al.* 1981). Cavanaugh obtuvo su doctorado en 1985, siendo su tesis sobre este peculiar tema. Hoy se sabe que esas bacterias son quimiolitotróficas (bacterias que oxidan sulfuros, específicamente) y que ésta simbiosis también involucra a bacterias que oxidan metano, como en los ambientes de filtraciones de hidrocarburo-metano (Thurber *et al.* 2020).

La quimiosíntesis es un proceso que utiliza compuestos químicos como fuente de energía, por lo que es opuesto a la fotosíntesis, donde se usa la luz solar para generar energía. A 2.5 km de profundidad no hay fotosíntesis, en vez de sol las bacterias ingieren y procesan los sulfuros de las ventilas hidrotermales, que a su vez sirven de alimento para los gusanos. Como las bacterias están dentro del animal, se trata de una endosimbiosis.

¿CÓMO ENTRAN LAS BACTERIAS Y EL SULFURO DE HIDRÓGENO AL CUERPO DEL GUSANO?

La forma en que las bacterias entran al cuerpo no es bien conocida, pero podría ser a través de la epidermis del

gusano, mientras que los sulfuros son captados por las plumas color carmesí. Esas plumas se encuentran en una región corporal que se denomina obturáculo, que es un pedúnculo carnoso que tiene forma de embudo (Fig. 6). El obturáculo tiene un lóbulo derecho y uno izquierdo. Cada lóbulo tiene muchos palpos pinulados (que son las plumas). Estas plumas son carmesí porque las hemoglobinas de su sangre les otorgan esa coloración, como ocurre en nuestra sangre. Las estructuras tipo branquias atrapan el oxígeno, sulfuros o metano necesarios para la quimiosíntesis, y luego son transportados por las hemoglobinas hacia el trofosoma, donde son reducidos por las bacterias (Bright & Giere, 2005).

Aunque la quimiosíntesis de *Riftia* en las ventilas hidrotermales se descubrió en el siglo pasado, podría ser tan antigua como ~420 millones de años, por la estimación más extrema en el registro fósil de tubos de otros



Figura 3. Fumarola de una ventila hidrotermal (el sedimento en el agua semeja humo). (Tomada de Internet, dominio público).



Figura. 4. Los tubos blancos y la punta rojo intenso, con un área media pálida corresponden con los siboglínidos *Riftiapachyptila*. (Tomada de Internet, dominio público).

siboglínidos, aunque la mayoría los sitúa en alrededor de 100 millones de años (Georgieva *et al.* 2019). Sabemos que esta relación simbiótica con bacterias que oxidan sulfuros es un fenómeno que también se ha observado en otros animales marinos (bivalvos, oligoquetos, nemátodos) y no solo en animales asociados con las ventilas hidrotermales. Sin embargo, para los amantes del mar, el descubrimiento de las ventilas hidrotermales y de *Riftia* constituyen uno de los hallazgos más relevantes de todos los tiempos. No sorprende, entonces, la intensidad y variedad de temas de investigación realizados en el grupo.

¿ESTÁN *RIFTIA* Y OTROS SIBOGLÍNIDOS EN MÉXICO?

Sí. *Riftia pachyptila* también se ha encontrado en la cuenca de Guaymas y en la dorsal oceánica del Pacífico Este, a los 21°N (Malakhov y Galkin, 2000) y hay registros de otras especies de siboglínidos en San Eugenio, Baja California (Hartman 1961). Además, una especie fue descrita para el Golfo de Tehuantepec como *Galathealinum mexicanum* Adegoke, 1967. Es sorprendente el alto número de estudios sobre metales pesados, genética, fisiología, biología reproductiva, histología, bioquímica y filogenia conducidos por investigadores extranjeros con muestras de *R. pachyptila* de Guaymas, y la participación de investigadores nacionales también es de destacarse.

¿POGONÓFOROS O SIBOGLÍNIDOS?

La clasificación de estos gusanos que dependen de bacterias simbiotas internas para su nutrición ha sido controversial y, como es de esperarse, ha cambiado a lo largo del tiempo en la medida que se conoce más sobre ellos. Así, *Riftia* pasó de ser parte del filo Pogonophora (que incluía a los frenulados y vestimentíferos), hoy en día se reconoce dentro del Phylum Annelida, familia Siboglinidae.

Siboglinidae tiene representantes no solo en las ventilas hidrotermales, sino también en los manantiales fríos

con metano, y se asocia con huesos de ballenas y otros vertebrados en descomposición. Inclusive no solo se han encontrado a grandes profundidades. En Florida se ha reportado una especie a 24 m de profundidad (Southward y Cutler, 1986), mientras que en la zona hadal de la trinchera Izu-Bonin en Japón, está el registro a mayor profundidad: 9,735 m (Ivanov, 1957).

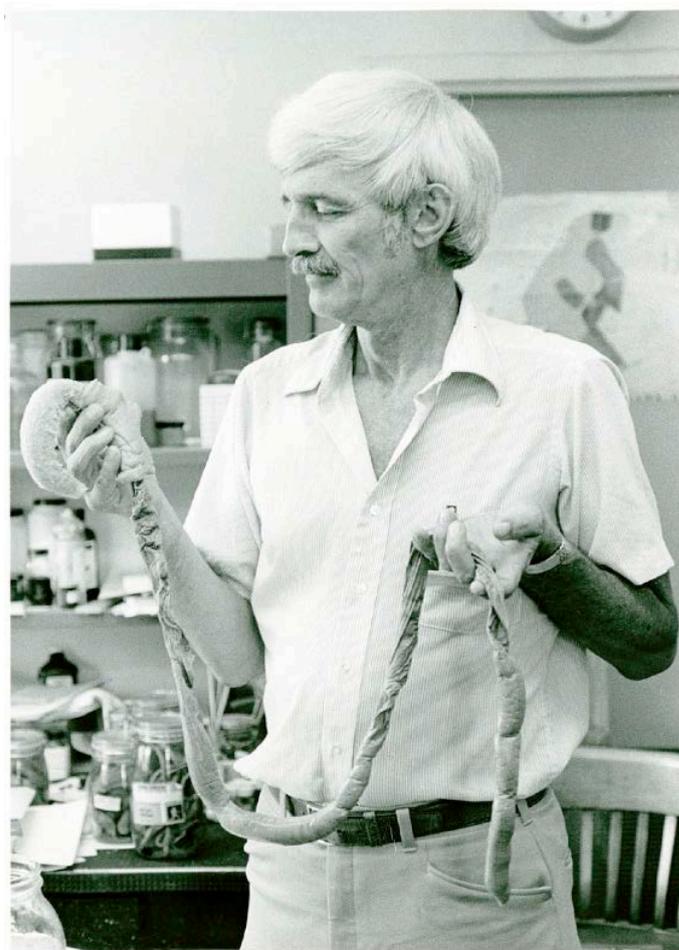


Figura. 5. Doctor Meredith L. Jones mostrando un siboglínido del género *Riftia* (Tomada de Smithsonian Institution Archives).

GUSANOS COME HUESOS (OSTEÓFAGOS)

El 6 de Febrero del 2002, Robert Vrijenhoek, un biólogo marino del Instituto de Investigación del Acuario de la Bahía de Monterrey (MBARI, por sus siglas en inglés), buscando almejas en el Cañón de Monterey (California) con un vehículo sumergible, encontró restos de una ballena gris a 2,891 m de profundidad cubiertos por una carpeta de diminutos organismos. Estos organismos fueron descritos más tarde como un nuevo género de gusanos: *Osedax* (*O. rubiplumus*) (Rouse *et al.* 2004). *Osedax* también es un siboglínido.

Osedax es un género de gusanos osteófagos diminutos que se alimentan de los esqueletos de las ballenas que se descomponen en las profundidades del océano, ayudando así a devolver al ecosistema la materia orgánica almacenada en los huesos (Fig. 7). A pesar de no poseer boca, ni tracto digestivo, ni trofosoma, estos gusanos poliquetos presentan un ovisaco posterior con un sistema vascularizado de raíces (Higgs *et al.* 2011). El interior del ovisaco, además de tener los ovarios, aloja

bacterias del orden Oceanospirillales, cuya característica principal es la degradación heterotrófica de compuestos orgánicos complejos retenidos en los huesos de la ballena, de manera que pueden absorberla fácilmente. El sistema de raíces penetra en los huesos de las ballenas y, con la ayuda de las bacterias, degradan los compuestos orgánicos (Tresguerres *et al.* 2013).

Los machos son pedomórficos; es decir, conservan rasgos larvales, son enanos y viven dentro del tubo de las hembras. Su única función es la reproducción, y cada hembra cuenta con unos 50-100 machos en el tubo construido por la hembra sobre el hueso de la ballena. De la región de estos tubos que da al exterior salen unos palpos plumosos muy coloridos que, a modo de branquias, realizan el intercambio de gases mientras que la otra parte que queda hacia el interior almacena las bacterias degradadoras en unas inusuales estructuras semejantes a raíces (Rouse *et al.* 2004; Maderspacher, 2015). El ovisaco, el sistema de raíces y la degradación heterótrofa son únicos entre los metazoos y de ahí la relevancia del gusano.

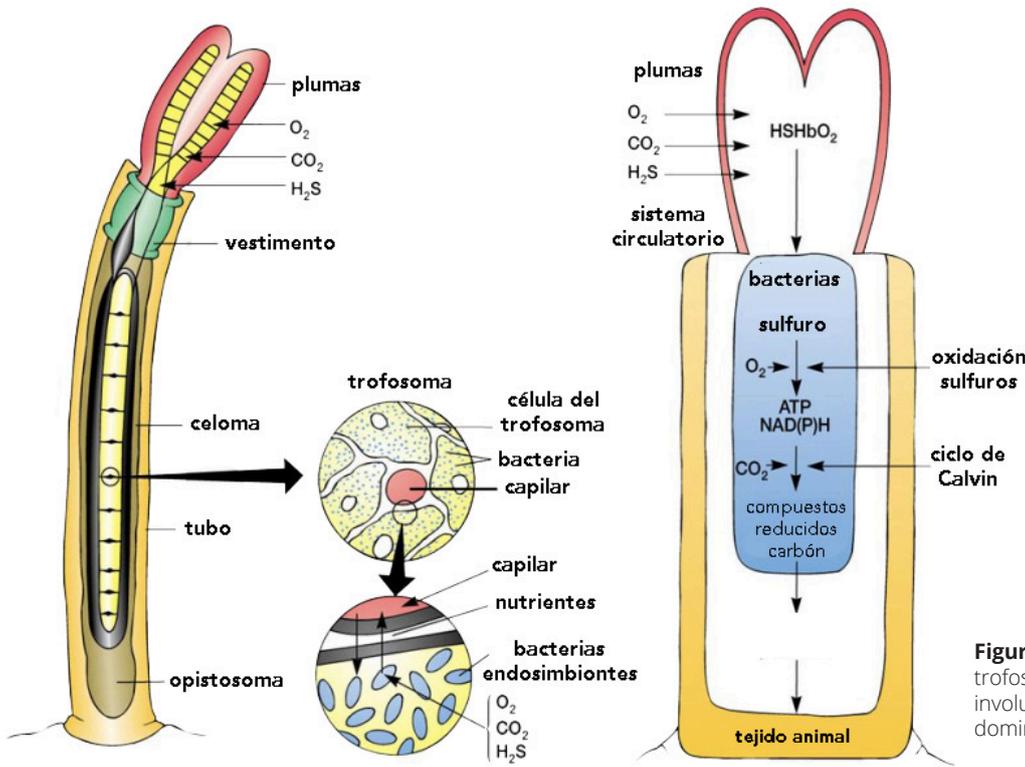


Figura 6. Esquema de la estructura del trofosoma y de los principales compuestos involucrados. (Tomada de Internet, dominio público).

