

Biología y Sociedad



UANL
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FCB
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Una publicación de la
Universidad Autónoma de Nuevo León

Mtro. Rogelio G. Garza Rivera
Rector

Dr. Santos Guzmán López
Secretaria 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. Antonio Guzmán Velasco
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
Evelyn Patricia Ríos-Mendoza
Biología Contemporánea

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

Dr. José Ignacio González-Rojas
Dr. Eduardo Alfonso Rebolgar-Téllez
Ecología y Sustentabilidad

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

DG Jorge Ortega Villegas
Diseñador Gráfico

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

Jorge Alberto Ibarra Rodríguez
Página web

Biología y Sociedad, es una publicación semestral editada y publicada por la 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. Difusión vía red de cómputo.

biologiaysociedad@uanl.mx

Editor responsable: Dr. Jesús Ángel de León González. Número de reserva de derechos al uso exclusivo del título Biología y Sociedad otorgada por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2017-033011570800-01, de fecha 3 de abril de 2017. ISSN en trámite.

Las opiniones y contenidos expresados en los artículos son responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier forma o medio, del contenido de la publicación sin previa autorización.

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| EDITORIAL | 3 |
| EQUINODERMOS (ECHINODERMATA) DE MÉXICO: ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO DE SU BIODIVERSIDAD, BIOGEOGRAFÍA, ESTUDIOS BIOQUÍMICOS Y NUEVOS DESCUBRIMIENTOS ARQUEOZOOLOGÍCOS Francisco A. Solís-Marín, Alfredo Laguarda-Figueras, Magali B. I. Honey-Escandón, Leonardo López Luján, Belem Zúñiga-Arellano, Andrea A. Caballero Ochoa, Carlos A. Conejeros Vargas, Carolina Martín-Cao-Romero, Alicia Durán-González y Ma. Esther Diupotex Chong | 6 |
| EL CATÁN: RESCATE DE UN RECURSO ACUÍCOLA Roberto E. Mendoza Alfaro, Carlos J. Aguilera González, Jesús Montemayor Leal | 22 |
| EL PACÍFICO ORIENTAL, UN HÁBITAT MUY IMPORTANTE PARA EL TIBURÓN BLANCO Erick C. Oñate González | 33 |
| LAS VÍAS DE COMUNICACIÓN TERRESTRE Y SU EFECTO EN LA BIODIVERSIDAD G. E. Villanueva-Vázquez, V. Aguilar-Herrera, R. Jaimes-López, M. Nigenda-Quezada y E. Rios | 44 |
| EL APOCALIPSIS DEL OZONO: EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA Abraham Octavio Rodríguez de la Fuente, José Antonio Heredia Rojas, Omar Heredia Rodríguez, María Esperanza Castañeda Garza, Laura Ernestina Rodríguez Flores | 55 |
| RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DE REFINACIÓN DE ACEITE DE SOYA COMO FUENTE POTENCIAL DE SUSTANCIAS BIOACTIVAS M. A. Núñez González, C. A. Amaya Guerra, J. Báez González, C. J. Aguilera González, S. Moreno Limón, J. Rodríguez Rodríguez | 64 |
| EL COLESTEROL EN ALIMENTOS ¿ES BUENO O MALO? Minerva Bautista Villarreal, Claudia T. Gallardo Rivera, Loruhama Sandra Castillo Hernández, Ma. Adriana Núñez González, Carlos A. Amaya Guerra, Juan Gabriel Báez González | 74 |
| THE LOST SPECIES: GREAT EXPEDITIONS IN THE COLLECTIONS OF NATURAL HISTORY MUSEUMS, CHRISTOPHER KEMP, UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS, 2017 Reseña de libro por Sergio I. Salazar Vallejo | 84 |

Tengo el agrado de dar a conocer el segundo número de *Biología y Sociedad*, e invitarlos a leer el contenido de sus interesantes artículos, los cuales nos introducen en investigaciones desarrolladas en nuestro país, que nos llevan por distintos temas y ambientes: ecológicos, históricos, salud y sustentabilidad.

Biología y Sociedad busca convertirse en el medio idóneo para que los científicos escriban con amenidad y claridad, describiendo de manera eficiente y eficaz para un público no científico, y que de esta forma, sea como promueva el desarrollo de la sociedad incorporando a todos a la sociedad del conocimiento.

La calidad de estos artículos está a la altura de los objetivos que *Biología y Sociedad* ha establecido, distinguiéndola como una revista versátil y de fácil lectura para todo público. Con el compromiso de enriquecer el conocimiento mediante los elementos propios de la investigación tanto científica como tecnológica, desde un punto de vista más didáctico.

Agradezco a todos los lectores por el interés que han mostrado hacia *Biología y Sociedad* y especialmente a los autores y co-autores, quienes se han tomado el tiempo necesario para participar en éste número.

Les extiendo una cordial invitación a seguir participando en los próximos números de *Biología y Sociedad*.

Espero que tengamos un año 2019 lleno de salud y éxitos.

Atentamente,
Dr. Antonio Guzmán Velasco
*Director de la Facultad
de Ciencias Biológicas, UANL*

Llegar a este Segundo Número de *Biología y Sociedad* ha sido muy gratificante, hemos logrado mantener la idea de mostrar a los lectores información muy valiosa sobre las ciencias naturales. En esta edición se presenta una selección de artículos interesantes que nos aportarán conocimientos en las distintas áreas en las que *Biología y Sociedad* se ha especializado.

Dentro del área de Biología Contemporánea, los autores nos acercan a un enigmático grupo de invertebrados marinos, los equinodermos, destacando estudios taxonómicos, biogeográficos, bioquímicos, y hallazgos arqueológicos en distintas excavaciones del Templo Mayor.

En el área de Ecología y Sustentabilidad, nos hablan sobre la importancia de un recurso pesquero casi olvidado y amenazado por la sobreexplotación, el catán (*Atractosetus spatula*), un pez dulceacuícola de gran tamaño, en este trabajo se resumen 20 años de esfuerzo para salvar este recurso, generando las bases para su reproducción en cautiverio. También encontraremos en el siguiente artículo al depredador alfa en los océanos cálidos y templados, el gran tiburón blanco, el autor nos detalla la historia de vida de este enigmático pez cartilaginoso, donde destaca la filopatía o fidelidad a un sitio, siendo la Isla Guadalupe uno de estos sitios de agregación en México. Se presenta además, un artículo sobre la fauna silvestre, en él veremos el efecto de las vías de comunicación terrestres y su impacto en la biodiversidad, aquí los autores identifican las especies más vulnerables a las vías de comunicación terrestre y presentan medidas de mitigación para disminuir su impacto. Un último trabajo de esta área, nos habla sobre las implicaciones del desgaste de la capa de ozono en nuestro planeta, destacando los efectos de la radiación en los organismos, así como también los usos terapéuticos que ésta radiación tiene para el ser humano y la vida en general usándola de forma controlada.

En Biotecnología encontraremos un tema en donde nos plantean la utilidad de los residuos en la industria de refinación de aceites, con potencial en las industrias alimenticia y farmacéutica.

En el área Salud, los autores nos exponen un tema importante sobre el colesterol en alimentos, el colesterol elevado, representa uno de los principales riesgos cardiovasculares en México. En este artículo nos dan recomendaciones para mejorar nuestro colesterol en sangre.

Por último, el autor presenta la reseña del libro "*The Lost Species: Great expeditions in the Collections of Natural History Museums*" de Christopher Kemp, un científico dedicado a la divulgación de la ciencia, en el que expone la importancia de preservar los tesoros naturales, depositados en colecciones biológicas de los grandes museos de historia natural, así como la relevancia de las revisiones en el trabajo taxonómico.

Estamos seguros que este Segundo Número de *Biología y Sociedad* continuará incidiendo en la difusión de los resultados de la investigación científica y tecnológica.

Dr. Jesús Angel de León González

Editor en Jefe

EQUINODERMOS (ECHINODERMATA) DE MÉXICO:

ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO DE SU
BIODIVERSIDAD, BIOGEOGRAFÍA, ESTUDIOS
BIOQUÍMICOS Y NUEVOS DESCUBRIMIENTOS
ARQUEOZOOLOGÍCOS





Palabras clave: *Echinodermata, México, biodiversidad.*

Key words: *Echinodermata, biodiversity, Mexico.*

Francisco A. Solís-Marín¹, Alfredo Laguarda-Figueras¹, Magali B. I. Honey-Escandón², Leonardo López Luján³, Belem Zúñiga-Arellano³, Andrea A. Caballero Ochoa², Carlos A. Conejeros Vargas⁴, Carolina Martín-Cao-Romero⁴, Alicia Durán-González¹ y Ma. Esther Diupotex Chong¹.

1. Laboratorio de Sistemática y Ecología de Equinodermos, Colección Nacional de Equinodermos "Dra. Ma. E. Caso Muñoz; Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML), Universidad Nacional Autónoma de México, México.

2. Facultad de Ciencias, UNAM, Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, Apdo. 70-305, Ciudad de México, México, C.P. 04510.

3. Proyecto Templo Mayor (PTM), Instituto Nacional de Antropología e Historia, México (INAH).

4. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México.

RESUMEN

La posición geográfica de México lo hace uno de los países más biodiversos del planeta. El estudio de la diversidad de los equinodermos de México comenzó en el siglo XIX. En México se encuentran 818 especies de equinodermos, siendo la clase Ophiuroidea la más rica con 240 especies, Asteroidea contiene 229, Echinoidea 153, Holothuroidea 165 y Crinoidea 31. México posee algunas especies endémicas del país o de alguna región en particular. El catálogo de los equinodermos de México aún no está completo, probablemente existan nuevos registros y nuevas especies en ambientes y en regiones poco estudiados de las costas mexicanas. A pesar de que los estudios taxonómicos en México son extensos, los estudios sobre la ecología, historia de vida y otros aspectos de los equinodermos son escasos. Se presenta información sobre los estudios de biogeografía, bioquímicos y los nuevos descubrimientos arqueozoológicos del phylum.

INTRODUCCIÓN

La palabra “Echinodermata” proviene de dos vocablos griegos, “echinos” (= espina) y “derma” (= piel), debido a la estructuras calcáreas espinosas presentes en la piel de estos organismos. Los equinodermos son animales exclusivamente marinos, deuterostomados, que se caracterizan por poseer una simetría pentarradial, a veces enmascarada en una simetría bilateral; un esqueleto de carbonato de calcio (calcita) compuesto por placas intradérmicas independientes y articuladas o espículas calcáreas, y un sistema vascular acuífero (SVA) único que regula la alimentación, locomoción y otras funciones (Brusca et al., 2016; Hyman, 1955; Pawson, 2007). El SVA se encuentra conectado al medio externo a través de una estructura llamada madreporita, la cual filtra agua de mar y la lleva dentro del cuerpo a través de una red interna de canales y reservorios flexibles conectados a extensiones externas (Samyn et al., 2006). Los equinodermos poseen además un tejido conectivo flexible que permite cambiar de forma voluntaria y rápida la rigidez del animal (Hendler et al., 1995; Samyn et al., 2006), sistema circulatorio hemal, sistema digestivo completo (a excepción de los ofiuroides y algunas especies de estrellas de mar los cuales carecen de ano) y sistema nervioso descentralizado (Pawson, 2007). La talla de los equinodermos adultos es muy variable. El pepino de mar *Synaptula hydriiformis* del Caribe mexicano, que vive entre frondas de algas de la zona somera, mide ~3-6 mm de largo, en contraste, *Euapta godeffroyi*, una especie de pepino de mar del Pacífico mexicano puede alcanzar más de 3 m de largo. Los equinodermos pueden habitar desde pozas de marea, hasta profundidades abisales mayores a 11 000 m. Viven en cualquier tipo de ambiente marino, incluso ambientes extremos como las ventilas hidrotermales, infiltraciones de metano (Sibuet y Olu, 1998) y cuevas anquihalinas (Solís-Marín y Laguarda-Figueras, 2010). También pueden encontrarse a cualquier temperatura, desde las zonas tropicales hasta los polos. Además, son de los componentes principales de las comunidades que viven en el piso oceánico (Hendler et al., 1995). No todos los equinodermos son bentónicos, existen algunas especies pelágicas (p. e. *Enipniastes eximia*) las cuales pasan la mayor parte de su vida nadando en la columna de agua. El grupo consta de más de 7 000 especies vivientes descritas hasta el momento y 13 000 especies fósiles (Pawson, 2007).

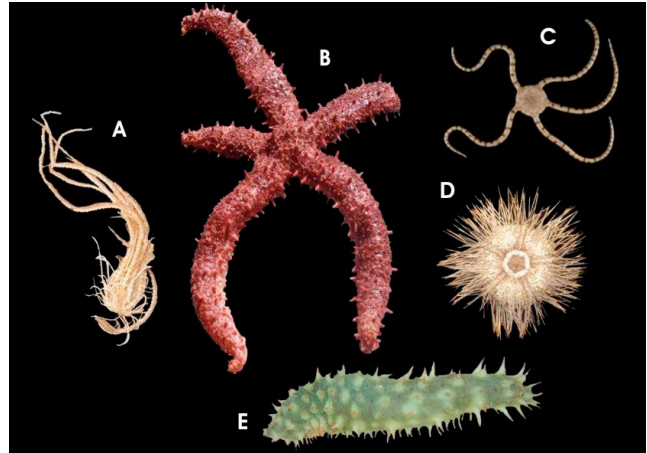


Figura 1. Representantes de las cinco clases del Phylum Echinodermata; A) Clase Crinoidea (*Florometra tanneri*); B) Clase Asteroidea (*Mithrodia bradleyi*); C) Clase Ophiuroidea (*Ophioderma cinereum*); D) Clase Echinoidea (*Astropyga pulvinata*); E) Clase Holothuroidea (*Holothuria hilla*) (tomado de Solís-Marín et al., 2009).

Los equinodermos son dioicos, con una alta frecuencia de especies hermafroditas. La reproducción ocurre generalmente en la columna de agua después de que los gametos son liberados en ella. Existen especies incubadoras especialmente en las aguas frías de los océanos Ártico y Antártico. Muchas especies, además de poseer alguna forma de reproducción de las antes mencionadas, también se pueden reproducir asexualmente por medio de la fisiparidad (fraccionamiento voluntario o involuntario del cuerpo), dando lugar a individuos genéticamente idénticos (clones) (Hyman, 1955). Las larvas de todas las clases de equinodermos se pueden reproducir asexualmente (Eaves y Palmer, 2003).

El phylum Echinodermata se encuentra dividido en cinco clases: clase Crinoidea (lirios de mar), clase Asteroidea (estrellas de mar), clase Ophiuroidea (estrellas quebradizas y estrellas canasta), clase Echinoidea (erizos, galletas y bizcochos de mar) y la clase Holothuroidea (pepinos de mar) (Fig. 1).

ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO DE LA BIODIVERSIDAD DE LOS EQUINODERMOS DE MÉXICO

La extensión litoral de México y su gran diversidad de hábitats han permitido la existencia de 818 especies de equinodermos (datos de la Colección Nacional de Equinodermos, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México), aproximadamente el 10.8% del total mundial. La clase Crinoidea es la menos representada con 31 especies (3.8% del total para México), mientras que la clase Ophiuroidea presenta la mayor riqueza con 240 especies (29.3%); la clase Asteroidea es la segunda mejor representada con 229 especies (28%) y la clase Holothuroidea es la tercera más rica con 165 especies (20.2%) reportadas para ambos océanos Pacífico y Atlántico. Finalmente, está la clase Echinoidea con 153 especies (18.7%) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Riqueza de equinodermos en México por clase y sus correspondientes categorías taxonómicas descendentes.

| Clase | Órdenes | Familias | Géneros | Especies |
|---------------|---------|----------|---------|----------|
| Crinoidea | 5 | 13 | 24 | 31 |
| Asteroidea | 7 | 30 | 92 | 229 |
| Ophiuroidea | 2 | 14 | 74 | 240 |
| Holothuroidea | 6 | 16 | 68 | 165 |
| Echinoidea | 13 | 33 | 74 | 153 |

Aunque el Golfo de California posee una gran diversidad para algunas clases de equinodermos, solo existen dos especies reportadas de crinoideos en esta área (*Hyocrinus foelli* y *Florometra serratissima*). En el Golfo de California existe una gran variedad y abundancia de géneros de asteroideos mayor que en el mar Caribe. Existen un total de 76 especies y 40 de éstas se distribuyen en aguas profundas (> 200 m). Los géneros más representativos son: *Astropecten* (Fig. 2f), *Luidia*, *Heliaster* (Fig. 2c), *Henricia* y *Myxoderma*. Existen 86 especies de ofiuroideos que habitan las aguas del Golfo de California, pertenecientes a dos órdenes, 17 familias y 43 géneros. *Ophiactis savignyi* es la especie con la más amplia distribución en aguas someras de esta zona. *Ophiocoma aethiops*, *O. alexandri* y *Ophiothrix*

spiculata (Fig. 3d) es la más abundante y frecuente en las aguas profundas de esta cuenca. El Golfo de California es el área que posee el tercer lugar en riqueza de especies de equinoideos, después del Golfo de México y Caribe mexicano, con un total de 47, 12 de las cuales se distribuyen en aguas profundas; las más características son: *Hesperocidaris asteriscus*, *H. perplexa*, *Arbacia stellata*, *Astropyga pulvinata* (Fig. 4c), *Centrostephanus coronatus*, *Echinometra vanbrunti* (Fig. 4f), *Diadema mexicanum*, *Lovenia cordiformis*, *Encope wetmorei*, *E. micropora*, *Clypeaster europacificus*, *Agassizia scrobiculata* y *Mellita grantii*. Esta región alberga la mayor riqueza de pepinos de mar en México, con 75 especies ahí reportadas. Casi todas las especies (49) tienen amplia distribución geográfica, desde el Golfo de California hasta Centroamérica o las islas Galápagos. Solamente dos especies tienen una distribución norteña, desde Alaska hasta el Golfo de California. La mayoría de las especies ahí registradas tienen distribuciones batimétricas someras. Las especies de pepinos de mar más característicos del Golfo de California son: *Holothuria (Selenkothuria) lubrica*, *H. (Thymiosyca) arenicola*, *H. (T.) impatiens*, *H. (Halodeima) inornata*, *H. (Stauropora) fuscocinerea*, *H. (Platyperona) difficilis*, *Isostichopus fuscus* (Fig. 4e), *Neothyone gibbosa* y *N. gibber* (Solís-Marín et al., 2005, 2009, 2014).



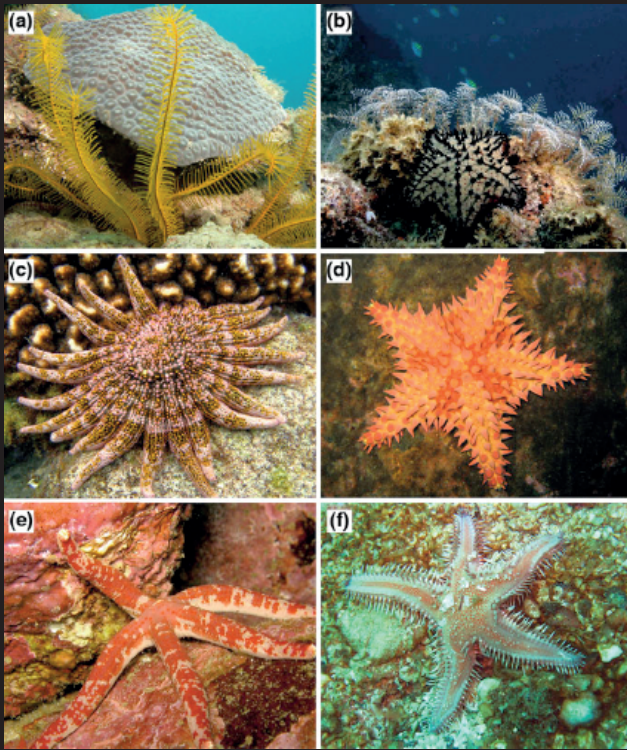


Figura 2. a *Davidaster rubiginosus*, Caribe mexicano. b *Nidorellia armata* (Gray, 1840), Golfo de California. c *Heliaster kubiniji* Xantus, 1860, Golfo de California. d *Amphiaster insignis* Verrill, 1868, Golfo de California. e *Linckia columbiae* Gray, 1840, Golfo de California. f *Astropecten armatus* Gray, 1840, Golfo de California (tomado de Solís-Marín et al., 2013).

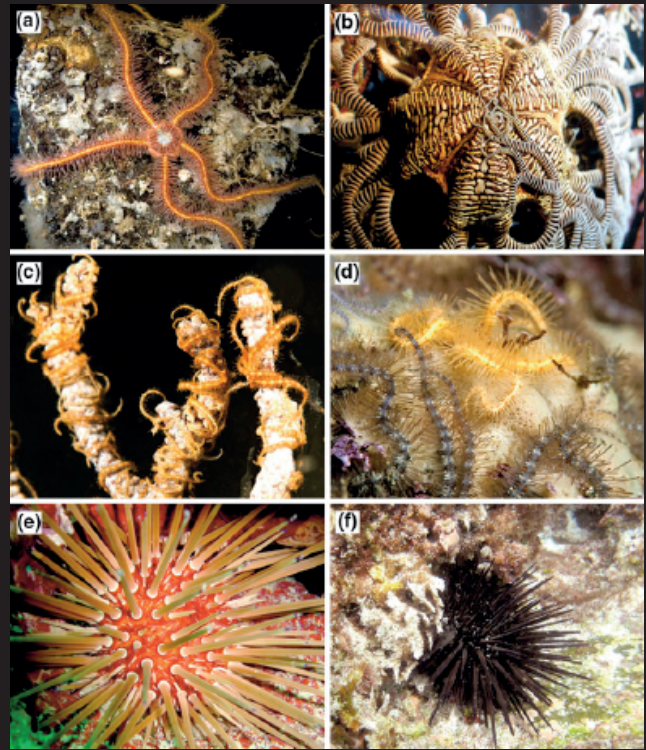


Figura 3. a *Ophiothrix galapagensis* Lütken y Mortensen, 1899, Golfo de California, central. b *Astrodictyum panamense* (Verrill, 1867), Golfo de California, central. c *Ophiothela mirabilis* Verrill, 1867, Guerrero, Pacífico mexicano. d *Ophiothrix spiculata* Le Conte, 1851, Guerrero, Pacífico mexicano. e *Echinometra viridis* A. Agassiz, 1863, Veracruz, Golfo de México. f *Echinometra vanbrunti* A. Agassiz, 1863, Jalisco, Pacífico mexicano (tomado de Solís-Marín et al., 2013).

Las características ambientales del Golfo de California permiten la coexistencia de un alto número de especies de equinoideos irregulares de las familias Brissidae, en comparación a las otras grandes áreas del mar territorial mexicano. Cabe destacar que en esta zona habita la única especie endémica de un erizo irregular reportado para las costas de México: *Encope grandis* (Solís-Marín et al., 2013). Enríquez-Andrade et al., (2005) mencionan que el Golfo de California está entre los cinco ecosistemas marinos con la mayor productividad y biodiversidad en el mundo, con 4 852 especies de casi todos los invertebrados (Lluch-Cota et al., 2007). Los grados de endemismo dentro del Golfo varía considerablemente, dependiendo del taxón. El número de endemismos de macroinvertebrados no planctónicos corresponde a 766 (15,8% del total en el Golfo), la gran mayoría de los cuales pertenecen a los Phyla Mollusca (460 spp.), Arthropoda (118 spp.) y Polychaeta (79 spp.) (Lluch-Cota et al., 2007). De los 766 invertebrados endémicos, 5 (0.65%) son equinodermos. El equinoideo *Encope grandis* se registra únicamente para este Golfo y se encuentra tanto en la costa continental, como en las islas del mismo. Asimismo, tres

especies de ofiuroides son endémicas: *Ophiacantha hirta*, *Amphiophiura oligopora* y *Amphiura seminuda*. Finalmente, una especie de pepino de mar de aguas someras, *Athyone glasselli*, también se encuentra restringida a esta área (Solís-Marín et al., 2013).