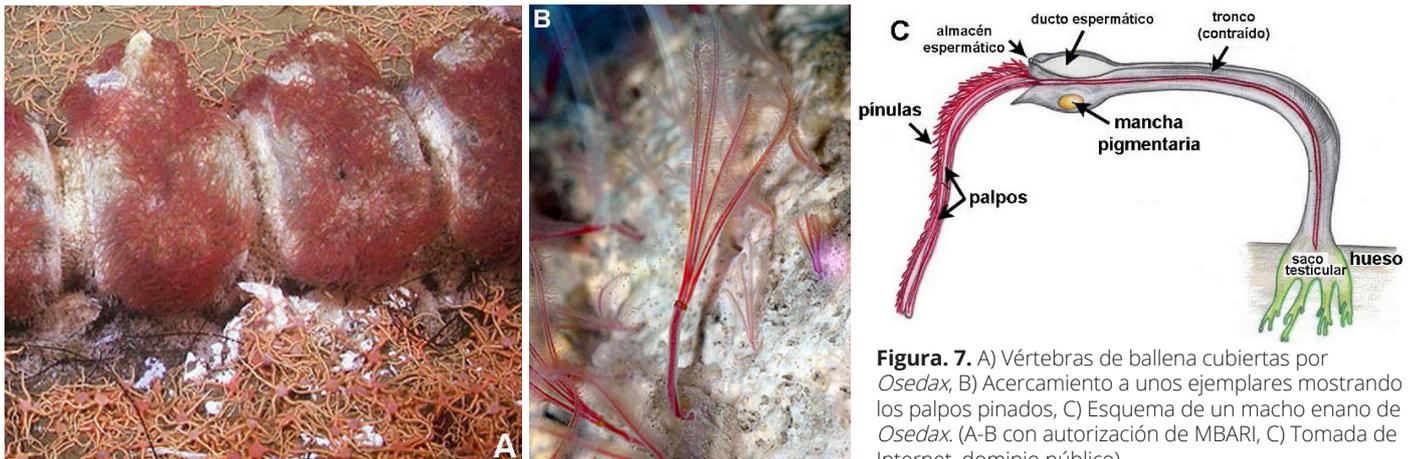


Figura 7. A) Vértebras de ballena cubiertas por *Osedax*, B) Acercamiento a unos ejemplares mostrando los palpos pinados, C) Esquema de un macho enano de *Osedax*. (A-B con autorización de MBARI, C) Tomada de Internet, dominio público).

El hallazgo de Robert Vrijenhoek fue la punta del iceberg, pues desde entonces se han descrito 27 especies de *Osedax* en varias partes del mundo, incluyendo la Antártida y tan al norte como los 73°N (Eilersten *et al.* 2020). *Osedax* también coloniza huesos de otros vertebrados como vacas (Jones *et al.* 2008), tortugas, peces, aves y otros mamíferos marinos (Rouse *et al.* 2018). En la era molecular en la que nos encontramos, *Osedax* es el único género de anélidos marinos en el que para todas las especies se han generado y registrado secuencias genéticas (Tovar-Hernández y Salazar-Vallejo, 2021).

A pesar de que el descubrimiento de *Osedax* es reciente, Danise y Higgs (2015) registraron su presencia en huesos de plesiosaurios y tortugas del Cretácico Temprano, hace unos 100 millones de años. Aunque los reptiles plesiosaurios se extinguieron en masa al término del Cretácico (66 millones de años), los quelónidos sobrevivieron y se diversificaron, por lo que pudieron ser la principal fuente de alimento de *Osedax* durante los 20 millones de años que precedieron a la radiación de los cetáceos, la principal fuente de alimento de *Osedax* en la actualidad. Lo anterior sugiere, además, que *Osedax* pudiera tener una habilidad generalista para colonizar diferentes sustratos de vertebrados, tales como peces o aves marinas.

¿ESTÁ *OSEDAX* EN AGUAS MEXICANAS?

No. Sin embargo, se han registrado en restos de ballena gris. La distribución de dichas ballenas abarca los mares de Okhotsk y Bering hasta el litoral occidental de la península de Baja California y el golfo de California (Mate *et al.* 2015). Además, siendo las lagunas costeras sus zonas de parto y crianza, es altamente probable que las especies de *Osedax* descubiertas en California (Estados Unidos) se extiendan a lo largo del Pacífico oriental tropical, incluyendo México.

¿LOS SIBOGLÍNIDOS SON LOS ÚNICOS GUSANOS OSMÓTROFOS?

No. Recientemente se reportó una especie indescrita del sabélido *Bispira* (familia Sabellidae) y otra del serpulido *Laminatubus* (familia Serpulidae) en una ventila hidrotermal de Costa Rica con una nutrición a base de metano (Goffredi *et al.* 2020). El hallazgo es relevante pues hasta hace poco se pensaba que todos los miembros de Sabellidae y Serpulidae eran suspensívoros (Jumars *et al.* 2015), ya que usan las estructuras de su corona radiolar para capturar partículas de alimento y dirigirlas hacia la boca. Las nuevas especies de *Bispira* y *Laminatubus* descubiertas en Costa Rica tienen una simbiosis nutricional con bacterias metanotróficas del orden de las Methylococcales que viven adheridas a los radiolos (Goffredi *et al.* 2020).

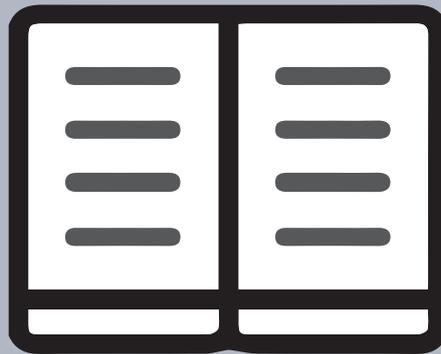
COLECCIONES

Siboglinidae está conformada por 32 géneros y 178 especies (Pamungkas *et al.* 2019). En México, solo tres colecciones cuentan con algunos ejemplares de siboglínidos: la Colección de Anélidos Poliquetos de México (DFE. IN. 061. 0598) del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM cuenta con ejemplares de *Riftia pachyptila* Jones, 1981, que fueron recolectados por la Dra. Vivianne Solís-Weiss en el marco de una expedición en el Alvin en 1998 en la cuenca de Guaymas. Un ejemplar de éstas muestras fue donado al Dr. Rolando Bastida-Zavala para fines de docencia y actualmente se encuentra depositado en la Colección de Invertebrados Marinos de la Universidad del Mar, en Puerto Ángel, Oaxaca (OAX-CC-249-11). Por su parte, la Colección Regional de Poliquetos, del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología con sede en Mazatlán (MAZ. POL. 078. 1198) tiene ejemplares de *R. pachyptila* y *Oasisia alvinae* recolectados por el Alvin en la dorsal oceánica del Pacífico Este, a una latitud de 21°N.

Paradójicamente, en colecciones de Estados Unidos hay más siboglínidos recolectados en México que en las colecciones nacionales. En la Colección de Invertebrados Bentónicos del SCRIPPS hay un importante número de ejemplares de *Polybrachia*, *Siboglinum*, *Oasisia* y *Riftia* del golfo de California (SCRIPPS Benthic Invertebrate Collection, 2020), así como en la Colección de Invertebrados del USNM para ejemplares del Pacífico mexicano y la parte mexicana del golfo de México (USNM Invertebrate Zoology Collections, 2020). Desafortunadamente no hay colegas mexicanos especializándose en la taxonomía de Siboglinidae, por lo que este vacío podría ser una buena oportunidad de estudio, especialización y trabajo para las futuras generaciones de poliquetólogos, que cada vez son menos pues la falta de oportunidades laborales en el país desanima a cualquiera.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Pablo Hernández-Alcántara y Michel Hendrickx del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (UNAM), y a Rolando Bastida-Zavala (Universidad del Mar) por la información proporcionada sobre las colecciones que manejan. Dos revisores anónimos emitieron recomendaciones que mejoraron la nota. Las imágenes de *Osedax* fueron utilizadas con la autorización de MBARI, a quien agradecemos su apoyo y colaboración.



LITERATURA CITADA

- Adegoke, O. S. 1967. Pogonophora from the northeastern Pacific: First records from the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Pacific Science*. 21: 188–192.
- Cavanaugh, C. M., S. L. Gardiner, M. L. Jones, H. W. Jannasch, J. B. Waterbury. 1981. Prokaryotic cells in the hydrothermal vent tube worm *Riftia pachyptila* Jones: Possible chemoautotrophic symbionts. *Science*. 213 (4505): 340–342. DOI: 10. 1126/science. 213. 4505. 340.
- Corliss, J. B., J. Dymond, L. I. Gordon, J. M. Edmon, R. P. von Herzen, R. D. Ballard, K. Green, D. Williams, A. Bainbridge, K. Crane, T. H. van Andel. 1979. Submarine thermal springs on the Galápagos Rift. *Science*. 203 (4385): 1073–1083.
- Danise, S., N. D. Higgs. 2015. Bone-eating *Osedax* worms lived on Mesozoic marine reptile deadfalls. *Biology Letters*. 11 (4): 20150072. doi:10. 1098/rsbl. 2015. 0072
- Desbruyères, D., M. Segonzac, M. Bright. 2006. Handbook of deep-sea hydrothermal vent fauna, 2nd edition. Biologiezentrum der Oberösterreichischen Landesmuseen, Linz, Austria, 1–544.
- Eilertsen, M. H., T. G. Dahlgren, H. T. Rapp. 2020. A new species of *Osedax* (Siboglinidae: Annelida) from colonization experiments in the Arctic deep sea. *Frontiers Marine Science*. 7 (443): 1–8.
- Georgieva, M. N., C. T. S. Little, J. S. Watson, M. A. Sephton, A. D. Ball, A. G. Glover. 2019. Identification of fossil worm tubes from Phanerozoic hydrothermal vents and cold seeps. *Journal of Systematic Palaeontology*. 17 (4): 287–329. DOI: 10. 1080/14772019. 2017. 1412362
- Goffredi, S. K., E. Tilic, S. W. Mullin, K. S. Dawson, A. Keller, R. W. Lee, F. Wu, L. A. Levin, G. W. Rouse, E. E. Cordes, V. J. Orphan. 2020. Methanotrophic bacterial symbionts fuel dense populations of deep-sea feather duster worms (Sabellida, Annelida) and extend the spatial influence of methane seepage. *Science Advances*. 6, eaay8562; DOI: 10. 1126/sciadv. aay8562
- Hartman, O. 1961. New Pogonophora from the Eastern Pacific Ocean. *Pacific Science*. 15: 542–546.
- Higgs, N. D., C. T. S. Little, A. G. Glover. 2011. Bones as biofuels: a review of whale bone composition with implications for deep-sea biology and paleoanthropology. *Proceedings of the Royal Society*. B 278: 9–17.
- Ivanov, A. V. 1957. Neue Pogonophora aus die nordwestlichen Teil des Stillen Ozeans. *Zoologische Jahrbücher Abteilung für Systematik, Geographie und Biologie der Tiere* 85: 431–500.
- Jones, M. L. 1981. *Riftia pachyptila*, new genus, new species, the vestimentiferan worm from the Galápagos Rift geothermal vents (Pogonophora). *Proceedings of the Biological Society of Washington*. 93: 1295–1313.
- Jones, W. J., S. B. Johnson, G. W. Rouse, R. C. Vrijenhoek. 2008. Marine worms (genus *Osedax*) colonize cow bones. *Proceedings of the Royal Society*. B 275 (1633): 387–391.
- Jumars, P. A., K. M. Dorgan, S. M. Lindsay. 2015. Diet of worms emended: an update of polychaete feeding guilds. *Annual Reviews Marine Science*. 7: 497–520.
- Kunzing, R. 2000. Mapping the Deep: The Extraordinary Story of Ocean Science. WW Norton & Company.
- Malakhov, V. V., S. V. Galkin. 2000. A synopsis of the vestimentiferan system. *Russian Journal of Marine Biology*. 26: 311–324. <https://doi.org/10.1007/BF02759472>
- Maderspacher, F. 2015. Evolution: They never come back, or do they? *Current Biology* 25 (2): R62, 3 pp.
- Mate, B. R., Y. V. Ilyashenko, A. L. Bradford, V. V. Vertyankin, G. A. Tsidulko, V. V. Rozhnov, L. M. Irvine. 2015. Critically endangered western gray whales migrate to the eastern North Pacific. *Biology Letters*. 11 (4): 20150071. doi:10. 1098/rsbl. 2015. 0071
- Pamungkas, J., C. J. Glasby, G. B. Read, S. P. Wilson, M. J. Costello. 2019. Progress and perspectives in the discovery of polychaete worms (Annelida) of the world. *Helgoland Marine Research*. 73, 4 <https://doi.org/10.1186/s10152-019-0524-z>
- Rouse, G. W., S. K. Goffredi, R. C. Vrijenhoek. 2004 *Osedax*: Bone-eating marine worms with dwarf males. *Science*. 305: 668–671.
- Rouse, G. W., S. K. Goffredi, S. B. Johnson, R. C. Vrijenhoek. 2018. An inordinate fondness for *Osedax* (Siboglinidae: Annelida): Fourteen new species of bone worms from California. *Zootaxa*. 4377: 451–489.
- SCRIPPS Benthic Invertebrate Collection, 2020. <https://sioapps.ucsd.edu/collections/bi/search?q=FK181031&page=1>
- Southward, E. C., J. K. Cutler. 1986. Discovery of Pogonophora in warm shallow waters of the Florida Shelf. *Marine Ecology Progress Series*. 28: 287–289.
- Thurber, A. R., S. Seabrook, R. M. Welsh. 2020. Riddles in the cold: Antarctic endemism and microbial succession impact methane cycling in the Southern Ocean. *Proceedings of the Royal Society B*. 287: 2020113420201134.
- Tresguerres, M., S. Katz, G. W. Rouse. 2013 How to get into bones: proton pump and carbonic anhydrase in *Osedax* boneworms. *Proceedings of the Royal Society B*. 280: 20130625, 9 pp.
- Tovar-Hernández, M. A., S. I. Salazar-Vallejo. 2021. Siboglinidae Caullery, 1914. En: *Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de América Tropical*. De León-González JA, JR Bastida-Zavala, LF Carrera-Parra, ME García-Garza, SI Salazar-Vallejo, V. Solís-Weiss & Tovar-Hernández MA (Eds). Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. pp. 835–854. En prensa.
- USNM Invertebrate Zoology Collections, 2020 <https://collections.nmnh.si.edu/search/iz/>