En la costa del Pacífico, los crinoideos están representados sólo por cuatro especies: *Fariometra parvula*, *Florometra serratissima*, *F. tanneri* y *Hyocrinus foelli* (12.9 % del total de México) presentes en la costa occidental de la península de Baja California y en los campos de nódulos polimetálicos cercanos al archipiélago de Revillagigedo y la fractura de Clarión. Los crinoideos pedunculados se distribuyen de los 3 000 a los 4 500 m de profundidad, mientras que los de vida libre se encuentran entre los 12 y 3 234 m. La especie de hyocrínido, *Hyocrinus foelli* Pawson y Roux, 1999, es el único reportado para el archipiélago Revillagigedo. La clase Asteroidea en la costa del Pacífico mexicano es de gran interés, no sólo por el gran número de géneros característicos de esta área, sino también por las relaciones cercanas que las especies endémicas mantienen con las especies

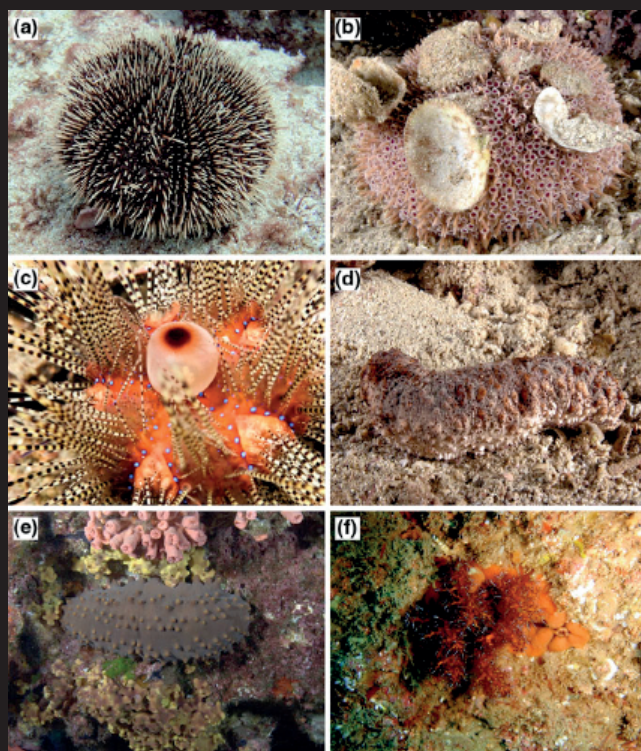


Figura 4. a *Tripneustes depressus* A. Agassiz, 1863, Jalisco, Pacífico mexicano. b *Toxopneustes roseus* (A. Agassiz, 1863), Jalisco, Pacífico mexicano. c *Astropyga pulvinata* (Lamarck, 1816), Guerrero, Pacífico mexicano. d *Holothuria pluricuriosa* Jaeger, 1833, Golfo de California. e *Isostichopus fuscus* Ludwig, 1874, Golfo de California, central. f *Cucumaria flamma* Solís-Marín y Laguarda-Figueras, 1999, Jalisco, Pacífico mexicano (tomado de Solís-Marín et al., 2013).

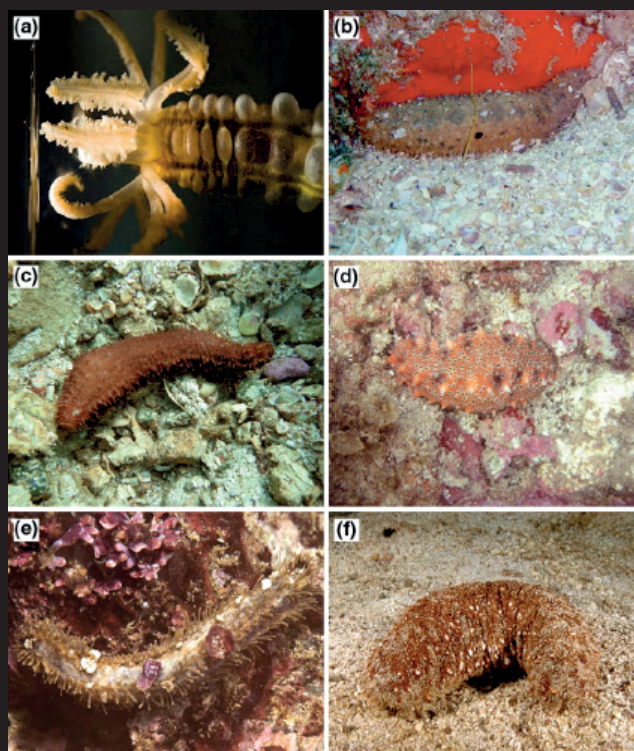


Figura 5. a *Euapta godeffroyi* (Semper, 1868), Golfo de California, central. b *Holothuria arenicola* Semper, 1868, Jalisco, Pacífico mexicano. c *Labidodemas macullochi* (Deichmann, 1958), Jalisco, Pacífico mexicano. d *Holothuria kefersteini* Selenka, 1867, Golfo de California, sur. e *Pentamera chierchia* (Ludwig, 1887), Guerrero, Pacífico mexicano. f *Holothuria cf. inhabilis* Selenka, 1867, Golfo de California, central (tomado de Solís-Marín et al., 2013).

del Indo-Pacífico. Existen 88 especies en total; de éstas, el 59.1% (52 especies) se comparten con el Golfo de California, 47% se distribuyen en aguas someras y 12% se presentan únicamente en la costa occidental de la península de Baja California. Sólo 10 especies se han encontrado también en las islas Revillagigedo (Caso, 1962; Honey-Escandón et al., 2008). Los géneros de asteroideos más representativos son: *Astropecten*, *Luidia*, *Nidorellia*, *Pharia*, *Phataria*, *Heliaster* y *Henricia* (Solís-Marín et al., 1993). El océano Pacífico tiene una riqueza alta de ofiuroides en las aguas mexicanas, son 105 especies, distribuidas en 2 órdenes, 12 familias y 28 géneros. El género con mayor número de especies es *Amphiodia* con un total de ocho. *Ophiactis savignyi* es la especie de ofiuoideo con distribución más amplia en aguas someras, se distribuye a lo largo del Golfo de California, Golfo de México y el Caribe mexicano; se ha registrado para ocho estados de la República Mexicana, además de las islas Revillagigedo e islas Marías. *Ophiocoma aethiops* también está ampliamente distribuida en aguas someras en el océano Pacífico y se ha registrado para siete estados, así como en las islas Revillagigedo.

En el Pacífico mexicano, incluida la costa occidental de la península de Baja California, habitan 43 especies de equinoideos, clasificados en 25 géneros, 14 familias y siete órdenes.

La península de Baja California tiene un ambiente marino muy interesante y único. Con más de 600 millas de longitud, la península se extiende desde las frías aguas de California hasta los trópicos, el Trópico de Cáncer cruza la carretera de San José del Cabo a La Paz en el extremo sur de la tierra. La vida marina varía desde los fríos bosques rocosos de algas marinas en el norte de la costa del Pacífico cerca de San Diego hasta un verdadero arrecife de coral en Cabo Pulmo. En la costa occidental de Baja California hay 183 especies de equinodermos registradas (Crinoidea: tres especies, Asteroidea: 45 especies, Ophiuroidea: 52 especies, Holothuroidea: 40 especies y Echinoidea: 43 especies). Hay 282 especies en total; de estas, 32% (90 especies) son compartidas por ambas áreas (Pacífico mexicano y Golfo de California). La diversidad de equinodermos aumenta sustancialmente a medida que se desciende por la península de Baja California, las familias más

abundantes y frecuentes en el área son Heliasteridae, Amphiuroidae, Dendroasteridae y Holothuriidae.

En México, 25 especies (86.2% del total para el país) de crinoideos habitan el Golfo de México y la mayoría se distribuye en el banco de Campeche. Este banco alberga 22 de las 25 especies presentes en todo el Golfo, alrededor del 75.8% del total de especies de crinoideos para aguas mexicanas. Diecisiete especies (68% de las especies en el Golfo de México) se encuentran en aguas menores a 200 m de profundidad, mientras que 23 especies habitan las zonas más profundas del Golfo. Los crinoideos comatúlidos representan el 76% (19 especies) del total del número de especies presentes en el Golfo de México; los crinoideos pedunculados conforman el 20.6% (6 especies) y sólo hay una especie (4%) de crinoideo cyrtocrínido, *Holopus rangii*, presente en el banco de Campeche.

Existen 88 especies de estrellas de mar en el Golfo de México. Casi la mitad de ellas (40) se distribuyen en aguas profundas (> 200 m) y 27 especies tienen una amplia distribución batimétrica. Los géneros más comunes son: *Luidia*, *Astropecten* (Fig. 2f), *Cheiraster*, *Linckia* (Fig. 2e), *Pteraster* y *Echinaster* (Durán-González et al., 2005).

El número de especies de ofiuroides del Golfo de México es de 108. De esta área, el estado de Yucatán es el más rico con un total de 52 especies. *Ophiactis savignyi* es la especie más frecuentemente encontrada en el Golfo de México, especialmente en el estado de Veracruz.

El número de especies de equinoideos para el Golfo de México es de 58. De éstas, 30 especies (51.8%) están presentes en aguas profundas (> 200 m). Las especies de aguas someras más comunes, que también tienen una amplia distribución batimétrica (0-80 m) son: *Eucidaris tribuloides*, *Astropyga magnifica*, *Arbacia punctulata*, *Lytechinus variegatus carolinus* y *Encope michelini*. En la plataforma externa, en el rango de 80 a 190 m están presentes *Clypeaster ravenelii* y especies del género *Brissopsis*. Finalmente, *Plesiodiadema antillarum* y *Brissopsis atlantica* se localizan en el talud a 200 m. Geográficamente, *Encope aberrans*, *Clypeaster subdepressus* y *Echinolampas depressa* están restringidas al banco de Campeche, Yucatán y cabo

Catoche, Quintana Roo (Laguada-Figueras et al., 2005a; Solís-Marín et al., 2014).

El Golfo de México es el área con menor riqueza de pepinos de mar con únicamente 53 especies. Dos de estas especies también se distribuyen en la costa del Pacífico y 33 se distribuyen también en las aguas someras del Caribe mexicano. El resto (18 especies) está presente en aguas profundas del Golfo de México, a más de 200 m de profundidad. Las especies más comunes son *Holothuria* (*Halodeima*) *grisea*, *H. (H.) floridana*, *H. (Selenkothuria) glaberrima*, *H. (Semperothuria) surinamensis* e *Isostichopus badiotus* (Durán-González et al., 2005).

En el Caribe mexicano, la fauna de crinoideos no es tan rica como en el Golfo de México; sin embargo, la diversidad de ecosistemas (arrecifes de coral, planicies de fondos arenosos, taludes pronunciados) hacen posible la existencia de 14 especies, que representan el 45.2% de los lirios de mar reportadas para aguas mexicanas.

En el Caribe, los crinoideos pedunculados representan el 21.4%, con tres especies reportadas, que habitan el banco Arrowsmith y el área del canal de Yucatán; mientras que los comatúlidos conforman el mayor porcentaje (78.6%) con 11 especies en la misma área. La especie más frecuentemente encontrada es el isocrínido *Endoxocrinus parrae*, junto con los crinoideos de vida libre: *Davidaster rubiginosus* (Fig. 2a), *Comactinia meridionalis* y *Crinometra brevipinna*. Un total de siete especies (50%) están compartidas con el Golfo de México. Los crinoideos pedunculados están presentes en el banco de Campeche y en el Caribe a profundidades que van desde los 86 a los 143 m en las áreas someras; de los 747 a los 1 245 m en su límite más profundo. En la misma región, los crinoideos comatúlidos se pueden encontrar desde los 2 a los 200 m en un rango somero y de los 200 a más de 3,500 m en las áreas más profundas.

Para la clase Asteroidea, el Caribe mexicano es el área de menor riqueza, con sólo 54 especies, 44 de ellas (81.5%) compartidas con el Golfo de México. De estas 44 especies,

14 se encuentran en aguas profundas (> 200 m) y 30 tienen un intervalo batimétrico de 0 a más de 200

m. Los géneros más comunes son casi los mismos que para el Golfo de México: *Luidia*, *Astropecten*, *Cheiraster* y *Echinaster* (Laguarda-Figueras et al., 2005b). El Caribe mexicano es la segunda área con mayor riqueza de ofiuroides de los mares mexicanos con 82 especies. Sus patrones de distribución geográfica son diversos, pero los que tienen la más amplia distribución en aguas someras del Golfo de México y el Caribe mexicano son: *Ophiolepis elegans*, *O. impressa*, *Ophiocoma echinata*, *Ophioderma cinereum*, *Ophiactis savignyi* y *Ophiothrix angulata*. Las especies de profundidad, con las áreas de distribución más amplias para ambas zonas son: *Ophiolepis elegans*, *O. impressa*, *Ophioderma cinereum* y *Ophiothrix angulata*. Un total de 51 especies son compartidas con el Golfo de México.

Respecto a los erizos de mar, las costas del Caribe mexicano son el área menos estudiada de todas. Sin embargo, es la segunda área en riqueza con un total de 61 especies; 39 de ellas compartidas con el Golfo de México. Las especies más características que se distribuyen en aguas someras son: *Encope aberrans*, *E. michelini*, *Clypeaster subdepressus*, *Cassidulus caribaeorum*, *Diadema antillarum*, *Echinomentra lucunter*, *E. viridis* (Fig. 3e), *Eucidaris tribuloides* y *Tripneustes ventricosus* (Durán-González et al., 2005; Solís-Marín et al., 2014).

El Caribe mexicano alberga 33 especies de pepinos de mar. La gran mayoría (27 especies) se distribuye también en el resto de los países que constituyen el mar Caribe y los cayos de Florida. Las especies más características son: *Holothuria (Halodeima) floridana*, *H. (H.) grisea*, *H. (H.) mexicana*, *H. (Semperothuria) surinamensis*, *H. (Thymiosycia) arenicola*, *H. (T.) impatiens*, *H. (T.) thomasi*, *Isostichopus badionotus*, *I. macroparentheses* y *Euapta lappa* (Laguarda-Figueras et al., 2001, 2005b).

La delimitación de los endemismos en especies marinas es difícil debido a la dispersión de las larvas a través de las corrientes oceánicas. Sin embargo, México posee algunas especies que son endémicas del país o de alguna región en particular. El Golfo de California, debido a sus características oceanográficas y geológicas únicas, alberga la mayoría de los endemismos de equinodermos en el país, con un total de cinco especies. El equinoideo

Encope grandis se registra únicamente para este Golfo y se encuentra tanto en la costa continental, como en las islas del mismo. Asimismo, tres especies de ofiuroides son endémicas: *Ophiacantha hirta*, *Amphiophiura oligopora* y *Amphiura seminuda*. Finalmente, una especie pepino de mar de aguas someras, *Athyone glasselli*, también se encuentra restringido a esta área. Para el norte del océano Pacífico de México, dos especies de crinoideos, *Fariometra parvula* y *Florometra taneri* son endémicas de la provincia Californiana. La única especie endémica del Golfo de México, es el ofiuroido *Amphiodia guillermosoberoni* Caso, de la laguna de Términos, en el estado de Campeche.

Esta especie fue hallada y descrita por Caso (1979). Su distribución se restringe a la laguna de Términos debido, probablemente al tipo de sedimento y a la salinidad prevaleciente dentro de la laguna (de 4 a 26 ppm), ésta incrementa a más de 26 ppm fuera de la misma. La especie es más abundante en sitios donde la salinidad va de 16 a 21 ppm. *Amphiodia guillermosoberoni* Caso es el único ofiuroido mexicano conocido que habita a bajas salinidades. Sólo una especie de asteroideo es endémico para la región del Caribe mexicano, *Copidaster cavernicola*. Esta especie, recientemente descrita (Solís-Marín y Laguarda-Figueras, 2010), es el único asteroideo conocido que habita una cueva anquialina (Cenote Aerolito) en la isla de Cozumel (Solís-Marín y Laguarda-Figueras, 2008; Solís-Marín et al., 2010). El listado de los equinodermos de México aún no está completo, probablemente existan nuevos registros y nuevas especies de equinodermos en ambientes y en regiones poco estudiados de las costas mexicanas, donde el tipo de sustrato, profundidad e inclinación del fondo, entre otros factores, han hecho imposible su muestreo usando métodos convencionales.

ESTUDIOS BIOGEOGRÁFICOS DE LOS EQUINODERMOS DE MÉXICO

Los estudios sobre los patrones de distribución de los equinodermos de México son relativamente recientes. Los primeros enfoques se han hecho para entender las afinidades entre las provincias o regiones faunísticas en el territorio mexicano. Una

de las primeras obras en México fue hecha por Parker (1963), en su estudio analizó la zoogeografía y la ecología de los invertebrados bentónicos en el Golfo de California, reconociendo 11 conjuntos faunísticos basados en la caracterización de sus ambientes. Encontró que, en comparación con las comunidades bentónicas en otros lugares en el mundo, la diversidad de las especies de aguas poco profundas en el Golfo de California es sorprendente.

Laguarda-Figueras *et al.* (2002) analizaron la distribución geográfica y batimétrica de los asteroideos del Caribe mexicano, evaluando los patrones de distribución y sus afinidades biogeográficas, descubriendo así que el "Atlántico occidental extendido" y el "Atlántico oriental cálido" son las áreas con más especies de estrellas de mar, lo que sugiere que la fauna de asteroideos en el Caribe mexicano incluye un importante grupo de especies que se han extendido hacia el norte en zonas de aguas más frías como el norte del Golfo de México y la costa este de los estados Unidos de América. Caballero-Ochoa y Laguarda-Figueras (2010) utilizaron el Análisis de Parsimonia de Endemismo (PAE) para analizar las afinidades faunísticas de los pepinos de mar entre las provincias de la zona tropical del Océano Pacífico mexicano. Descubrieron que la provincia de Cortés era la más diversa, incluyendo 62 especies de holoturias. La provincia Panámica no estaba estrechamente relacionada con las provincias Pacífico Mexicana, Corteziana, Californiana, Clipperton, Revillagigedo e Islas Marianas. Otro trabajo importante es el de Hernández-Díaz (2011) quien también utilizó el método PAE para resolver la relación entre los equinodermos de los arrecifes de Yucatán, dicha autora encontró un "patrón anidado" de distribución, lo que sugiere que todas las especies que analizó pertenecen a la misma región zoogeográfica con elementos faunísticos del Golfo de México y Mar Caribe. Caballero-Ochoa (2011) realizó un análisis biogeográfico de la clase Holothuroidea en el Pacífico mexicano, encontrando que la provincia Corteziana era la más biodiversa. Este trabajo menciona que la provincia Panámica es probablemente un área transicional que no se ha nombrado desde el punto de vista biogeográfico. Martín-Cao-Romero (2012) analizó la biogeografía de la clase Asteroidea en la costa del Atlántico en México y utilizó como unidades geográficas operativas (UGO) las propuestas por

Wilkinson *et al.* (2009). El análisis de parsimonia de endemismos reconoció tres principales grupos (Mar Caribe, zona nerítica de Veracruz y la zona nerítica exterior de Campeche y Yucatán), además de encontrar UGOs que muestran menor afinidad biogeográfica con el resto (talud del norte del Golfo de México y la cuenca del Golfo de México). Garcés (2014) hizo un análisis de parsimonia de endemismos para analizar las afinidades biogeográficas de la clase Ophiuroidea en la costa del Pacífico mexicano utilizando UGO's de 1° de latitud, delimitando así seis regiones, en su investigación, indica que existe una continuidad dentro de ellas. Martínez-Melo *et al.* (2015) realizaron un análisis biogeográfico de los equinoideos irregulares de México, donde presentan un total de 69 especies incluidas en seis órdenes, 17 familias, y 36 géneros, distribuidas en 34 ecorregiones biogeográficas: 11 de la costa Atlántica y 23 de la costa Pacífica. En dicho trabajo, se delimitaron cuatro regiones biogeográficas Atlánticas y cinco Pacíficas. En la costa Atlántica, los factores ambientales que determinaron la distribución de los equinoideos irregulares fueron, principalmente el tipo de sedimento y las corrientes oceánicas, mientras que en la costa Pacífica fueron principalmente la profundidad y las corrientes oceánicas. Finalmente, Caballero *et al.* (2017) con 68 especies de equinodermos analizó los patrones de diversidad de equinoideos irregulares de México, usando la Panbiogeografía e identificó "hotspots", mediante trazos generalizados, como unidades de alta riqueza en aguas del territorio mexicano. En este estudio, la familia mejor representada fue la familia Brissidae, con 15 especies, la mayoría de ellas pertenecientes al género *Brissopsis*, seguida de la familia Mellitidae (con 12 especies), la mitad de ellas pertenece al género *Encope*. Las familias de erizos de mar irregulares con menor número de especies fueron: Echinoneidae, Plexechinidae, Palaeotropidae y Paleopneustidae, cada una representada por una sola especie. Se reconocieron los siguientes patrones generales de distribución: 1) grupos de especies ampliamente distribuidas y 2) especies restringidas que viven en los primeros metros de profundidad (0-20 m). Se obtuvieron tres áreas con alta riqueza específica: Costa Oeste del Golfo de México, Banco de Campeche / Caribe Mexicano y Golfo de California. El área del Golfo de California tiene la mayor diversidad de equinoides irregulares.

Es importante señalar que, a medida que se realicen más estudios para el reconocimiento de los patrones de distribución de los equinodermos en aguas marinas del territorio mexicano, se podrá identificar con mayor precisión áreas prioritarias de conservación, además de contribuir al conocimiento de la biogeografía histórica del grupo.

LA BIOTECNOLOGÍA MARINA DEL PEPINO DE MAR Y EL APROVECHAMIENTO EN MÉXICO

En México, algunas especies de erizos y pepinos de mar se pescan comercialmente, principalmente se consumen por el alto contenido en proteínas de las gónadas (erizos) y la pared del cuerpo y por sus propiedades curativas (pepinos de mar). En México los pepinos de mar que se extraen sólo para su exportación, ya que no se consumen en ninguna de sus presentaciones, son las siguientes: *Actinopyga agazzizi*, *Holothuria mexicana*, *Holothuria impatiens*, *Holothuria atra*, *Holothuria kefersteinii* (Fig. 5d), *Holothuria inornata*, *Holothuria floridana*, *Holothuria grisea*, *Holothuria arenicola* (Fig. 5b), *Holothuria thomasi*, *Isostichopus fuscus* (Fig. 4e), *Isostichopus badionotus*, *Apostichopus parvimensis*, *Astichopus multifidus* y *Parastichopus californicus*. Las pesquerías de estas especies en México comenzaron tras el agotamiento de los pepinos de mar en las zonas tradicionales de pesca como en otros lugares del mundo y por la extracción manual de multi especies siendo, el mercado asiático, el principal consumidor; incluyendo en el medio oriente centros de re-exportación importantes. En México se ha incrementado la extracción de pepinos de mar con diferentes técnicas desde los años 90 hasta la fecha trayendo consigo consecuencias ecológicas, económicas e incluso políticas. El proceso que se lleva a cabo en la extracción y manejo del pepino de mar es: recepción en planta, muerte y evisceración, limpieza, primera cocción, salmuera, segunda cocción, deshidratación, empaque y exportación. El mejoramiento y la innovación aplicado en el manejo de los productos contribuye dando un valor agregado dentro de la industria pesquera

siendo más competitivo en los mercados asiáticos e incluso en otros mercados. Actualmente se desarrollan biotecnologías para la transformación de este recurso, el cual es considerado como uno de los que cuentan con el mayor potencial del mundo, algunas de estas son: 1) procesamiento y extracción de compuestos bioactivos con actividad antioxidante, hormonas, enzimas, lípidos y péptidos, 2) biodisponibilidad, 3) extracción de fibras de colágeno para la industria farmacéutica y cosmética (aplicaciones dermatológicas y antisépticas, 4) procesamiento constante de semilla de pepino de mar e 5) identificación de microorganismos en el intestino para facilitar el desarrollo de la especie. La biotecnología del pepino de mar y su mejoramiento en México coadyuvará con el uso sustentable desarrollado bajo un enfoque ecosistémico y el uso racional del recurso recuperando las poblaciones naturales y disminuyendo la presión pesquera.

ESTUDIOS DE ARQUEOZOOLOGÍA DE EQUINODERMOS EN MÉXICO

En las excavaciones de los asentamientos rurales de la Cuenca de México que datan del periodo Posclásico Tardío (siglos XIV-XVI d.C.), los arqueólogos suelen recuperar restos de fauna silvestre local que era capturada por los campesinos para servirse de ella como alimento o como materia prima en la confección de instrumentos y ornamentos. Sobresalen, en orden de abundancia, los patos, los conejos, las ranas, los venados, las tortugas, los armadillos, las codornices, los peces y los moluscos de agua dulce (López Lujan *et al.*, 2018). Obviamente, también se encuentran con frecuencia huesos de animales domesticados como el guajolote y el perro. En cambio, son mucho más variados los vestigios de animales hallados en los asentamientos urbanos que eran vecinos y contemporáneos a las aldeas, más aún cuando se exploran sus palacios y centros ceremoniales. Esto es particularmente evidente en el recinto sagrado de la antigua ciudad de Tenochtitlan, cuyos depósitos rituales (ofrendas) se distinguen por una inusitada riqueza y diversidad biológicas. Tales ofrendas fueron enterradas por los mexicas dentro de los edificios religiosos y bajo los pisos de las plazas para consagrar las ampliaciones de

sus templos, conmemorar las festividades especiales de su calendario solar o apaciguar a sus dioses. Cada una de estas ofrendas contenía todo tipo de regalos, incluidos minerales en bruto, plantas, animales, restos humanos y artefactos.