Figura 1. Sipúnculo del género *Siphonosoma*, recolectado por Uriel Jiménez en la bahía San Agustín, Bahías de Huatulco, Oaxaca, México. ©Rolando Bastida-Zavala



¿CACAHUATES EN EL MAR?

ANIMALES MARINOS

DE LOS QUE NADIE HABLA

ITZAHÍ SILVA-MORALES

RESUMEN

Los sipúnculos son gusanos marinos de los que se conoce muy poco, incluso por los mismos investigadores de la vida marina. Este trabajo tiene el objetivo principal de describir aspectos generales sobre su morfología, hábitat, alimentación, reproducción y su importancia ecológica y económica. Al final, se incluye un apartado sobre los estudios que se han realizado en México.

ABSTRACT

Sipunculans are poorly understood marine worms, even by marine life researchers. The main objective of this work is described general aspects of their morphology, habitat, feeding and reproduction, and their ecological and economic importance. A summary of studies conducted in Mexico is included.



Palabras clave: Arrecifes de coral, invertebrados marinos, México, sipúnculos, taxonomía.

Key words: Coral reefs, marine invertebrates, Mexico, sipunculans, taxonomy.

INTRODUCCIÓN

Las prácticas de campo forman una parte fundamental en el proceso de aprendizaje durante la carrera de Biología Marina. Los estudiantes aprendemos sobre las diferentes formas de vida que habitan en el océano. Es normal que algunos animales nos parezcan más llamativos que otros, ya sea por su gran tamaño o porque son más carismáticos dentro de la cultura popular, en los ámbitos de la literatura, el cine y la televisión en general. La experiencia de poder observar y aprender sobre majestuosas ballenas, coloridos peces arrecifales, extravagantes estrellas de mar y enigmáticas tortugas marinas es indescriptible; sin embargo, esos animales representan una ínfima parte de la diversidad que se puede encontrar en el mar.

Una de las delicias intelectuales que ofrece el estudio de esta carrera científica es tener la oportunidad de estudiar animales asombrosos y desconocidos para muchas personas, que pasan desapercibidos a simple vista, ya sea por su pequeño tamaño o por lo difícil de acceder a su hábitat. Un claro ejemplo son los sipúnculos, conocidos también como gusanos cacahuete. Pero ¿cómo es y dónde encuentro un sipúnculo? ¿qué comen y cómo se reproducen? ¿cuál es su función en el ecosistema? ¿tienen alguna importancia económica? Estas son, estimado lector, las preguntas que responderemos a lo largo de este texto.

MORFOLOGÍA

Los sipúnculos son gusanos que pueden ser tan pequeños que no rebasan el tamaño de una uña humana (desde 3 mm) hasta tener el largo de un antebrazo (hasta 40 cm) (Fig. 1). La mayoría de las especies miden entre uno y tres centímetros (Cutler 1994). Su cuerpo está dividido en dos partes; un tronco, que regularmente tiene forma cilíndrica y una

“trompa” mejor conocida como introverto, que es más delgada y puede retraerse. Estos gusanos tienen una inconfundible forma de moverse. Cuando el introverto se retrae, se enrolla dentro de sí mismo y queda adentro del tronco (Fig. 2), similar a lo que hacen las tortugas terrestres cuando esconden la cabeza. Este curioso movimiento les permite desplazarse, alimentarse y protegerse (Cutler, 1994). La forma que obtienen algunas especies cuando el introverto está retraído es parecida a un cacahuete, de ahí su nombre común. El significado del nombre Sipuncula es del griego *siphunculus* que significa “pequeño tubo”.

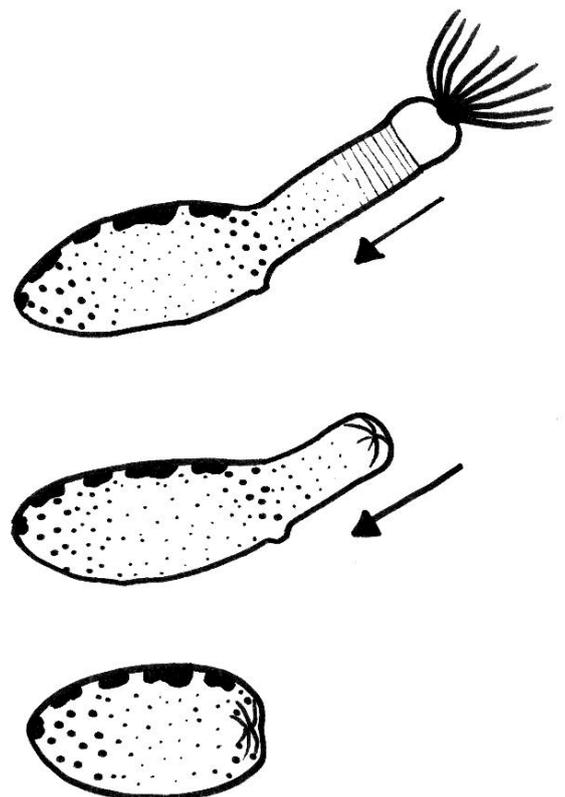


Figura 2. Movimiento de retracción del introverto.

Los sipúnculos tienen tentáculos muy llamativos (Fig. 3) que pueden estar reducidos en tamaño. Las principales estructuras que poseen en la piel son tres: papilas, ganchos y escudos (Brusca y Brusca, 2005). Las papilas son pequeñas protuberancias que se distribuyen a lo largo de todo el cuerpo y varían en su distribución, color, forma y tamaño, dependiendo de la especie (Fig. 4). Los ganchos son estructuras microscópicas que aparentemente son utilizados para raspar su alimento de las rocas (Cutler, 1994). A simple vista se pueden observar ordenados en líneas en el introvertido (Fig. 5), aunque también pueden estar dispersos. Si los ganchos son observados en un microscopio, se puede notar la variedad de formas que existen entre las diferentes especies (Fig. 6-7). Por último, algunos sipúnculos tienen una o dos regiones endurecidas que se conocen como escudos (Fig. 8) que son utilizados para protección como un tapón que ocluye la entrada a las galerías que forman (Cutler, 1994).

HÁBITAT

Son difíciles de encontrar a simple vista, debido a que algunos sipúnculos habitan en el fango o en la arena de las playas, pero la mayoría de las especies vive debajo de rocas, dentro del coral muerto, en las conchas de algunos moluscos o hasta en tubos de otros gusanos marinos (Murina, 1984; Cutler, 1994; Schulze, 2005; Kedra y Murina, 2007; Adrianov y Maiorova, 2010). Algunos simplemente ocupan galerías o conchas vacías, mientras que otros tienen la capacidad de secretar sustancias acidificantes que degradan el material rocoso para crear nuevas cavidades (Rice y MacIntyre, 1972).

Los sipúnculos tienen limitaciones fisiológicas que no les permiten sobrevivir en ambientes con baja salinidad, como en las lagunas costeras, por lo que se considera que son de animales exclusivamente marinos (Cutler, 1994). Se sabe que pueden habitar playas fangosas,



Figura 3. Tentáculos de un sipúnculo, vistos desde arriba.

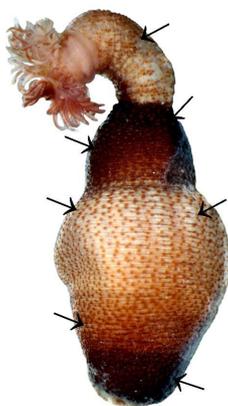


Figura 4. Sipúnculo de la especie *Antillesoma antillarum*. Las flechas señalan las papilas.

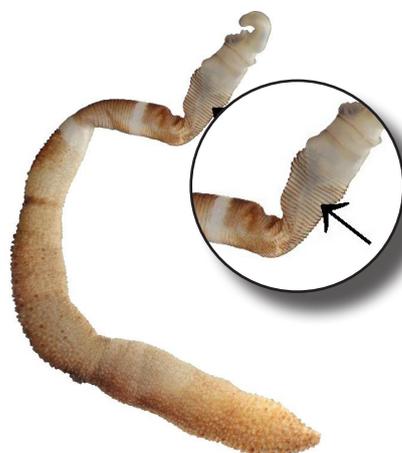


Figura 5. Sipúnculo de la especie *Phascolosoma (Phascolosoma) varians*, las flechas señalan las hileras de ganchos.



Figura 6. Gancho extraído de un sipúnculo del género *Phascolosoma*, observado a través de un microscopio compuesto.

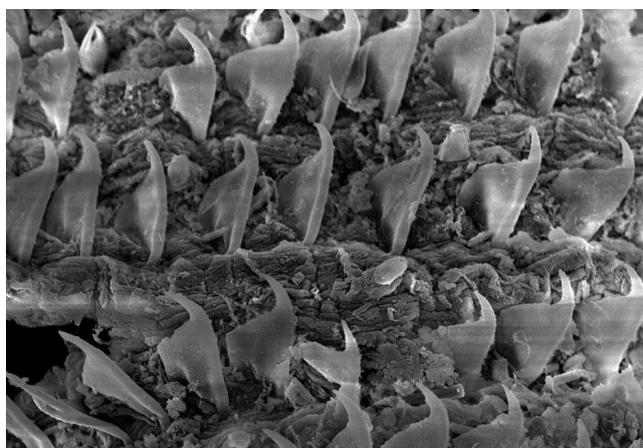


Figura 7. Hileras de ganchos de un sipúnculo del género *Aspidosiphon*, fotografía tomada con un Microscopio Electrónico de Barrido ©Luis F. Carrera-Parra.



Figura 8. Sipúnculo de la especie *Aspidosiphon (Paraspidosiphon) steenstrupii* dentro de una roca coralina, las flechas señalan los escudos.

arenosas o rocosas, desde la zona donde rompen las olas hasta profundidades de 4,000 metros (Murina, 1984). La mayoría de las especies viven en las aguas cálidas del trópico, pero también se han encontrado en las aguas frías del Ártico (Kedra *et al.*, 2017).