Tras cuatro décadas de trabajos, los miembros del Proyecto Templo Mayor (PTM) han exhumado decenas de miles de individuos, pertenecientes a cientos de especies faunísticas que se agrupan en seis filos diferentes: las esponjas, los celenterados, los equinodermos, los artrópodos, los moluscos y los cordados. Por lo general, no se trata de animales comestibles, sino de aquellos a los que se atribuían en tiempos prehispánicos profundos valores cosmológicos y divinos. Por tal razón, sus restos, más que hablarnos de la dieta o de las actividades artesanales del habitante ciudadano promedio, nos informan cuáles eran los usos simbólicos que los miembros de las elites les daban a estos organismos. Existe un claro predominio de especies endémicas de regiones bastante alejadas de la Cuenca de México. Estos fueron importados por los mexicas desde prácticamente todos los rincones del imperio y más allá, desde ecosistemas contrastantes como bosques tropicales, zonas templadas, ambientes marinos, estuarios, lagunas costeras y manglares.

En los últimos años y gracias a la cuidadosa recuperación y análisis de todo tipo de sedimentos que se encontraron en las ofrendas, se han identificado vestigios de 15 especies de equinodermos, cuyas estructuras vulnerables tienden a desintegrarse en el subsuelo a través de los siglos. Estos incluyen ocho especies de erizos de mar (*Eucidaris thouarsii* [Fig. 6], *Echinometra vanbrunti* [Fig. 7], *Tripneustes depressus*, *Clypeaster speciosus* [Fig. 8], *Encope laevis* [Fig. 9], *Mellita quinquiesperforata* [Fig. 10], *Mellita notabilis*, *Meoma ventricosa grandis* [Fig. 11]), seis especies de estrellas de mar (*Luidia superba*, *Astropecten duplicatus*, *Astropecten regalis*, *Pentaceraster cumingi*, *Nidorellia armata* [Fig. 12] y *Phataria unifascialis* [Fig. 13]) y una especie de Ophiuroidea (*Ophiothrix rudis*) (Fig. 14). Estos organismos fueron recuperados dentro de las ofrendas 1, 5, 7, 17, 57, 81, 84, 88, 102, 107, 120, 124-126, 136, 137, 141, 143, 163, 166 y la operación 1. Datan desde tiempos de Ahuítzotl, soberano mexica que reinó desde 1486 hasta 1502 d.C., y cuyas conquistas alcanzaron las costas del Golfo de México y del Océano Pacífico.

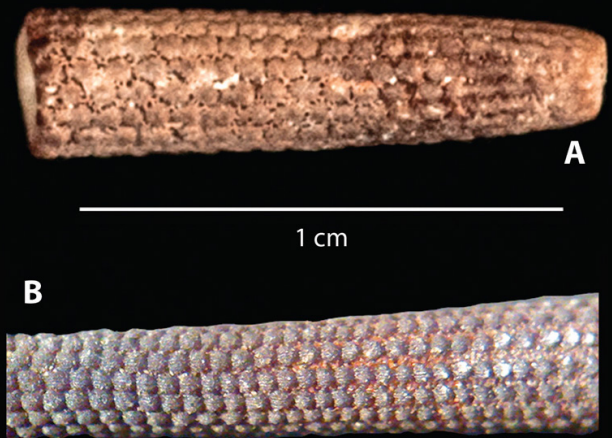


Figura 6. *Eucidaris thouarsii*. A. Espina primaria de un espécimen arqueológico; B. Espina primaria de un espécimen no arqueológico.

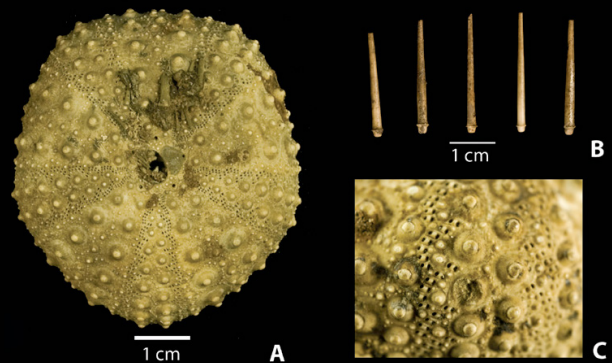


Figura 7. *Echinometra vanbrunti* (espécimen arqueológico). A. Testa completa; B. Espinas primarias; C. Detalles de arco poros ambulacrales.

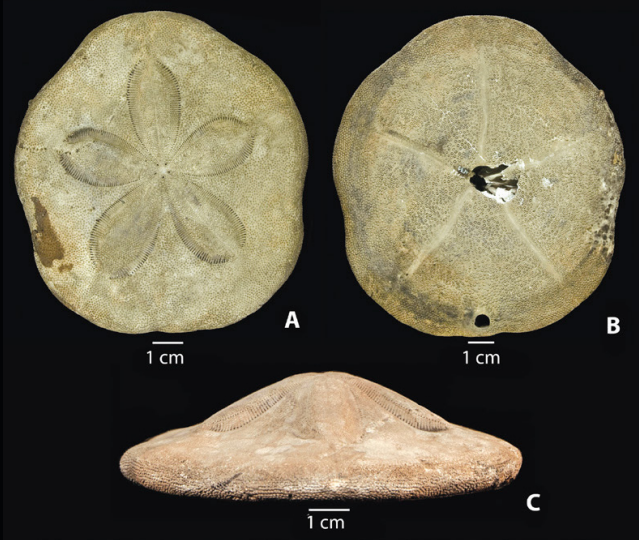


Figura 8. *Clypeaster speciosus* (espécimen arqueológico). A. Vista aboral; B. Vista oral; C. Vista lateral.

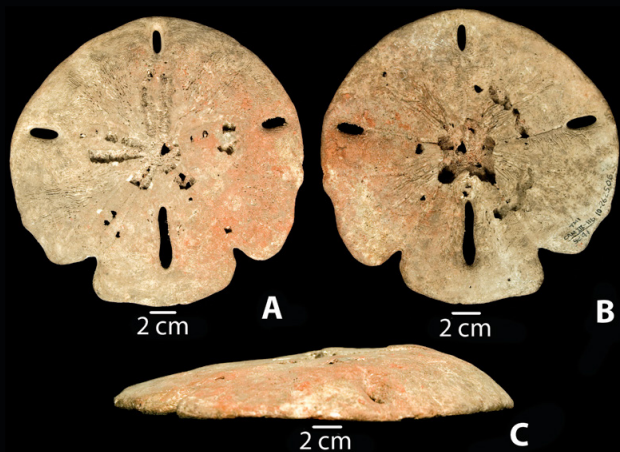


Figura 9. *Encope laevis* (especimen arqueológico). A. Vista aboral; B. Vista oral; C. Vista lateral.

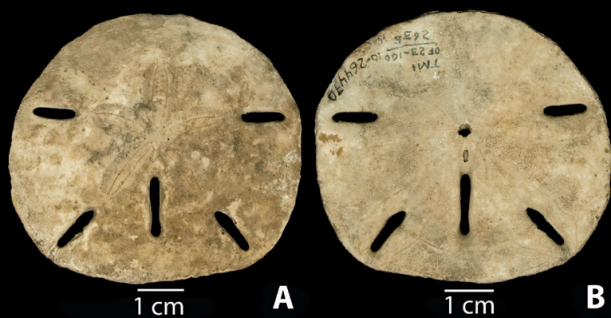


Figura 10. *Mellita quinquiesperforata* (especimen arqueológico). A. Vista aboral; B. Vista oral.

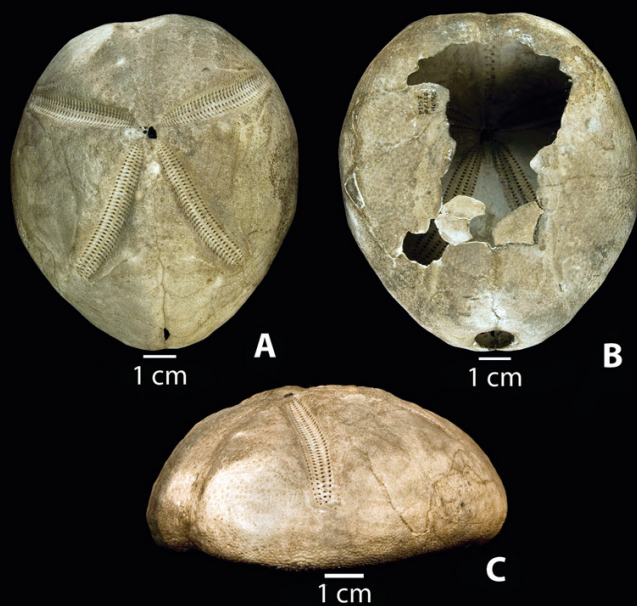


Figura 11. *Meoma ventricosa grandis* (especimen arqueológico). A. Vista aboral; B. Vista oral; C. Vista lateral.

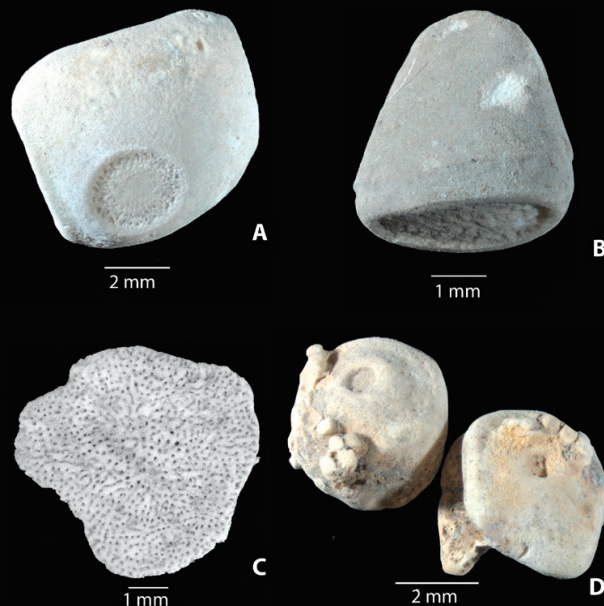


Figura 12. *Nidorellia armata* (especímenes arqueológicos). A. Placa marginal; B. Espina marginal; C. Placa madreporica; D. Placas abactinales.

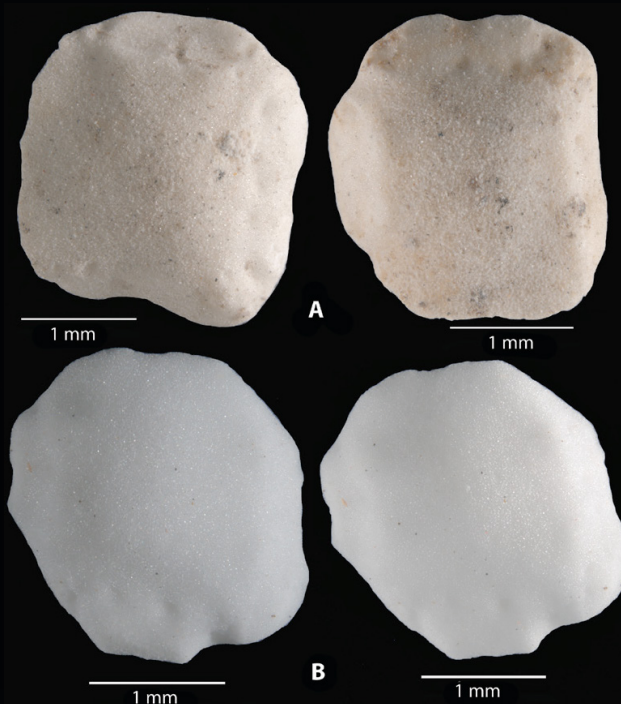


Figura 13. *Phataria unifascialis*. A. Especimen arqueológico, placas carinales; B. Especimen no arqueológico, placas carinales.

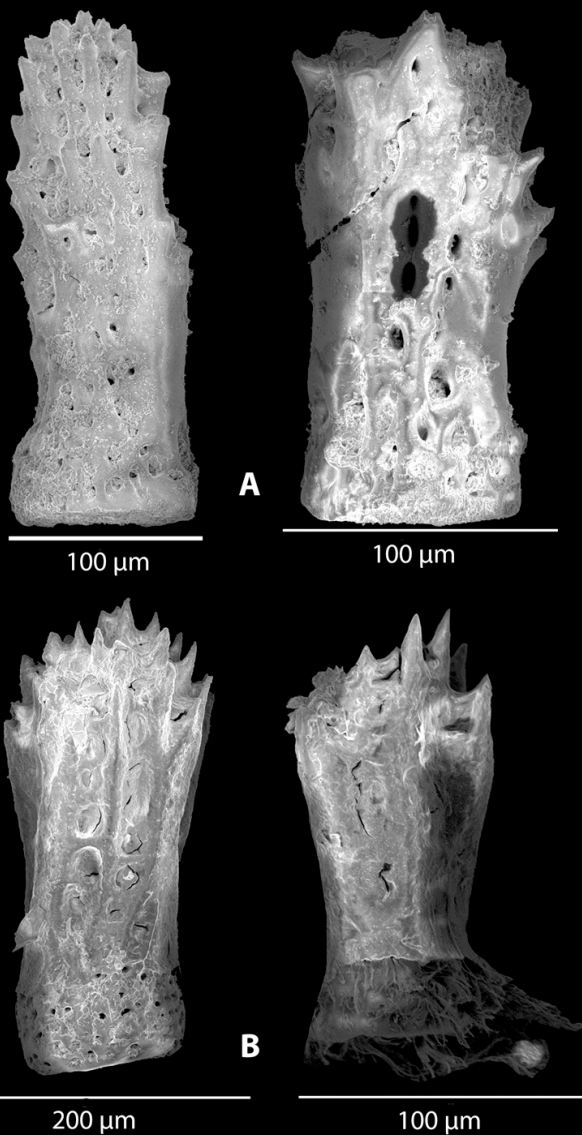


Figura 14. *Ophiothrix rudis*. A. Espinas del disco de un espécimen arqueológico; B. Espinas del disco de un espécimen no arqueológico.

En lo que se refiere a la distribución cronológica de los restos de estrellas de mar, López Luján y colaboradores (2018) llegaron a las siguientes conclusiones: en la etapa IVb, correspondiente al reinado de Axayácatl (1469-1481), se identificaron restos de *Nidorellia armata* en tres ofrendas. En la etapa V, erigida durante el gobierno de Tízoc (1481-1486), se hallaron nuevamente restos de *Nidorellia armata*, pero también de *Pentaceraster cumingi* y de *Patharia unifascialis* en una ofrenda. En la etapa VI, construida por órdenes de Ahuítzotl (1486-1502), había restos de las seis especies en nueve ofrendas. Finalmente, para la etapa VII, comisionada por Motecuhzoma Xocoyotzin (1502-1520), se tienen las especies *Nidorellia armata*, *Pentaceraster cumingi*, *Patharia unifascialis* y *Astropecten regalis* en siete ofrendas. En términos generales, se puede decir que los mexicas enterraron estrellas de mar en sus depósitos rituales al menos durante medio siglo. De manera concomitante, la diversidad de especies explotadas aumentó conforme avanzó el tiempo y se incrementó el poderío del imperio mexica en el litoral pacífico de Guerrero, Oaxaca y Chiapas (López Luján et al., 2018). Con lo anterior, se puede constatar la enorme trascendencia de las estrellas de mar en la simbología religiosa de casi todas las civilizaciones prehispánicas del Centro de México. Si se remonta al periodo Clásico (siglos II-VI), se constata que los asteroideos son prácticamente omnipresentes en el arte de Teotihuacan: allí prolifera tanto la notación llamada “estrella A”, la cual tiene cinco brazos y un círculo central completo, como la notación “media estrella”, que también posee cinco brazos pero con un medio círculo. Estas dos notaciones se vinculan a escenas propias del mundo acuático de la cosmovisión mesoamericana. Por lo general, las vemos junto a conchas, caracoles y nenúfares; sumergidas en flujos de agua, o calificando tanto los trajes de felino que lucen sacerdotes dadores de los mantenimientos como el cuerpo de animales asociados con el inframundo. De manera significativa, de la porción central de las estrellas marinas suele emerger el rostro del dios de la lluvia en actitud de echar por la boca una corriente acuática. Los artistas teotihuacanos también plasmaron estrellas de cinco puntas alrededor o en el interior de montañas sagradas, así como en cuevas, manantiales o espejos de agua que servían de acceso al más allá.

AGRADECIMIENTOS.

Agradecemos a Mirsa Islas Orozco (PTM) por las fotos que ilustran la sección de arqueozoología de equinodermos de México.



LITERATURA CITADA

- Brusca, R.C., Moore, W. y Shuster, M. 2016. *Invertebrates*, third edition. Massachusetts, USA, Sinauer Associates, Inc. 1104 p.
- Caballero-Ochoa, A. A. 2011. *Zoogeografía de holoturoideos (Echinodermata: Holothuroidea) del Pacífico mexicano*. Tesis de maestría, ICML-UNAM. Ciudad de México, México. 81 pp.
- Caballero-Ochoa A. A. y Laguarda-Figuera, A. 2010. Zoogeography of holothurians (Echinodermata: Holothuroidea) of the Mexican Pacific Ocean. In: Reich M, Reitner J, Roden V, Thuy B (eds.) *Echinoderm research 2010, 7th European Con Echinoderms*, Göttingen: abstract volumen and field guide to excursions. University of Göttingen, Germany, pp 26-27.
- Caballero-Ochoa A.A., Martínez-Melo A., Conejeros-Vargas C.A., Solís-Marín F.A. y A. Laguarda-Figuera. 2017. Diversidad, patrones de distribución y hotspots de los equinoideos irregulares (Echinoidea: Irregularia) de México: un estudio de caso. *Estudios Latinoamericanos en Equinodermos IV. Revista Biología Tropical*, 65 (suplemento 1): 42-59.
- Caso, M. E. 1962. Estudios sobre equinodermos de México. Contribución al conocimiento de los equinodermos de las Islas Revillagigedo. *Anales del Instituto de Biología*, Universidad Nacional Autónoma de México. 33: 293-330.
- Caso, M. E. 1979. Descripción de una nueva especie de ofiuroides de la laguna de Términos, *Amphiodia guillermosoberoni* sp. nov. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología*, Universidad Nacional Autónoma de México. 6:161-184.
- Durán-González, A., A. Laguarda-Figuera, F. A. Solís-Marín, B. E. Buitrón Sánchez, C. A. Gust y J. Torres-Vega. 2005. Equinodermos (Echinodermata) de las aguas mexicanas del Golfo de México. *Revista de Biología Tropical*. 53(Supl. 3): 53-68.
- Eaves, A. A. y A. R. Palmer. 2003. Widespread cloning in echinoderm larvae. *Nature*. 425: 146.
- Garcés, P. J. 2014. *Biogeografía de ofiuroides (Echinodermata: Ophiuroidea) del Pacífico mexicano*. Tesis de maestría, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. 211 pp.
- Hendler, G., J. E. Miller, D. L. Pawson y P. M. Kier. 1995. *Sea Stars, sea urchins & Allies: Echinoderms of Florida & the Caribbean*. Smithsonian Institution Press, Washington. 390 p.
- Hernández-Díaz Y. Q. 2011. *Zoogeografía de equinodermos (Echinodermata) de los Bajos de Sisal y Arrecife Alacranes Yucatan, México*. Tesis de maestría, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. 131 pp.
- Honey-Escandón, M., F. A. Solís-Marín y A. Laguarda-Figuera. 2008. Equinodermos (Echinodermata) del Pacífico Mexicano. *Revista de Biología Tropical*. 56 (Supl. 3): 57-73.
- Hyman, L. H. 1955. *The Invertebrates*, vol. 4: Echinodermata, the Coelomate Bilateria. McGraw Hill, New York. 763 p.
- Laguarda-Figuera, A., F. A. Solís-Marín, A. Durán-González, P. Hernández Pliego y R. Del Valle-

- García. 2001. Holoturoideos (Echinodermata: Holothuroidea) del Caribe Mexicano: Puerto Morelos. *Avicennia*. 14: 7-46.
- Laguarda-Figueras A, Torres-Vega J, Solís-Marín FA, Mata-Pérez E, Durán-González A, Abreu M. 2002. Los asteroideos (Echinodermata: Asteroidea) del Caribe Mexicano: Incluyendo comentarios sobre su zoogeografía. *Avicennia*. 15: 1-8.
- Laguarda-Figueras, A., A. I. Gutiérrez-Castro, F. A. Solís-Marín, A. Durán-González y J. Torres-Vega. 2005a. Equinoideos (Echinodermata: Echinoidea) del Golfo de México. *Revista de Biología Tropical*. 53(Supl. 3): 69-108.
- Laguarda-Figueras, A., F. A. Solís-Marín, A. Durán-González, C. Ahearn, B. E. Buitrón Sánchez y J. Torres-Vega. 2005b. Equinodermos (Echinodermata) del Caribe Mexicano. *Revista de Biología Tropical*. 53(Supl. 3): 109-122.
- López Luján, L., Solís-Marín F. A., Zúñiga-Arellano, B., Caballero Ochoa, A. A., Conejeros Vargas C. A., Martín Cao-Romero, C. y Elizalde Mendez, I. 2018. Del océano al altiplano. Las estrellas marinas del templo mayor de Tenochtitlan. *Arqueología Mexicana*. 25(150): 68-76.
- Lluch-Cota S. E., Eugenio A Aragon-Noriega, Francisco Arreguín-Sánchez, David Auriol-Gamboa, J Jesus Bautista-Romero, Richard C Brusca, Rafael Cervantes-Duarte, Roberto Cortés-Altamirano, Pablo Del-Monte-Luna, Alfonso Esquivel-Herrera, Guillermo Fernández, Michel E Hendrickx, Sergio Hernández-Vázquez, Hugo Herrera-Cervantes, Mati Kahru, Miguel Lavín, Daniel Lluch-Belda, Lluch-Cota D. B., López-Martínez J., Marinone S. G., Manuel O Nevárez-Martínez, Ortega-García S., Palacios-Castro E., Parés-Sierra A., Germán Ponce-Díaz, Mauricio Ramírez-Rodríguez, Cesar A Salinas-Zavala, Richard A Schwartzlose, A. P Sierra-Beltrán. 2007. The Gulf of California: review of ecosystem status and sustainability challenges. *Progress in oceanography*. 73(1): 1-26.
- Martín Cao-Romero, C. 2012. *Biogeografía de la clase Asteroidea (Blainville, 1830) de las aguas mexicanas del Golfo de México y Caribe mexicano*. Tesis de maestría, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. 337 pp.
- Martínez-Melo, A. Solís-Marín, F. A., Buitrón-Sánchez, B. E. y Laguarda-Figueras, A. 2015. Taxonomía y biogeografía ecológica de los equinoideos irregulares (Echinoidea: Irregularia) de México. *Revista de Biología Tropical*. 63(2): 59-75.
- Parker, R. H. .1963. *Zoogeography and ecology of macroinvertebrates of the Gulf of California and continental slope of Western Mexico*. In: Van Andel TH, Shor GGJr (eds) *Marine geology of the Gulf of California*. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, pp 331-376.
- Pawson, D. L. 2007. Phylum Echinodermata. *Zootaxa*. 1668: 749-764.
- Pawson, D. L., D. Vance, C. G. Messing, F. A. Solís-Marín y C. L. Mah. 2009. 71. *Echinodermata of the Gulf of Mexico*. Pp. 1177-1204, In: Felder, D.L. and D. K. Camp. 2009. *Gulf of Mexico, Origin, Waters, and Biota*. Biota Volume. 1, Biodiversity. Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies Series. Texas A&M University Press. College Station, Texas. 1393 pp.
- Samyn, Y., D. Vandenspiegel y C. Massin. 2006. Taxonomie des holothuries des Comores. *AbcTaxa*. 1:1-130.
- Sibuet, M. y K. Olu. 1998. Biogeography, biodiversity and fluid dependence of deep-sea cold-seep communities at active and passive margins. *Deep-Sea Research II*. 45: 517-567.
- Solís-Marín, F. A. y A. Laguarda-Figueras. 2008. Equinodermos. In *Biodiversidad acuática de la Isla de Cozumel*, Mejía-Ortiz. L. M. (ed.). CONABIO-Universidad de Quintana Roo-Plaza y Valdés, D. F. p. 187-214.
- Solís-Marín, F. A. y A. Laguarda-Figueras. 2010. A new species of starfish (Echinodermata: Asteroidea) from an anchialine cave in the Mexican

Caribbean. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 81: 663-668.

Solís-Marín, F. A., M. D. Herrero-Pérezrul., A. Laguarda-Figueras y J. Torres-Vega. 1993. Asteroideos y equinoideos de México (Echinodermata). In *Biodiversidad marina y costera de México*. Salazar-Vallejo, S. I. y N. E. González (eds.). CONABIO-CIQRO, México. p. 91-105.

Solís-Marín, F. A., A. Laguarda-Figueras, A. Durán-González, C. Ahearn-Gust y J. Torres-Vega. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical* .53(Supl. 3): 123-137.