(Cutler, 1994). Esto significa que pueden formar un nuevo gusano a partir de la partición de su propio cuerpo (Fig. 11). Otras pocas especies son hermafroditas, que quiere decir que son machos y hembras al mismo tiempo.

ALIMENTACIÓN

Existen tres formas en las que los sipúnculos pueden obtener los nutrientes necesarios para su desarrollo. En primer lugar, pueden filtrarlos directamente del agua, a través de sus tentáculos (Pilger, 1982). Otros ingieren arena para digerir los nutrientes que van adheridos a las partículas del sedimento (Edmonds, 1962). Por último, las especies con ganchos pueden raspar algas de las rocas o atrapar pequeños animales marinos como crustáceos u otros gusanos (Cutler, 1994).

REPRODUCCIÓN

Es difícil distinguir entre un sipúnculo macho de una hembra, por eso se dice que no tienen dimorfismo sexual (Rice, 1975). Para reproducirse, los gusanos liberan sus gametos en el mar. Cuando el espermatozoides y los óvulos de los sipúnculos se unen, pueden ocurrir cuatro eventos diferentes dependiendo de la especie (Fig. 9): I) El huevo formado de la unión de los gametos se desarrolla directamente en un pequeño sipúnculo adulto; II) el huevo se desarrolla en una larva llamada trocófora y después de una metamorfosis, se convierte en un gusano adulto; III) el huevo se convierte en larva trocófora y en una primera metamorfosis, se convierte en una segunda larva, llamada pelagósfera (Fig. 10), en una segunda metamorfosis, la larva pelagósfera se convierte en un gusano adulto; la pelagósfera es una larva exclusiva de los sipúnculos, ya que ningún otro animal la desarrolla; esta larva puede sobrevivir sólo algunos días en la columna de agua; IV) en algunas especies el proceso es parecido al caso anterior, la diferencia es que la larva pelagósfera puede sobrevivir desde algunas semanas hasta varios meses (Boyle y Rice, 2014).

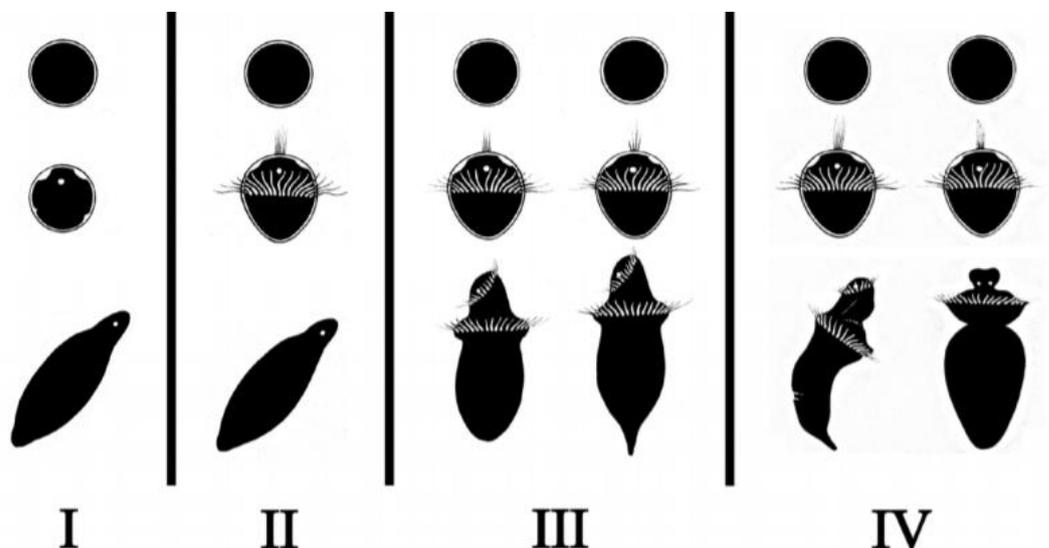
Existe un par de especies de sipúnculos que no necesitan combinar sus gametos para crear un nuevo individuo, en cambio, tienen la capacidad de reproducirse asexualmente



Figura 10. Fotografía de una larva pelagósfera, exclusiva de los sipúnculos. ©Álvaro Migotto.

Figura 11. Sipúnculo del género *Aspidosiphon* en proceso de reproducción asexual, las flechas señalan el nuevo individuo que se está formando.

Figura 9. Los cuatro tipos de desarrollo de los sipúnculos. Tomado de Boyle y Rice (2014).



IMPORTANCIA ECOLÓGICA Y ECONÓMICA

Los sipúnculos también son fuente de alimento para otros animales, principalmente para peces (Kohn, 1975). Asimismo, por medio de su actividad erosinadora, pueden participar en la regulación del crecimiento arrecifal (Kedra y Wiodarska-Kowallczuk, 2008).

Otras especies de sipúnculos son bien conocidas en las regiones costeras de China, por ser un alimento común entre la población (Fig. 12), y al mismo tiempo es ofrecido como un platillo exótico para los extranjeros (Ha *et al.*, 2007; Du *et al.*, 2009). Asimismo, en Portugal y España son extraídos de su hábitat natural para utilizarse como carnada en la pesca (Fig. 13), donde son conocidos como "titas" o "bibis" (Núñez *et al.*, 2011). Los pescadores reconocen que es uno de los mejores cebos para la pesca, debido a la dura piel y a la resistencia contra peces pequeños. Por otra parte, científicos de China descubrieron que las proteínas de una especie de sipúnculo son potencialmente útiles en el tratamiento de la hipertensión humana (Guo *et al.*, 2017).

EL ESTUDIO DE LOS SIPÚNCULOS EN MÉXICO

Existen alrededor de 160 especies en el mundo. Los estudios que se han realizado en México son escasos y están enfocados en poquísimas regiones del país. Por ejemplo, en la península de Baja California se encontraron 12 especies (Fisher, 1952). Particularmente en un par de cuencas sublitorales del golfo de California,

un grupo de investigadores encontraron ocho especies y analizaron la presencia de sipúnculos y su relación con algunos parámetros como salinidad, profundidad, temperatura, pH y el tipo de sedimento (Hermoso-Salazar *et al.*, 2013). Por otro lado, en la costa occidental de Baja California, los investigadores estudiaron cuáles eran los organismos, entre ellos dos especies de sipúnculos, que viven en la laguna Guerrero Negro, perteneciente a la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno (Morales-Zarate *et al.* 2016); con ese trabajo se pudo generar un inventario de especies marinas que ayudaría en la construcción del plan de manejo de la reserva.

Recientemente, en la costa central del Pacífico mexicano, se descubrieron cuatro nuevas especies de sipúnculos para la Ciencia, es decir, se encontraron gusanos cacahuete que hasta ahora nadie había nombrado (Gómez-Vásquez y Silva-Morales *in prep*). Asimismo, en el Pacífico sur de México, en las costas de Guerrero, Oaxaca y Chiapas, nadie había intentado averiguar qué especies de sipúnculos existían en la zona, no existía un solo registro. El primer trabajo sobre sipúnculos en esta región fue la descripción de una nueva especie utilizando morfología y datos moleculares (Silva-Morales *et al.*, 2019). En otro artículo científico que está a punto de publicarse, se registran las especies que viven en esas costas, además de describirse otras dos nuevas especies (Silva-Morales y Gómez-Vásquez en prensa). En la costa del Atlántico mexicano también se han realizado estudios sobre sipúnculos. Por mencionar algunos, en la península de Yucatán se encontraron 13 especies (Frontana-Uribe *et al.*, 2018) y está por enviarse a publicar el reporte de nuevas especies en la zona.



Figura 12. Platillo de sipúnculos, ofrecido en un restaurante chino. ©Chun.

Los sipúnculos se estudian poco debido probablemente al escaso número de especies que existen y la mayoría de los especialistas se enfocan en estudiar especies más carismáticas. Sin embargo, existe un gran potencial para descubrir cosas nuevas dentro del grupo. Aunque su monofilia está confirmada, las relaciones dentro el grupo aún distan de ser aclaradas completamente, además la subestimación de su diversidad poco a poco está despejándose.

Como comentario personal, desde mi formación como Bióloga Marina egresada de la Universidad del Mar, me he dedicado a realizar estudios sobre los sipúnculos, la oportunidad de trabajar con animales que nadie había estudiado en mi área de estudio fue una de las principales motivaciones. Empecé estudiando el área del Pacífico sur de México. Posteriormente, en la Maestría en Ciencias de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) me dediqué a estudiar a los gusanos cacahuete de la región del Gran Caribe (que abarca desde el norte de Florida, hasta el norte de Brasil). En general, mis estudios se centran en los aspectos taxonómicos de este grupo de animales marinos. La taxonomía “determina el ordenamiento de los organismos mediante características naturales que indican una historia evolutiva compartida. Para conseguirlo, la taxonomía descansa en la nomenclatura binominal y en una serie de códigos que garantizan el uso universal de los nombres de las especies” (Salazar-Vallejo y González, 2016). Es decir, mi trabajo consiste en recolectar sipúnculos o solicitarlos a colegas nacionales o extranjeros, siempre con el apoyo de mis asesores, investigadores especialistas en taxonomía. Una vez que tengo a los gusanos en mi laboratorio, reviso y analizo cientos de ellos. Averiguo la identidad de los sipúnculos, es emocionante saber cuál es su nombre. Me enfoco en estudiar cómo son anatómicamente y cómo se pueden diferenciar de otras especies. A veces he complementado estos estudios al analizar algunos genes, mediante el uso de técnicas moleculares. Cuando encuentro gusanos que nadie había registrado antes, los inspecciono detalladamente y describo nuevas especies. El último paso consiste en preparar un artículo que será evaluado por otros investigadores para publicarse en una revista científica. Asimismo, me he encontrado con nombres que se les han asignado erróneamente a algunos sipúnculos, por lo que, corregir estas situaciones también es una de las tareas que realizo como taxónoma

en formación, basándome en el Código Internacional de Nomenclatura Zoológica (ICZN).

El objetivo de estudiar sipúnculos desde una perspectiva taxonómica nos permite saber cuántas y cuáles especies están presentes en México, una tarea que está lejos de poderse concluir en las costas de nuestro país. Como en muchas partes del mundo, en México aún existen regiones donde no se ha explorado la presencia de sipúnculos, por lo que el potencial de encontrar especies nuevas es elevado. Tampoco nos hemos asomado a explorar el mar profundo. La cantidad de trabajo que aún está pendiente en el campo de la taxonomía de éstos, y otros invertebrados marinos, es enorme.

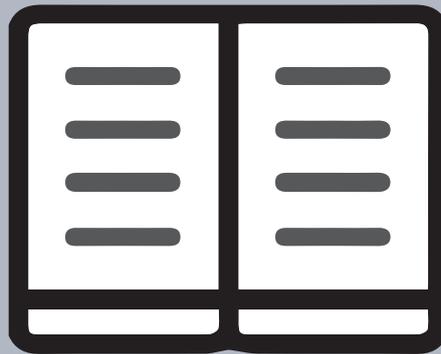
Conocer las especies de sipúnculos que habitan en las costas de nuestro país es el primer paso y la pieza fundamental para el desarrollo de otras áreas de la Ciencia, pues significa sentar las bases del conocimiento para estudios de otras disciplinas. Un mayor interés en estos gusanos marinos permitirá explorar el uso potencial de los sipúnculos en la fabricación de medicamentos u otras sustancias de utilidad para el hombre; asimismo, se deben estudiar como un recurso natural cuyo manejo y explotación sean sustentables. Practicar la taxonomía no es nada fácil, estudiar a los sipúnculos tampoco, pero esta tarea me ha dejado múltiples satisfacciones y, sobre todo, el deseo de continuar descubriendo novedades de estos animales tan maravillosos, pero tan ignorados, hasta por los mismos biólogos marinos.