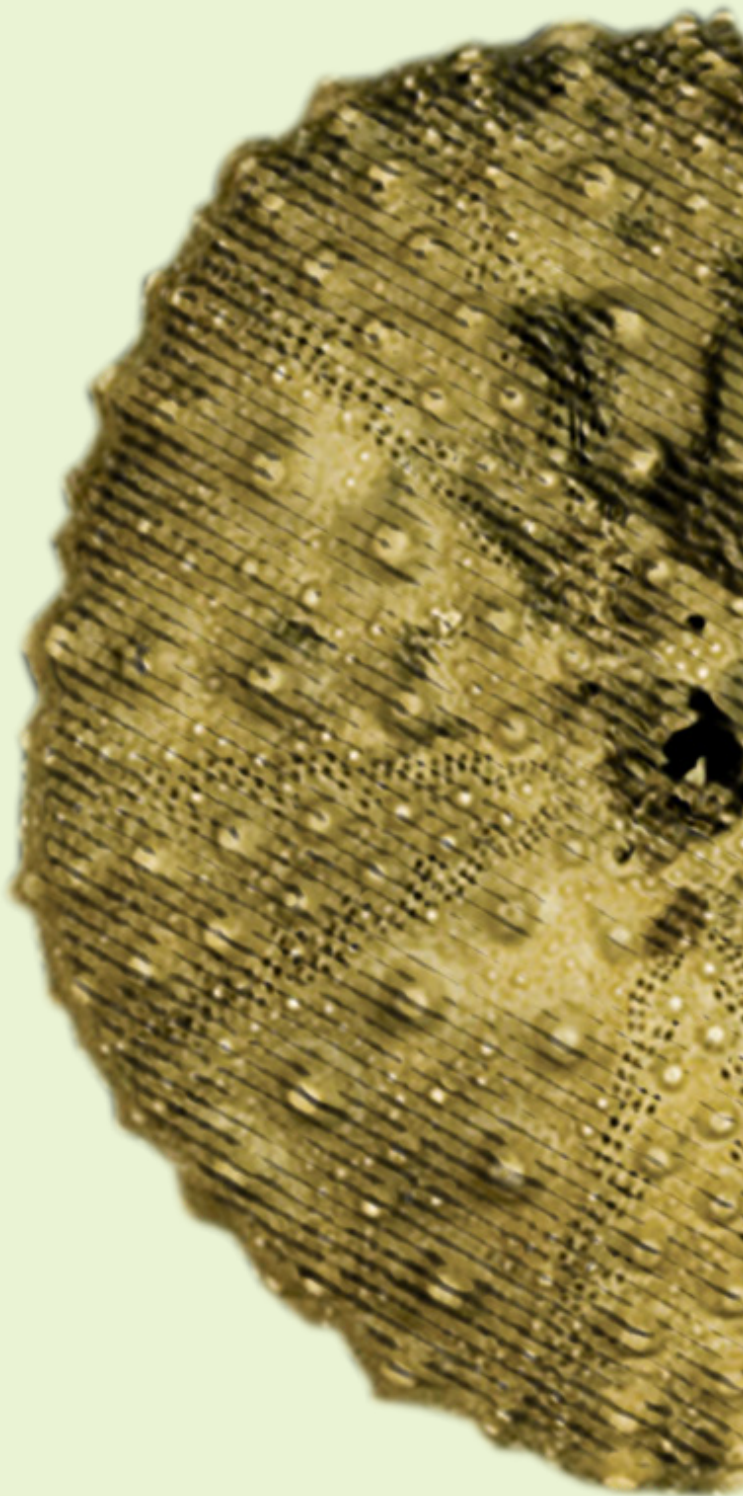
Solís-Marín, F. A., Arriaga-Ochoa, J. A., Laguarda-Figueras, A., Frontana-Uribe C. S. y A. Durán-González. 2009. *Holoturoideos del Golfo de California*. CONABIO-UNAM. 165 pp.

Solís-Marín, F. A., A. Laguarda-Figueras, F. Vázquez-Gutiérrez, L. Mejía y G. Yáñez. 2010. Echinoderm fauna of Anchialine caves in Cozumel Island, Mexico. In *Echinoderms: Durham: Proceedings of the 12th International Echinoderm Conference, 7-11 August 2006*, L. G. Harris (ed.). Durham, New Hampshire. p. 259-261.

Solís-Marín F. A., M. B. I. Honey-Escandón, M. D. Herrero-Pérezrul, F. Benítez-Villalobos, J. P. Díaz-Martínez, B. E. Buitrón-Sánchez, J. S. Palleiro-Nayar y A. Durán-González. 2013. *The echinoderms of Mexico: biodiversity, distribution and current state of knowledge*. In *Echinoderm research and diversity in Latin America*, J. J. Alvarado-Barrientos y F. A. Solís-Marín (eds.). Springer-Verlag, Berlin. p. 11-65.

Solís-Marín F. A., Laguarda-Figueras A. y M. Honey-Escandón. 2014. Biodiversidad de equinodermos (Echinodermata) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. Supl, 85: 441-449.

Wilkinson T., Wiken E., Bezaury Creel J., Hourigan T., Agardy T., Herrmann H., Janishevski L., Madden C., Morgan L. y Padilla M. 2009. *Ecorregiones marinas de América del Norte*. Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, 200 pp.





Palabras clave: *Catán, Atractosteus spatula, Conservación.*
Key Word: *Alligator gar, Atractosteus spatula, conservation.*

EL CATÁN:

RESCATE DE UN RECURSO ACUÍCOLA

Roberto E. Mendoza Alfaro, Carlos J. Aguilera González, Jesús Montemayor Leal.
Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Grupo de Ecofisiología.



RESUMEN

El catán (*Atractosteus spatula*) es el pez dulceacuícola de mayor tamaño en las aguas continentales cercanas al Golfo de México. Muchas de sus poblaciones han venido declinando no solo en abundancia, sino en su área de distribución y tamaño individual como consecuencia de la sobreexplotación pesquera, la alteración y desaparición de sus hábitats de origen, su alto nivel trófico (i.e. predadores tope) y gran longevidad. Considerando este contexto, el Grupo Ecofisiología de la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL, diseñó un conjunto de estrategias de investigación para desarrollar su cultivo en cautiverio y disminuir así la presión por la actividad pesquera dando así solución a un problema de índole faunístico, por ser una especie endémica cuyas poblaciones naturales tienden a desaparecer; de índole comercial, por tratarse de una pesquería tradicional; y de un gran valor científico, por tratarse de organismos primitivos que convivieron con los dinosaurios. Se presentan los resultados de 20 años de estudios en el presente manuscrito.

INTRODUCCIÓN

El catán (*Atractosteus spatula*) es un pez dulceacuícola perteneciente a la familia de los Lepisosteidos, la cual incluye siete especies de peces primitivos fácilmente reconocibles por sus escamas en forma de diamante y su hocico alargado. Entre las características distintivas de estos peces destaca la presencia de una válvula espiral en el intestino, al igual que en los tiburones; su vejiga natatoria les permite obtener oxígeno del aire atmosférico y la aleta caudal es de forma asimétrica.

El catán se distribuye a lo largo de la costa este de Norteamérica, en las inmediaciones del Río Mississippi hacia el sur, hasta el estado de Veracruz en México. Se distingue del resto de los lepisosteidos por ser la especie de mayor tamaño, ya que llega a medir hasta 3 m. Estos peces se han venido capturando regularmente en las aguas continentales cercanas al Golfo de México (Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí y Veracruz), donde al ser apreciados por la calidad de su carne, por su tamaño y facilidad para filetear, se ha establecido desde hace muchos años una pesquería tradicional. Sin embargo, al no existir normas que regularan su captura, las poblaciones declinaron drásticamente, principalmente debido a la explotación desmedida durante la temporada de reproducción, ya que es el momento en que los individuos más grandes presentan más actividad en la superficie del agua. Al mismo tiempo, estos peces también han sido objeto de la pesca deportiva ya que su tamaño los convierte en un atractivo trofeo. Esta situación se agravó con la reducción o desaparición de sus áreas naturales de desove como consecuencia de la rápida expansión agrícola y urbana, así como por la construcción de presas y la contaminación del medio acuático. Esto se reflejó en la reducción en los niveles de captura de miles de toneladas que se pescaban a sólo catorce toneladas en 1988 en Tamaulipas y una tonelada para 1996. En consecuencia, la perturbación de sus poblaciones ocasionaba, no solo la privación de un recurso tradicional para los pescadores y comerciantes de la región Noreste, sino también el riesgo de que la especie se extinguiera. Esta situación no es exclusiva de México, ya que en diversas regiones de Norte

América se ha propuesto como especie amenazada. De aquí, que la conservación de la especie fuera el objetivo principal del *Grupo Ecofisiología* de la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL, que en ese momento diseñó una estrategia para dar solución a un problema de índole faunístico, por ser una especie endémica cuyas poblaciones tienden a desaparecer; de índole comercial, por tratarse de una pesquería tradicional; y de un gran valor científico, por tratarse de organismos primitivos que convivieron con los dinosaurios (Mendoza et al., 2010).

Ante esta situación, en 1982, el INAPSCA (Instituto Nacional de Pesca) perteneciente a la SEMARNAP (Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca), antecesora de la SAGARPA (la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) canalizó sus esfuerzos para la producción de crías de catán con el objetivo de incrementar las poblaciones naturales, llegando en algunos años



a producir hasta 415,000 crías, mismas que fueron destinadas a programas de repoblación. Sin embargo, se enfrentaron al obstáculo de la alimentación de las larvas, las cuales requieren de una gran cantidad de alimento vivo, debido a su voracidad característica, como consecuencia de su rápido crecimiento. Esto a menudo provocaba diferencias de tallas y la incidencia de un fuerte canibalismo, haciendo necesaria la liberación de las crías en un estadio muy prematuro, con lo que se interrumpía el ciclo de cultivo y la mayoría de estas solo servía de alimento para peces más grandes. Para resolver este obstáculo, en 1997, nuestro grupo de investigación planteó el *Programa para la recuperación del catán*, cuyos objetivos han estado dirigidos al conocimiento básico de la especie como base para solventar los problemas técnicos del cultivo como una medida directa para la conservación *in situ* de la especie y apoyar su

acuicultura para disminuir así la presión sobre sus poblaciones naturales. Los puntos que se han abordado en el Programa son presentados a continuación.

LOTES DE REPRODUCTORES

El principal lote de reproductores de catán se mantenía en el Centro Acuícola Tancol, dependiente de la SAGARPA, en Tampico Tamaulipas, y se formó a mediados de la década de los ochentas, con ejemplares capturados por los pescadores de la región. Estos organismos eran considerados como patrimonio de la Nación, sin embargo, debido a diversos problemas, entre los que destacan la longevidad de estos ejemplares (algunos de más de 35 años), la producción de crías era errática. Considerando lo anterior se planteó la alternativa de formar nuevos lotes de reproductores llevando a cabo un seguimiento histórico de cada individuo, como una medida inmediata para incrementar la disponibilidad de larvas y de esta manera recuperar las poblaciones amenazadas. Para este propósito, se identificó el sexo de los 40 ejemplares de Tancol y fueron marcados individualmente mediante microchips. Un nuevo lote constituido a partir de la captura de 30 juveniles silvestres fue formado por el *Grupo Ecofisiología* y la Asociación de Acuicultores de Tamaulipas en el "Centro Acuícola El Huasteco", y, por otra parte, nuestro grupo mantuvo un lote de 10 organismos en cautiverio en las instalaciones de la FCB de la UANL por más de 10 años para formar un tercer lote de reproductores. De la misma manera, los individuos de estos dos últimos lotes fueron marcados con microchips. El manejo y zootecnia de estos lotes se ha centrado en la manipulación de distintos parámetros fisicoquímicos y biológicos, con miras a incrementar su capacidad reproductiva y al mismo tiempo para disponer de organismos en cantidad suficiente para realizar diversos ensayos de inducción hormonal para su reproducción.

Figura 1. Ejemplares adultos de catán *Atractosteus spatula*





Figura 2. Manejo del catán en las instalaciones de la FCB, UANL.