AGRADECIMIENTOS

Gracias al Dr. Rolando Bastida-Zavala por sus sugerencias para mejorar este escrito, además, gracias por sugerirme el camino del estudio de los sipúnculos, sin duda alguna, dedicarme a estudiarlos me ha llenado de múltiples satisfacciones. Gracias al Dr. Luis Fernando Carrera-Parra por seguir dirigiendo mi investigación en el campo de la taxonomía y apoyarme en el deseo de continuar trabajando con estos maravillosos animales. Gracias a los M. en C. Gerardo Flores-Taboada y M. en C. Christopher Cruz-Gómez por sus sugerencias y comentarios para mejorar este escrito. Gracias a la M. en C. Sarita Claudia Frontana Uribe, por sus acertadas sugerencias y correcciones para mejorar este artículo.



Figura 13. Sipúnculo insertado en anzuelo, preparado para la pesca. ©videosdepesca.



LITERATURA CITADA

- Adrianov, A.V. & A.S. Mairova. 2010. Reproduction and development of common species of peanut worms (Sipuncula) from the Sea of Japan. *Russian Journal of Marine Biology*. 36: 1-15.
- Boyle, M.J. & M.E. Rice. 2014. Sipuncula: an emerging model of spiralian development and evolution. *The International Journal of developmental biology*. 58: 485-499.
- Brusca, R.C. & G.J. Brusca. 2005. *Invertebrados*. McGraw-Hill/ Interamericana de España, Madrid, 1005 pp.
- Cutler, E.B. 1994. *The Sipuncula. Their systematics, biology and evolution*. Cornell University Press, Ithaca, Nueva York, 453 pp.
- Du, X.D., Z.A. Chen, Y.W. Deng & Q.H. Wang. 2009. Comparative analysis of genetic diversity and population structure of *Sipunculus nudus* as revealed by mitochondrial COI sequences. *Biochemical Genetics*. 47: 884-89.
- Edmonds, S.J. 1962. Some notes on the abundance, environment, and nutrition of *Sipunculus nudus* L. (Sipunculoidea) at Morgat, Brittany. *Cahiers de Biologie Marine*. 3: 183-190.
- Fisher, W.K. 1952. The sipunculid worms of California and Baja California. *Proceedings of the United States National Museum*. 102: 371-450.
- Frontana-Uribe, S.C., M. Hermoso-Salazar & V. Solís-Weiss. 2018. *Sipunculans from intertidal and lower subtidal coralline substrates of the Mexican Caribbean Sea*. Pp. 169-185. En: Boyle, M.J., G.Y. Kawachi (Eds.) Proceedings of the Second International Symposium on the Biology of the Sipuncula, 245 pp.
- Gómez-Vásquez J.D. & I. Silva-Morales (in prep). New records of sipunculans (Sipuncula) from the central and northwestern Mexican Pacific, with descriptions of four new species.
- Guo, M., X. Chen, Y. Wu, L. Zhang, W. Huang, Y. Yuan & D. Wei. 2017. Angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides from *Sipuncula (Phascolosoma esculenta)*: Purification, identification, molecular docking, and antihypertensive effects on spontaneously hypertensive rats. *Process Biochemistry*. 63: 84-95.
- Ha, N.T.T., M.T. Nhuan, N.T. Ngoc & H.T. Dung. 2007. The distribution of peanut-worm (*Sipunculus nudus*) in relation with geo-environmental characteristics. *VNU Journal of Sciences, Earth Science*. 23: 110-11.
- Hermoso-Salazar, M., S. Frontana-Uribe, V. Solís-Weiss, V.R.M. Prol-Ledesma & A. Estradas-Romero. 2013. The occurrence of Sipuncula in the Wagner and Consag Basins, northern Gulf of California. *Cahiers de Biologie Marine*. 54: 325-334.
- Kedra, M. & G.-V.V. Murina. 2007. The sipunculan fauna of Svalbard. *Polar Research*. 26: 37-47.
- Kedra, M. & M. Wiodarska-Kowalczyk. 2008. Distribution and diversity of sipunculan fauna in high Arctic fjords (West Svalbard). *Polar Biology*. 31: 1181-1190.
- Kedra, M., J.M. Grebmeier & L.W. Cooper. 2017. Sipunculan fauna in the Pacific Arctic region: a significant component of benthic infaunal communities. *Polar Biology*. 41(1): 163-174.
- Kohn, A.J. 1975. *Predation on Sipunculans*. Pp. 313-333. En: Rice, M.E. y Rodorović, M. (Eds.). Proceedings of the International Symposium on the Biology of the Sipuncula and Echiura, Belgrade.
- Morales-Zarate, M.V., A. Zayas-Álvarez, C.A. Salinas-Zavala & A. Mejía-Rebollo. 2016. Biocenosis de la comunidad bentónica en la Laguna Guerrero Negro, Baja California Sur, México: caracterización espacio-temporal. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(4): 726-741.
- Murina, V.V. 1984. Ecology of Sipuncula. *Marine Ecology Progress Series*. 17: 1-7.
- Núñez, J., L. Núñez & Y. Maggio. 2011. *Invertebrados que se comercializan en Canarias como cebo vivo para la pesca deportiva*. Consejería de Política Territorial y Medio Ambiente del Gobierno de Canarias, 40 pp.
- Pilger, J.F. 1982. Ultrastructure of the tentacles of *Themiste lageniformis* (Sipuncula). *Zoomorphology*. 100(2): 143-156.
- Rice, M.E. 1975. *Sipuncula*. Pp. 67-127. En: Giese, A.C. y Pearse, J.S. (Eds). Reproduction of marine invertebrates. Nueva York: Academic Press.
- Rice, M.E. & I.G. MacIntyre. 1972. A preliminary study of sipunculan burrows in rock thin sections. *Caribbean Journal of Science*. 12(1-2): 41-44.
- Salazar-Vallejo, S.I. & N.E. González. 2016. Crisis múltiples en taxonomía, implicaciones para la biodiversidad y recomendaciones para mejorar la situación. *Códice*. 29: 28-56.
- Schulze, A. 2005. Sipuncula (peanut worms) from Bocas del Toro, Panamá. *Caribbean Journal of Science*. 41: 523-527.
- Silva-Morales, I. & J.D. Gómez-Vásquez (en prensa). *First records and new species of sipunculans (Sipuncula) from the Southern Mexican Pacific*.
- Silva-Morales, I., M.J. López-Aquino, V. Islas-Villanueva, J.R. Bastida-Zavala & F. Ruiz-Escobar. 2019. Morphological and molecular differences between the amphiamerican populations of *Antillesoma* (Stephen & Edmonds, 1972) (Sipuncula: Antillesomatidae), with the description of a new species. *Revista de Biología Tropical*. 67(S5): 101-109. <https://doi.org/10.15517/RBT.V67I55.38934>

FIBROSARCOMA SUBCUTÁNEO EN UNA SERPIENTE DE CASCABEL DE ROCA TAMAULIPECA (CROTALUS MORULUS) EN CAUTIVERIO



DAVID LAZCANO¹, KATYA ORTIZ-MORALES¹, ARMANDO TREJO-CHÁVEZ², JUAN ANTONIO GARCÍA-SALAS³, LYDIA ALLISON FUCSKO⁴, Y LARRY DAVID WILSON⁵

¹ Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Herpetología, Apartado Postal-157, San Nicolás de los Garza, C.P. 66450, Nuevo León, México.

² Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Patología, Calle Francisco Villa s/n, Ex-Hacienda El Canadá, Escobedo, 66050, Nuevo León, México.

³ Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Ornitología, Ciudad Universitaria s/n, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, C.P. 66450, México.

⁴ Department of Humanities and Social Sciences, Swinburne University of Technology, Melbourne, Victoria, Australia.

⁵ Centro Zamorano de Biodiversidad, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Departamento de Francisco Morazán, Honduras; 1350 Pelican Court, Homestead, Florida 33035-1031, USA.

RESUMEN:

Un espécimen macho de cascabel de la montaña (*Crotalus morulus*) con más de 20 años en cautiverio se presenta a consulta por la presencia de una masa de aspecto tumoral en la parte media dorsal del cuerpo. El único signo clínico que presentó fue anorexia, ya que no mostraba cambios significativos en su actividad ni condición corporal. Se llevó a cabo la cirugía de resección tumoral como tratamiento de elección y la masa pudo ser retirada completamente en una pieza y enviada para su estudio histopatológico. Lamentablemente, el paciente falleció 16 días después de la cirugía. No se realizó necropsia. Al estudio de laboratorio con las tinciones de hematoxilina y eosina así como tinción tricrómica de Masson se encontró anisocitosis y anisocariosis con células fusiformes y poligonales en fascículos irregulares, entremezcladas con fibras de colágena; el índice mitótico era marcado, con 2 a 3 nucléolos por núcleo, y fue notable la presencia de numerosas mitosis atípicas. También había presencia de numerosos vasos sanguíneos y escasas células inflamatorias. Se diagnosticó fibrosarcoma subcutáneo con alto riesgo de metástasis. Mediante el presente reporte de caso, se pretende aportar información que permita el estudio de los procesos oncológicos en ofidios en cautiverio.

SUMMARY

A male Tamaulipan rock rattlesnake (*Crotalus morulus*) that had been in captivity for more than 20 years was presented for a medical check, because it showed a tumor-like mass on the dorsal half of the body. The only clinical sign was anorexia; it showed no significant changes in its activity or body condition. We carried out surgery by extracting the tumor as a treatment of choice and the mass was completely removed in one piece and sent for histopathological studies. Unfortunately, the patient died 16 days after surgery. A necropsy was not performed. The laboratory study with hematoxylin and eosin staining, as well as Masson trichrome staining, showed anisocytosis and anisokaryosis with polygonal and fusiform cells in irregular fascicles, interspersed with collagen fibers; the mitotic index was marked, with 2 to 3 nucleoli per nucleus, and the presence of numerous atypical mitoses was noticed. There were also the presence of numerous blood vessels and a few inflammatory cells. The diagnosis was established as a subcutaneous fibrosarcoma with a high risk of metastasis.



PALABRAS CLAVES:

Fibrosarcoma subcutáneo, *Crotalus morulus*, Nuevo León

KEY WORDS: Subcutaneous fibrosarcoma, *Crotalus morulus*, Nuevo Leon



Figura 1. Área con unidades experimental donde se alojan las cascabeles de montaña.

INTRODUCCIÓN

Dentro del estudio de las neoplasias en las diferentes especies animales, los reptiles eran un grupo al que no se le había proporcionado la suficiente atención hasta hace algunos años, contando al principio con pocos casos documentados ya sea de manera individual así como estudios grupales en colecciones zoológicas recopilados en un lapso de tiempo determinado (Ratcliffe, 1943; Efron et al., 1977; Hubbard et al., 1983; McNulty and Hoffman, 1995; Ramsay et al., 1996; Catão-Dias and Nichols, 1999; Page-Karjian et al., 2017). Conforme ha pasado el tiempo, las condiciones de pérdida de biodiversidad, así como la alza en la popularidad de este grupo como animales de exhibición y compañía ha obligado a las diferentes ramas profesionales del estudio de la conservación a mejorar las condiciones de vida de los ejemplares en cautiverio, así como a actualizar a la rama de la medicina veterinaria en el conocimiento de las diferentes patologías que pueden llegar a afectar a estos ejemplares para lograr un diagnóstico rápido y preciso, y consecuentemente un tratamiento adecuado. A raíz de esto, particularmente en el caso de las neoplasias y de los ofidios, el número de casos individuales reportados se ha incrementado (Jacobson et al., 1980; Jacobson, 1984; Jiménez et al., 2006; Orós et al., 2009; Gumber et al., 2010; Santos et al., 2015; Dietz et al., 2016), los cuales son de gran importancia para determinar la prevalencia, signología y particularidades de cada tipo de tumor en las diferentes especies que integran esta familia; sin embargo, es necesaria una mayor documentación sobre la presencia de los diferentes tipos de tumores ya que la información que se ha logrado

obtener es insuficiente para determinar con precisión las causas etiológicas que propician su aparición.

Los fibrosarcomas son masas tumorales malignas que se presentan en tejidos blandos, con una alta tasa metastásica los cuales son definidos por la OMS (Organización Mundial de la Salud) como caracterizados por la presencia de haces entrelazados de fibras colágenas y por la ausencia de otros tipos de estructuras histológicas, tales como hueso y cartílago (Hendrick et al., 2016). No se conocen las causas exactas por las cuales se presentan neoplasias en ofidios, sin embargo, distintos autores señalan varias posibles etiologías, entre las que se sospechan factores genéticos, hormonales, virales, radiación e incluso cadmio (Orós et al., 2009; Keck et al., 2011; Cardona et al., 2011; Christman et al., 2017). También es señalado que la edad puede ser un factor clave en la aparición de neoplasias (Salinas et al., 2013), ya que a raíz de una mejora en las condiciones de manejo, la esperanza de vida de los ejemplares se alarga; siendo ésta una causa probable en el aumento de casos reportados a través de los años (Skyles and Trupkiewicz, 2006; Gumber et al., 2010; Santos et al., 2015; Christman et al., 2017). En ofidios, los casos registrados de fibrosarcoma han sido pocos comparados con tumores de otra índole, sin embargo, se han observado en todos los grupos de esta familia, los cuales incluyen boidos, colúbridos, elápidos y vipéridos (Garner et al., 2004; Skyles and Trupkiewicz, 2006; Orós et al., 2009; Gumber et al., 2010; Santos et al., 2015; Christman et al., 2017); ésta última siendo la familia a la cual pertenece el ejemplar del presente estudio. El aumento en el número de casos registrados y la alta

variedad de especies las cuales son afectadas hacen de esta patología una de suma importancia por lo cual es imperante el registro y análisis de más casos clínicos que nos puedan proporcionar más información acerca de los aspectos etiológicos y fisiopatológicos de esta enfermedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

EL PACIENTE

Se presenta a la consulta un ejemplar de cascabel de montaña (*Crotalus morulus*) macho adulto, con un peso de 0.194 kg mantenido en cautiverio por más de 20 años originario de la localidad de El Tejocote, municipio de Santiago, Nuevo León, México; con número de catálogo UANL-5597. El ejemplar era albergado en el Laboratorio de Herpetología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, en unidades experimentales con las siguientes medidas (90 X 68 X 37cm = 226.44 cm³), estaban hechos de madera, con una malla frontal y superior para una mejor ventilación (Figura 1). Su dieta consistía exclusivamente de ratón común (*Mus musculus*) con una frecuencia de 6 a 12 ratones por año. Se mantenía a una temperatura ambiental de 17°C a 21°C durante los meses de diciembre a marzo, lo cual lo considerábamos como un periodo de hibernación o en nuestro caso ayuno y de 22°C a 34°C durante los meses de marzo a noviembre. Se mantenía en un sustrato de corteza de pino, similar al que se encontraba en la localidad donde fue colectada. En cuanto a la humedad, esta fluctuaba entre 41-85%, por tal motivo reciben humedad en su unidad de experimentación 1 a 2 veces a la semana.

Se describe una masa de aspecto redondeado, compatible con lesión tumoral y con una evolución alrededor de 1 año 8 meses, la cual no fue tratada anteriormente debido a la

falta de conocimientos veterinarios por parte del personal a su cargo. Ésta masa era fácilmente perceptible a simple vista, en la zona dorsal de la parte media del cuerpo, la cual presentaba supuración moderada. (Figura 2) A la palpación se percibe un tejido de crecimiento anormal delimitado por aparente tejido de encapsulación. El único signo clínico que presentaba a la consulta era anorexia, ya que el ejemplar había disminuido considerablemente su apetito desde meses anteriores. No presentaba cambios en su actividad, ni cambios visibles en su condición corporal.

El ejemplar llegó al laboratorio el 15 de octubre de 1998, de la localidad Tejocote, Santiago, Nuevo León, los datos de longitud y peso se perdieron al llegar al laboratorio, pero si se llevó un registro de su alimentación, mudas anuales desde su llegar hasta su facimiento que fue el 17 de noviembre 2017. Su alimentación era variable a través de los años que iba desde 6 a 12 ratone consumidos, la tumoración se observó cuando el espécimen fue pesado (190 g) después de haber pasado por su periodo de hibernación que era desde diciembre 2016 hasta marzo del 2017, durante este año tuvo 3 alimentaciones positiva, hasta 11 de julio y después de 1 de agosto dejó de comer, ya presentaba el tumor agrandando, con algo de sagrado es su borde dorsales a través de las escamas, aquí se decidió hacer su consulta.

PROCEDIMIENTO QUIRÚRGICO

Una vez inducido el paciente en el plano anestésico deseado, se procedió a incidir piel y tejido subcutáneo, ya que la masa se encontraba en este plano y por encima del tejido muscular, para posteriormente proceder a la separación de la masa tumoral por debridación. Ésta pudo ser extraída completa, en un solo corte, notándose que presentaba una irrigación moderada. La herida quirúrgica fue cerrada por planos utilizando sutura sintética absorbible de 2 ceros con aguja atraumática, de la marca American Suture.



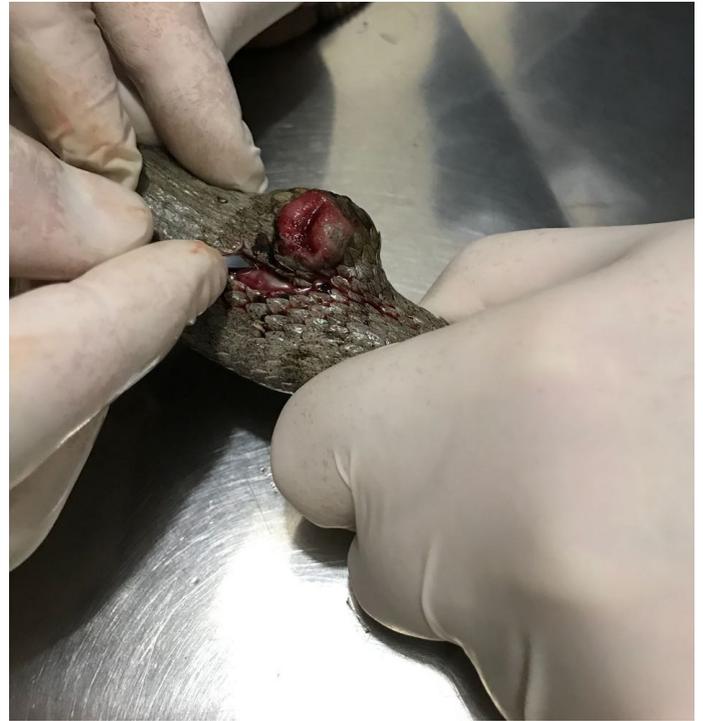
Figura 2. Ejemplar de Cascabel de la montaña (*Crotalus morulus*) macho de 20 años de edad, el cual presentaba una masa de aparente origen tumoral en la parte medial dorsal con supuración y sangrado.

MUESTREO

La masa tumoral fue extraída completa, tuvo un peso de 4 gramos, y sus dimensiones fueron 3.5 x 2 cm. (Figuras 3-4).

POSTOPERATORIA

El paciente comenzó a mostrar actividad motora cuatro horas después de la aplicación de la anestesia mencionada. Veinticuatro horas después de la cirugía, se observaron signos de hipotonía. Se decidió administrar solución Hartmann (Solución HT, laboratorio PiSA) (3 ml) por vía oral, utilizando una sonda metálica con el objetivo de ayudar a una más rápida eliminación del anestésico. A las 48 horas de la cirugía, el paciente mostró signos de recuperación, aunque se apreciaba una debilidad generalizada. La administración por vía oral de solución Hartmann continuó cada 24 horas, durante las siguientes dos semanas. El paciente recibió también antibiótico por vía intramuscular (Enrofloxacin 5 mg/kg) (Baytril, laboratorio Bayer) cada 72 horas, y dos aplicaciones de analgésico (Flunixin meglumine 0.1 mg/kg) (Flunixin Sanfer, laboratorio Sanfer) el primer y tercer día después de la cirugía. Desafortunadamente, el paciente falleció 16 días después de realizado el procedimiento quirúrgico. No se realizó necropsia posterior al fallecimiento del ejemplar.



DESCRIPCIÓN HISTOPATOLÓGICA MACROSCÓPICA

Al estudio de patología se recibió la neoplasia de flanco derecho que consistía en 1 pieza quirúrgica con las medidas de aproximadamente 4.5 centímetros de largo X 3.5 centímetros de ancho X 2.0 centímetros de grosor, de color blanco cremoso, consistencia suave, aspecto irregular, conformación irregular, superficie rugosa y al corte se apreciaba un patrón sólido.

DESCRIPCIÓN HISTOPATOLÓGICA MICROSCÓPICA

Al microscopio se observó una marcada proliferación de células fusiformes y otras poligonales, las cuales se encontraban arregladas en fascículos irregulares, entremezcladas con cantidades variables de fibras de colágena, las cuales presentaban un patrón verticilar. Muchas de estas células presentaban a nivel nuclear 2 a 3 nucléolos, el índice mitótico de los núcleos era marcado, así como la presencia de numerosas mitosis atípicas (2 por campo a 40X). Por otro lado, se apreció gran cantidad de células con diferentes tamaños y formas (anisocitosis), así como de cromatina (anisocariosis), además de numerosos vasos sanguíneos y escasas células inflamatorias (Figuras 5-6).

DIAGNOSTICO

Al estudio histopatológico se determinó que se trataba de un fibrosarcoma con un alto riesgo de metástasis, por lo cual se recomendó mantener al paciente bajo supervisión médica continua.



Figura 3. Masa tumoral después de su extracción. Se puede apreciar que ésta se encontraba poco irrigada, presentaba una consistencia suave y era de forma irregular. Las medidas de la masa fueron 3.5 x 2 cm y tuvo un peso de 4 gramos.

Figura 4. Masa tumoral conservada en formol después de su análisis histopatológico. Los resultados revelaron que se trataba de un fibrosarcoma subcutáneo con alto riesgo de metástasis.

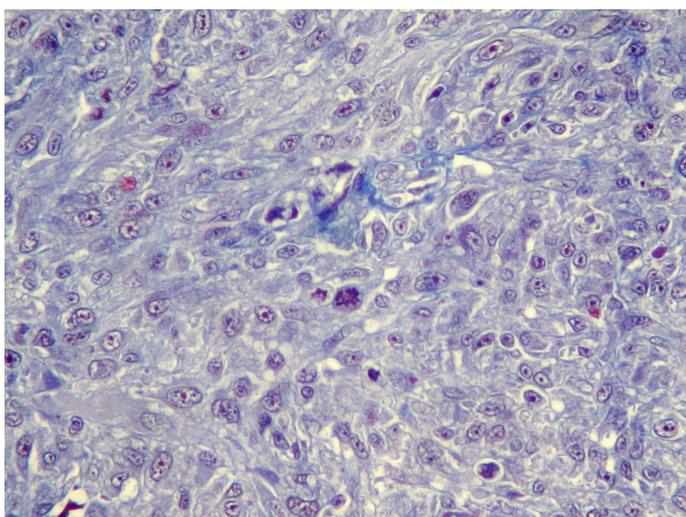
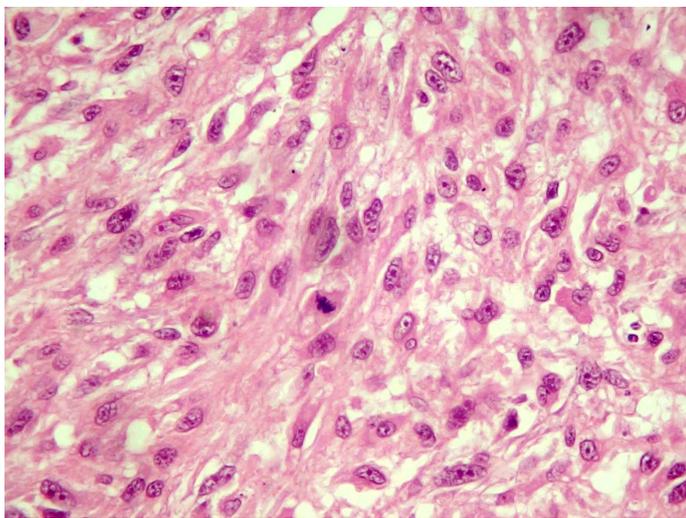


Figura 5. Estudio histopatológico microscópico de la masa tumoral con tinción de hematoxilina y eosina. Puede observarse una amplia variación entre los tamaños y formas de las células y los núcleos de éstas (anisocitosis y anisocariosis), así como una cantidad importante de fibras de colágena.

Figura 6. Estudio histopatológico microscópico de la masa tumoral con tinción tricrómica de Masson, en la cual se pueden apreciar con mayor detalle las fibras de colágena. Estas presentaban un patrón verticalar. También puede apreciarse un alto índice mitótico en los núcleos de las células.

DISCUSIÓN

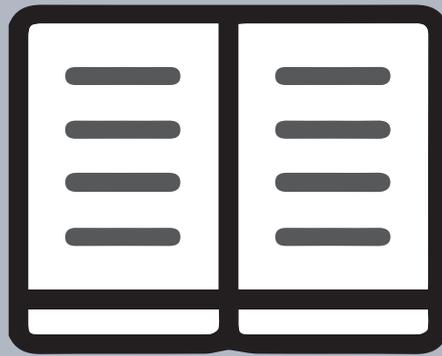
Como anteriormente se había mencionado, a la revisión de la literatura los casos de fibrosarcomas reportados en ofidios han sido variados entre especies (Ratcliffe, 1942; Effron et al., 1977; Hubbard et al., 1983; Jacobson, 1984; McNulty and Hoffman, 1995; Catão-Dias and Nichols, 1999; Skyes and Trupkiewicz, 2006; Orós et al., 2009; Gumber et al., 2010; Salinas et al., 2013; Santos et al., 2015; Dietz et al., 2016), y dentro de éstos, no se encontró registro de algún caso clínico descrito de manera individual en el grupo de las serpientes de cascabel (*Crotalus sp*) en México, sin embargo existen registros en este grupo reportados en una colección del zoológico de Atlanta (Page-Karjian et al., 2017). En

esta ocasión se decidió por la cirugía de resección de tumor como el tratamiento a elegir, sin embargo en la literatura se registra un caso de neoplasia en reptiles el cual se ha tratado de manera exitosa con quimioterapia intravenosa y radiación (Folland et al., 2011), así como también se han experimentado otras opciones de tratamiento como la electro-quimioterapia, la terapia de láser, crioterapia, y terapia fotodinámica (Ramsay et al., 1996; Christman et al., 2017); todas éstas opciones siendo normalmente utilizadas en mamíferos. Una particularidad del presente caso es la ausencia de signos clínicos a excepción de la disminución del apetito, característica que ha sido previamente observada en otros casos de fibrosarcoma en serpientes; sin embargo, en éstos también destaca la presencia de letargia y disminución de la movilidad (McNulty and Hoffman, 1995; Gumber et al., 2010; Santos et al., 2015). Los casos de fibrosarcomas descritos anteriormente no mencionan la presencia de supuración, sin embargo, se sugiere que ésta pudo deberse a la exposición de la zona donde se localizaba la neoplasia, siendo fácil el ingreso de microorganismos que pudieran provocar una infección oportunista al sufrir la piel alguna lesión externa. Los distintos diagnósticos diferenciales que deben ser considerados incluyen: procesos inflamatorios como abscesos, granulomas de distintas etiologías, deficiencias nutricionales como hipovitaminosis A, procesos degenerativos y trauma (Christman et al., 2017).

En los últimos años la tenencia de miembros de esta familia se ha popularizado, siendo estos ya considerados animales de compañía con un alto valor sentimental para sus propietarios; así como también representan un alto valor biológico en las colecciones zoológicas y privadas. Por lo tanto, ya que este caso apoya la evidencia acerca de la presencia de fibrosarcomas como una condición con alto riesgo de metástasis y, por consiguiente, la muerte; resulta importante su registro para el estudio de estos procesos en ofidios para poder conocer más sobre los factores predisponentes, la signología y su tratamiento para una correcta detección temprana; así como su prevención para reducir las tasas de incidencia y mortalidad.

Actualmente la colección de cascabeles de montaña aloja un total de 136 ejemplares con especies y sus números: *Crotalus aquilus* (16:4:12), *Crotalus lepidus lepidus* (4:1:3), *Crotalus lepidus klauberi* (26:26:6), *Crotalus morulus* (20:14:0) y *Crotalus willardi silus* (2:2:0), la relación es (machos: hembras: crías) lo cual es un gran reto su manejo y atención.

Nos gustaría agradecer a nuestros estudiantes por su apoyo en las labores de este laboratorio. La investigación y recolección se realizó bajo la autorización del permiso de investigación científica OFICIO/NUM/SGP/DGVS/011906/2017 expedidos a David Lazcano-Villarreal, mucho más reciente, pero hemos contamos con innumerables permisos de colecta científica a través de los años que iniciamos el trabajo en cautiverios con las cascabeles.



LITERATURA CITADA

- Barnes, L., J.W. Evenson, P. Reinchart, and D. Sindransky. 2005. World Health Organization Classification of Tumors. Lyon: IARC Press.
- Catão-Dias, J.L., and D.K. Nichols. 1999. Neoplasia in snakes at the National Zoological Park, Washington, D.C. (1978-1997). *Journal of Comparative Pathology* 120(1):89-95.
- Christman, J., M. Devau, H. Wilson-Robles, S. Hoppes, R. Rech, K.E. Russell, and J.J. Heatley. 2017. Oncology of reptiles: diseases, diagnosis, and treatment. *Veterinary Clinics: Exotic Animal Practice* 20(1):87-110.
- Cardona, J.A.C., K.J. Conley, J.F. Jr. Wellehan, L.L. Farina, F.C. Origgi, and H.L. Wamsley. 2011. Incomplete ovariosalpingectomy and subsequent malignant granulose cell tumor in a female green iguana (*Iguana iguana*). *Journal of the American Veterinary Medical Association* 239(2): 237-242.
- Dietz, J., K. O. Heckers, H. Aupperle and M. Pees. 2016. Cutaneous and Subcutaneous Soft Tissue Tumors in Snakes: A Retrospective Study of 33 Cases. *Journal Comparative Pathology*. 155:76-87.
- Effron, M, L. Griner, and K. Benirschke. 1977. Nature and Rate of Neoplasia Found in Captive Wild Mammals, Birds, and Reptiles at Necropsy, *Journal of the National Cancer Institute* 59(1):185-198.
- Folland, D.W., M.S. Johnston, D.H. Thamm, and D. Reavill. 2011. Diagnosis and management of lymphoma in a green iguana (*Iguana iguana*). *Journal of the American Veterinary Medical Association* 239(7): 985-991.
- Garner, M.M., S.M. Hernandez-Divers, and J.T. Raymond. 2004. Reptile neoplasia: a retrospective study of case submissions to a specialty diagnostic service. *The Veterinary Clinics of North America. Exotic Animal Practice* 7(3): 653-71.
- Gumber, S., J.G. Nevarez, and D.Y. Cho. 2010. Endocardial Fibrosarcoma in a Reticulated Python (*Python reticularis*). *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation* 22(6):1013-1016.
- Hubbard, G.B., R.E. Schmidt, and K.C. Fletcher. 1983. Neoplasia in zoo animals. *The Journal of Zoo Animal Medicine* 14(1): 33-40.
- Hendrick, M. 2017. Mesenchymal tumors of the skin and soft tissues (Pages: 142-175). In: Meuten D.J, ed. *Tumors of domestic animals*, 5th ed. Iowa, USA. Academic Press.
- Jacobson, E.R., J.C. Seely, and M.N. Novilla. 1980. Lymphosarcoma associated with virus-like intranuclear inclusions in a California king snake (Colubridae: *Lampropeltis*). *Journal of the National Cancer Institute* 65(3): 577-583.
- Jacobson, E.R. 1984. Chromomycosis and fibrosarcoma in a mangrove snake. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 185(11): 1428-1430.
- Jiménez, J, C. Juan-Sallés, L. Caballero, and C. Veciana. 2006. Lipoma Multicéntrico en una Serpiente del Maíz (*Elaphe guttata*). *Asociación de Veterinarios Españoles Especialistas en Pequeñas Especies* 26(2):167.
- Keck, M., D.M. Zimmerman, E.C. Ramsay, M. Douglass, and D.R. Reavill. 2011. Renal adenocarcinoma in cape coral snakes (*Aspidelaps lubricus lubricus*). *Journal of Herpetological Medicine and Surgery* 21(1): 5-9.
- McNulty, E., and R. Hoffman. 1995. Fibrosarcoma in a Corn Snake, *Elaphe guttata*. *Bulletin of the Association of Reptilian and Amphibian Veterinarians* 5(3):7-8.
- Orós, J, P. Monagas, M. Andrada, P. Calabuig, and J. Pether. 2009. Metastatic fibrosarcoma in a captive Saharan horned viper (*Cerastes cerastes*) with high hepatic levels of cadmium. *The Veterinary Record* 164(22): 690.
- Page-Karjian, A., M. Hahne, K. Leach, H., Murphy, B. Lock, and S. Rivera. 2017. Neoplasia in snakes at Zoo Atlanta During 1992-2012. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 48(2): 521-524.
- Ratcliffe, H. 1943. Neoplastic Disease of the Pancreas of Snakes (Serpentes). *The American Journal of Pathology* 19(2): 359-69.
- Ramsay, E.C., L. Munson, L. Lowenstine, and M.E. Fowler. 1996. A retrospective study of neoplasia in a collection of snakes. *Journal Zoo Wildlife Medicine* 27(1):28-34.
- Salinas, E.M., B.O. Arriaga, J.R. Lezama, A.M. Bernal, and S.J.L. Garrido. 2013. Oral fibrosarcoma in a black iguana (*Ctenosaura pectinata*). *Journal of Zoo Wildlife Medicine* 44(2):513-516.
- Santos, E, J. Silva, T. Machado, S. Dau, R. Rodríguez, and A. Motta. 2015. Oral fibrosarcoma in jararaca (*Bothrops pubescens*): anatomopathological and immunohistochemical aspects. *Pesquisa Veterinária Brasileira* 35(7): 664-670.
- Sykes, J.M., and J.G. Trupkiewicz. 2006. Reptile neoplasia at the Philadelphia Zoological Garden, 1901-2002. *Journal of Zoo Wildlife Medicine* 37(1):11-19.

SOBRE LOS AUTORES



ADRIAN LEYTE MANRIQUE. Biólogo por la Universidad Autónoma Metropolitana. 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. Su interés se centra en aspectos de diversidad, ecología y conservación de los anfibios y reptiles en ambientes antropizados y conservados del estado de Guanajuato. Autor y co-autor de tres obras literarias que versan del conocimiento de los herpetozoos en los estados de Guanajuato e Hidalgo. Cuenta con seis capítulos en libro en temas relacionados con la herpetofauna. Su producción científica contempla alrededor de 30 trabajos publicados en revistas de divulgación, arbitradas e indexadas, nacionales e internacionales. Ha dirigido 12 tesis a nivel licenciatura y ha participado como sinodal, y jurado de examen en ocho trabajos. Actualmente se desempeña como profesor-investigador de tiempo completo "Titular A" en el Tecnológico Nacional de México, Campus Salvatierra (ITESS). Imparte las cátedras de Ecología, Desarrollo Sustentable, Taller de Investigación, Agroclimatología y Entomología.

aleyteman@gmail.com

ANA PAOLA MARTÍNEZ FALCÓN. Licenciada en biología en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo México. Realizó la Maestría en Recursos Bióticos en la UAEH, México. Obtuvo el grado de Doctor en Biodiversidad: conservación y gestión de las especies y sus hábitats por parte de la Universidad de Alicante, España, con la tesis titulada "Diversidad y ecología de las especies de *Copestylum* Macquart 1846 (Diptera: Syrphidae) asociadas a cactáceas en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, México". Cuenta con 6 años de experiencia docente en diferentes instituciones públicas mexicanas, ha dictado numerosos cursos, entre los que destacan materias como análisis de la biodiversidad, entomología, redes ecológicas y análisis estadísticos empleando R software. Es especialista en medición de la biodiversidad, ecología de comunidades, procesos de descomposición de tejidos vegetales e interacciones planta-animal empleando el enfoque de redes complejas. Ha realizado estancias de Investigación en la Universidad de Edimburgo, Escocia y en el Instituto Cavanilles de Biología Evolutiva, Valencia, España. Realizó tres estancias posdoctorales, una en el Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM, México en, una segunda estancia posdoctoral en el Instituto de Ecología A.C. México y una tercera estancia en el Centro de Investigaciones Biológicas, UAEH, México. Ha realizado trabajo de campo en selvas tropicales mexicanas, bosques templados, zonas semidesérticas y ambientes mediterráneos españoles. Cuenta con publicaciones en revistas ISI y dos capítulos de libro. Ha sido revisora de las revistas PLoS ONE, PeerJ, Insect Conservation and Diversity, Biodiversity

and Conservation, entre otras. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I.

apmartinez@cieco.unam.mx

AURELIO RAMÍREZ-BAUTISTA. Inició su carrera herpetológica realizando investigaciones como estudiante de licenciatura en la Estación Biológica de Campo Los Tuxtlas, Veracruz, México. Recibió su licenciatura en Biología de la Universidad Veracruzana en Veracruz, México. Obtuvo su Maestría en Ciencias y su Doctorado en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y recibió un nombramiento postdoctoral en la Universidad de Oklahoma, Norman, Oklahoma, Estados Unidos. Su principal investigación incluye estudios sobre ecología, demografía, reproducción, conservación y evolución de la historia de vida, utilizando como modelos a los anfibios y reptiles de México. Se desempeñó como presidente de la Sociedad Herpetológica Mexicana, como editor de sección de la revista *Mesoamerican Herpetology* y como profesor en la UNAM. Actualmente es profesor de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), donde imparte cursos de Ecología de poblaciones, Herpetología, y Biología y ecología de la reproducción en anfibios y reptiles. Ha sido autor y coautor de 336 artículos y libros revisados por pares sobre herpetología, ecología, evolución de la historia de vida, dimorfismo del tamaño sexual, reproducción, cambio climático global, distribución potencial, demografía, conservación, comportamiento y ecología térmica. Como profesor, ha graduado a 74 estudiantes, incluidos 47 de licenciatura, 19 de maestría y ocho de doctorado. También ha participado como asesor externo de Ph.D. estudiantes de la Universidad Brigham Young, the University of Miami, and Eastern Carolina University, en Estados Unidos. Aurelio ha recibido varios premios nacionales (Premio Helia Bravo Hollis del Consejo Técnico de Investigaciones Científicas de la UNAM, e internacionales (Premio Donald Tinkle de la Southwestern Association of Naturalists), y tiene un perfil PRODEP (Programa para el Desarrollo Profesional Docente) en la UAEH. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel II.

[Correo electrónico: ramibautistaa@gmail.com](mailto:ramibautistaa@gmail.com)

DAVID LAZCANO is a herpetologist who earned a bachelor's degree in chemical science in 1980, and a bachelor's degree in biology in 1982. In 1999 he earned a master's degree in wildlife management, and later a doctoral 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. Currently, he is a full-time professor at the same institution, where he teaches courses in animal behavior, biogeography, biology of chordates, and wildlife management. He is also the head of Laboratorio de Herpetología 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. 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 herpetofauna. In addition, the species *Gerrhonotus lazcanoi* has been named in his honor.

DAVID RAMIRO AGUILLÓN-GUTIÉRREZ. David Ramiro Aguillón Gutiérrez es Médico Veterinario Zootecnista egresado de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México, Maestro en Ciencias Biológicas con especialidad en Embriología y Doctor en Ciencias Biológicas con especialidad en Embriología y Zoología por la Universidad Estatal de Moscú M. V. Lomonosov, Rusia. Realizó el postdoctorado en Biodiversidad y Conservación por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. Ha publicado como autor y coautor 22 artículos científicos, cuatro capítulos de libro y tres libros. Ha presentado trabajos de investigación en México, Estados Unidos, Rusia, Brasil y Panamá. Sus líneas de investigación se centran en el uso de organismos como bioindicadores de salud ambiental, biología y medicina de la conservación, ecotoxicología y ecofisiología. Ha impartido clases a nivel licenciatura y postgrado en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, la Universidad La Salle, la Universidad Iberoamericana, la Universidad Juárez del Estado de Durango y la Universidad Autónoma de Coahuila. Actualmente es Profesor-Investigador de Tiempo Completo en el Centro de Investigación y Jardín Etnobiológico de la Universidad Autónoma de Coahuila, México, en donde es encargado del Laboratorio de Bioindicadores. Es Miembro del Sistema Nacional de Investigadores.

david_aguillon@uadec.edu.mx

IRERI SUAZO-ORTUÑO. Ileri Suazo-Ortuño es ecóloga y herpetóloga del Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales (INIRENA), Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), Michoacán, México. Su investigación se centra principalmente en la ecología y conservación de anfibios y reptiles en el Bosque Tropical Seco del occidente de México. Fue Directora del INIRENA, Coordinadora General de Estudios de Posgrado y Coordinadora de Investigación Científica de la UMSNH. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I.

ireri.suazo@umich.mx

ITZAHÍ SILVA MORALES. Bióloga Marina por la Universidad del Mar (UMAR), campus Puerto Ángel, Pochutla, Oaxaca (2018). Maestra en Ciencias por el El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Unidad Chetumal (2020). Estudiante de primer año del Doctorado en Ecología y Desarrollo Sustentable (2021-Presente). Producción académica de tres artículos científicos y un capítulo de libro. Colaboradora en dos proyectos de investigación concluidos: "Evaluación del potencial de las técnicas de Secuencia masiva, ADN ambiental y Código de barras genético para la descripción de la biodiversidad bentónica de los ecosistemas marinos

y costeros de Oaxaca" y "Especies exóticas de México: Riesgos y Propuestas de Manejo". Participación en seis congresos nacionales e internacionales. Cuatro cursos de actualización en herramientas moleculares y sistemática de invertebrados marinos. Dos estancias profesionales, en El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Chetumal y en la Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Miembro de la Red Temática Código de Barras de la Vida (MEXBOL). Interés en la sistemática y taxonomía de invertebrados marinos, específicamente sipúnculos. Análisis morfológicos y moleculares aplicados a la resolución de problemas taxonómicos. Divulgadora científica en la página de Facebook Cacahuete Marino.

JORGE LUIS BECERRA-LÓPEZ. Egresado de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez del Estado de Durango (2003–2008). Cuento con una maestría en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas por la Universidad Autónoma Chapingo (2010–2012), un doctorado en Ciencias en Biodiversidad y Conservación por la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (2013–2016) y un pos doctorado en Conservación de Ecosistemas en el Centro de Investigación en Sustentabilidad Energética y Ambiental del Noreste (CISEAN) (2017–2018). He realizado diversas estancias de investigación científica en universidades del extranjero, dentro de las que destacan las realizadas en la Universidad Miguel Hernández, España, y la Universidad de la Ciudad de Nueva York (CUNY), Estados Unidos de Norte América. Actualmente dirijo el Laboratorio de Cambio Climático y Conservación de Recursos naturales de la Facultad de Ciencias Biológicas, perteneciente a la Universidad Juárez del Estado de Durango. Mi programa de investigación integra conocimientos y metodologías de diversos campos científicos para comprender los procesos evolutivos que dieron lugar a los patrones de biodiversidad actual, como la biodiversidad responde a los cambios globales y como esta puede ser conservada. Así mismo, el cambio climático, la alteración del hábitat y las invasiones biológicas son temas particularmente importantes en mi línea de investigación. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I.

biologo.jlbl@gmail.com

LARRY DAVID WILSON is a herpetologist with lengthy experience in Mesoamerica. He was born in Taylorville, Illinois, United States, and received his university education at 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 has authored or co-authored more than 430 peer-reviewed papers and books on herpetology. Larry is the senior editor of Conservation of Mesoamerican Amphibians and Reptiles and the co-author of eight of its chapters. His other books include The Snakes of Honduras, Middle American Herpetology, The Amphibians of Honduras, Amphibians & Reptiles of the Bay Islands and Cayos Cochinos, Honduras, The Amphibians and Reptiles of the Honduran Mosquitia, and Guide to the Amphibians & Reptiles of Cusuco National Park, Honduras. To date, he has authored or co-authored the descriptions of 74 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 journal *Mesoamerican Herpetology*

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

LIZZETH A. TORRES-HERNÁNDEZ. Es pasante de Licenciatura en Biología en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Está interesada en el campo de la ecología, diversidad y conservación de anfibios y reptiles de México, así como en el estudio de los efectos del cambio climático en la distribución de estos grupos biológicos. Ha realizado aportes sobre la diversidad y conservación de anfibios y reptiles de México.
lizzeth.torres97@gmail.com

MARÍA ANA TOVAR-HERNÁNDEZ, es bióloga egresada de la UNAM (2000), Maestra en Ciencias en Manejo de Recursos Naturales y Desarrollo Regional y Doctora en Ecología y Desarrollo Sustentable por ECOSUR (2003 y 2006). Realizó dos posdoctorados (ECOSUR 2007, DGAPA-UNAM 2008-2010). Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 2009 (nivel II) e Investigadora Honorífica de Sinaloa desde 2012. Se ha especializado en biología, ecología y sistemática (morfológica y molecular) de poliquetos y otros invertebrados marinos exóticos invasores en marinas y puertos de México; así como en la elaboración de análisis de riesgo y planes de detección temprana y programas de monitoreo. Su producción académica versa en la publicación de 52 artículos en revistas indizadas (como primera autora en 30 de ellos), 3 artículos de divulgación, 2 artículos en revistas no indizadas, 1 libro y 15 capítulos de libros. Ha presentado trabajos en 27 congresos nacionales y 21 internacionales. Ha establecido 49 especies nuevas para la ciencia y dos nuevos géneros. En los últimos cuatro últimos años se ha desempeñado en la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

RACIEL CRUZ-ELIZALDE. Es un herpetólogo mexicano que recibió su grado de Licenciatura en Biología, y los posgrados de Maestría y Doctorado en Ciencias en Biodiversidad y Conservación de la Universidad

Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH). Realizó una estancia posdoctoral en la Universidad Nacional Autónoma de México, y actualmente es Profesor de Tiempo Completo de la Universidad Autónoma de Querétaro. Raciél está interesado en la ecología, evolución de la historia de vida, diversidad y conservación de anfibios y reptiles de México. Es autor o coautor de cerca de 65 publicaciones, que incluyen artículos, notas, capítulos de libros y libros sobre ecología, evolución de la historia de la vida, dimorfismo del tamaño sexual, reproducción y conservación de anfibios y reptiles. Ha dirigido tesis de licenciatura, y miembro de comités de alumnos de posgrado. Su investigación incluye la evolución de la historia de vida de diversas especies de lagartijas del género *Sceloporus*, temas de conservación en áreas naturales protegidas y el análisis de rasgos ecológicos y morfológicos en la composición de comunidades de anfibios y reptiles, principalmente en el bosque mesófilo de montaña. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I. Correo electrónico: cruzelizalde@gmail.com

SERGIO LUNA es biólogo por parte de la Facultad de Ciencias Biológicas, U.A.N.L. y M. en C. en Acuicultura por parte del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. Actualmente es estudiante del Doctorado en Conservación, Fauna Silvestre y Sustentabilidad, en la Facultad de Ciencias Biológicas, U.A.N.L. Es coautor de dos artículos de investigación, dos capítulos de libro, una nota científica, ocho reportes técnicos y seis presentaciones en congresos y cuenta con 58 citas a sus trabajos. Su área de investigación incluye análisis de riesgo y control de especies acuáticas invasoras y fisiología y reproducción de peces.

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).

Biología y Sociedad

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



#SOMOSUNI

TRABAJAR · TRANSFORMAR · TRASCENDER