DETERMINACIÓN DEL SEXO DE LOS REPRODUCTORES

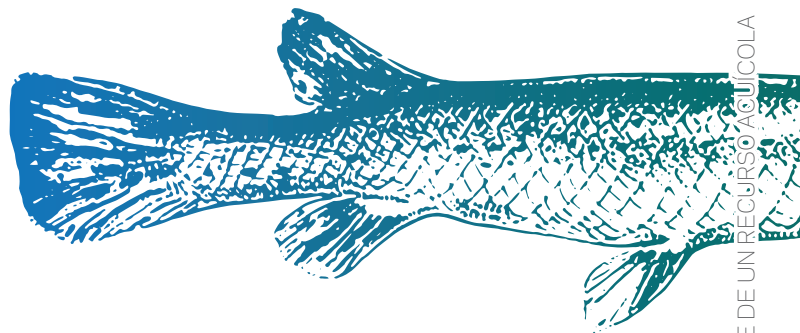
Un aspecto esencial para la constitución adecuada de un lote de reproductores es el sexado correcto de los animales, ya que de la proporción de hembras y machos dependerá el éxito del desove. Sin embargo, en el caso de los lepisosteidos esto sólo es posible después de 4 a 6 años, tiempo que tardan en alcanzar su madurez sexual. Los métodos implementados para distinguir el sexo de estos peces estaban basados tradicionalmente en el dimorfismo de ciertas estructuras morfológicas (tamaño del hocico, apariencia del vientre y papila genital), o en la diferenciación de los ductos de las gónadas de hembras y machos, sin embargo, en este último caso se requiere sacrificar al animal. Por otra parte, estos métodos carecen de precisión, en particular al tratarse de jóvenes reproductores. Nuestras investigaciones generaron una alternativa práctica para facilitar el sexado de los organismos, la cual igualmente permite estimar su grado de madurez. El desarrollo del método requirió del aislamiento y purificación de la *vitelogenina*, una proteína producida exclusivamente por hembras que aparece en la pubertad y cuya concentración se incrementa con el desarrollo del ovario. En el caso del catán, esta proteína se utilizó para producir anticuerpos, mismos que fueron empleados para establecer un inmunoensayo (ELISA) que permitió cuantificar los niveles de éstas moléculas. Esta aproximación significó no solo contar con un índice bioquímico confiable para estimar el grado de madurez sexual, sino también con un método de sexado rápido, preciso y poco invasivo, ya que se utiliza solo una pequeña cantidad de sangre o mucus. Así mismo, la determinación de esta molécula permitió estimar la efectividad de las inducciones hormonales para que los organismos alcanzaran la madurez sexual,

constituyendo una alternativa idónea en estos animales ya que, a diferencia de la mayoría de los peces, la estructura de sus conductos genitales no permite canularlos para estimar el grado de maduración (Mendoza et al., 2012).

CONTROL DE LA REPRODUCCIÓN

A pesar de la existencia de algunas descripciones sobre la reproducción de los lepisosteidos, se conocía muy poco acerca de los aspectos básicos sobre sus hábitos reproductivos. La información empírica más importante correspondía a las observaciones realizadas en el medio natural por diversos autores norteamericanos sobre varias de las especies de la familia y las observaciones realizadas en el Centro Acuícola Tancol. Durante los primeros años del programa, uno de los principales problemas para la obtención de crías de catán era su limitada temporada de reproducción, la cual se restringía únicamente a un par de semanas al año. Ante esta situación, el Grupo *Ecofisiología* se dio a la tarea de obtener al menos dos desoves al año, fuera de la temporada de reproducción natural.

En este contexto, para inducir la reproducción normalmente se recurre a dos tipos de estímulos: medioambientales y hormonales. La vía medioambiental permite la obtención de crías de mayor calidad, una mínima manipulación de los progenitores, bajas mortalidades y la independencia de inductores químicos. Sin embargo, se requiere de una infraestructura que permita regular el fotoperiodo y la temperatura, así como de una alimentación especial. En el caso del catán, se han simulado las condiciones de las áreas naturales de desove para de esta manera provocar la reproducción de la especie en cautiverio. Para este efecto se habilitan estanques aparentando las zonas pantanosas donde



normalmente se reproduce y desova la especie; esto se logra introduciendo vegetación típica de las zonas de desove, o un sustituto como ramas de casuarina que sirven como sustrato para los huevecillos de naturaleza adherente.

En el otro extremo, la inducción por medio de la manipulación hormonal ofrece múltiples ventajas, entre las cuales destaca la posibilidad de extender el ciclo reproductivo más allá de la temporada natural, lo que repercute en una mayor producción de crías y la flexibilidad en la programación de la producción de larvas sin necesidad de emprender modificaciones ambientales onerosas. Con la finalidad de ganar un mayor control de la reproducción, se indujo la maduración sexual a organismos de tres lotes de reproductores de catán, por medio de la aplicación de diferentes hormonas. Los protocolos hormonales de inducción de la reproducción se realizaron anualmente en fechas anteriores (abril) y posteriores (septiembre y octubre) a la fecha de desove natural que se presenta a finales del mes de mayo y principios del mes de junio. Estos protocolos permitieron producir desoves con hasta 70% de viabilidad fuera de la temporada natural de reproducción (Mendoza, et al., 2003).

DESARROLLO LARVARIO

La sensibilidad de las larvas de peces a la falta de alimento, particularmente después de la absorción del vitelo, influye negativamente sobre sus posibilidades de sobrevivencia. Por este motivo, emprendimos diferentes investigaciones con la finalidad de desarrollar indicadores de la condición nutricional que nos permitieran no solo detectar los estados iniciales de inanición, sino también evaluar el aprovechamiento de distintos regímenes alimenticios. De esta forma, como primera aproximación, recurrimos al estudio de las características morfológicas e histológicas para contar con una herramienta simple para detectar condiciones desfavorables durante el desarrollo larvario. Estos estudios nos permitieron describir el desarrollo larval y tasas de crecimiento de larvas de catán (Mendoza y Aguilera, 2001; Mendoza et al., 2008). Pudimos

constatar que las larvas de 1 a 4 días después de la eclosión dependían exclusivamente del vitelo y permanecen adheridas a la vegetación, lo cual incrementaba el riesgo de ser depredadas en este periodo. Sin embargo, los lepisosteidos cuentan con un mecanismo de defensa para estas fases del desarrollo que consiste en la presencia de una toxina en el vitelo, la cual es particularmente potente en el caso del catán. Al quinto día las larvas se desprenden de la vegetación e inicia la alimentación exógena, no obstante, aún cuentan con reservas de vitelo hasta el octavo día, por lo cual es difícil distinguir su condición nutricional. Después de esta etapa, una vez que aprendieron a cazar y dependen exclusivamente del alimento exógeno, el crecimiento y la condición nutricional de las larvas fueron evaluados por medio de características, como la longitud del hocico y la altura corporal en la aleta anal. De la misma manera, la coloración fué indicativa del aprovechamiento nutricional, así, las larvas más oscuras resultaron generalmente las más desnutridas. La tasa de crecimiento durante los primeros 10 días es de 1.3 mm/día. Sin embargo, después de este periodo la velocidad de crecimiento se acelera considerablemente hasta 5.6 mm/día, lo cual coloca al catán como uno de los peces de agua dulce con mayor velocidad de crecimiento.

La metamorfosis en larvas de peces es controlada principalmente por hormonas de la tiroides. Realizando estudios sobre la concentración de estas hormonas en etapas embrionarias y larvales pudimos constatar que sus niveles concordaban con los cambios morfológicos de la metamorfosis en las larvas de catán. De esta forma, evaluamos la posibilidad de modificar el desarrollo mediante la administración de hormonas. Las larvas expuestas a hormonas tiroideas mostraron una metamorfosis más temprana, mientras que las larvas expuestas a agentes antitiroideos, presentaron una metamorfosis más lenta, un mayor crecimiento y menor mortalidad. Este mejor desempeño es explicado por un menor desarrollo en el tamaño del



hocico, el cual les permite capturar peces hasta de su misma talla, de esta forma, al inhibir el crecimiento del hocico fue posible reducir la mortalidad por canibalismo durante el cultivo larvario. Así, estos resultados abrieron dos nuevas vertientes: a) la posibilidad de propiciar el consumo de dietas artificiales desde las primeras etapas larvales al utilizar hormonas tiroideas y b) la posibilidad de controlar el canibalismo al exponer las larvas a agentes antitiroideos, ya que de esta manera es posible obtener larvas más grandes, pero con el hocico menos desarrollado.

Adicionalmente nuestro grupo clonó la hormona de crecimiento y pudo evidenciar que existía un aporte materno a las larvas, jugando un papel relevante en el desarrollo embrionario, la organogénesis de las larvas y el crecimiento, coincidente con el inicio de la alimentación exógena.

Las modificaciones que se producen durante la metamorfosis incluyen la formación estructural y maduración funcional del tracto digestivo, lo cual se ve reflejado por la aparición y actividad de enzimas digestivas. De aquí, que nuestro grupo se haya avocado al estudio de la aparición secuencial de las diferentes enzimas digestivas para considerarlas como los principales indicadores de la diferenciación del estómago y de esta manera determinar el momento más apropiado para reemplazar el alimento vivo por dietas artificiales. Por medio de diferentes estudios histológicos y bioquímicos pudimos conocer el rápido desarrollo del tracto digestivo de las larvas de catán, lo que las coloca dentro de un grupo reducido de peces capaces de utilizar alimentos artificiales desde el inicio del cultivo larvario. Por otra parte, las enzimas digestivas identificadas

y aisladas fueron utilizadas para realizar pruebas de aprovechamiento de diferentes ingredientes y alimentos.

CULTIVO LARVARIO

Los estudios anteriores nos permitieron definir un esquema básico de cultivo larvario de la siguiente forma: Durante los primeros 4 días después de la eclosión (DDE) las larvas pueden ser manipuladas (o transportadas) con efectos mínimos de mortalidad, lo cual permite su distribución en tanques de cultivo. Estos tanques están adaptados con air-lifts y suministro de agua que reduce las turbulencias que pueden dañar a las larvas dado su lento desplazamiento en este periodo. Estas adecuaciones permiten también incrementar la flotabilidad del alimento artificial, la cual es necesaria para su consumo. La elevada tasa de crecimiento ocasiona que sea indispensable un abastecimiento continuo de alimento, el cual inicia a partir del 5 DDE, por lo cual se requiere proporcionar un mínimo de cuatro raciones por día. Por otra parte, con el incremento continuo en la longitud del hocico resulta necesario incrementar el tamaño de las partículas alimenticias en periodos cortos. De esta forma, durante los primeros 5 días de alimentación las partículas deben tener un diámetro entre 0.3 y 0.5 mm, los siguientes 5 días de 0.5 a 0.8 mm y los siguientes 5 días de 0.8 a 1.2 mm. Se continúa utilizando dietas flotantes de 1.5 mm y progresivamente mayores hasta obtener juveniles de 13 a 15 cm de longitud total, lo cual se puede lograr entre 45 y 60 días de cultivo, dependiendo de diferentes factores como la temperatura, el tipo de alimento y la densidad en el cultivo.



Figura 3. Cría de catán de 30 días de nacido.



Figura 4. Juveniles de catán de 4 meses de edad.

CULTIVO DE JUVENILES

Esta fase del cultivo se encuentra en etapa de escalamiento y recientemente se han realizado diferentes investigaciones centradas en la determinación de los requerimientos nutricionales y la digestibilidad de las dietas. La optimización del sistema de cultivo, la determinación de las densidades de siembra más adecuadas y el mejor tiempo de cosecha se encuentran en curso de definición. Con la tecnología actual, se han obtenido resultados prometedores con respecto al crecimiento de juveniles al utilizar dietas para salmónidos, con valores en las tasas de crecimiento específico (SGR) entre 5 y 8; conversión alimenticia (FCR) entre 0.9 y 0.6; y eficiencia proteica (PER) entre 2 y 6. Estos ensayos han permitido la producción de juveniles de 30 cm en 4 meses, con lo cual se han abierto las posibilidades de cultivar

comercialmente, considerando la excelente tasa de crecimiento, rusticidad de la especie y su demanda en el mercado del Noreste del país.

EFFECTO DE LOS CONTAMINANTES

Para estudiar el efecto de la contaminación, uno de los principales generadores de cambio de la biodiversidad, y su efecto potencial sobre las poblaciones de catán, realizamos una serie de bioensayos exponiendo larvas y juveniles a diferentes hidrocarburos y contaminantes estrogénicos. Esto era de particular relevancia considerando el alto nivel trófico de la especie (predadores tope), sus hábitos bentónicos y su gran longevidad (hasta 100 años de edad). Los resultados revelaron que los catanes son muy sensibles a estos contaminantes ya que pueden tener repercusiones sobre su sistema nervioso y pueden inducir reversión sexual (Aguilera et al, 2015).
Repoblación

A mediados del año 2004 se realizó el primer ensayo controlado de repoblación en el Rancho "El Coronel", localizado en China, Nuevo León, utilizando 1000 juveniles de catán con la finalidad de estudiar su adaptación a los cuerpos de agua de la región, en los cuales predominan las especies exóticas (tilapia y lobina). Los ejemplares recapturados alcanzaron tallas de 130 a 150 cm de longitud, después de 6 meses, demostrando su capacidad de sobrevivencia. Así mismo, en el 2013 se llevó a cabo una siembra de ejemplares juveniles de una longitud entre 70 y 80 cms, en la presa de la Facultad de Veterinaria de la UANL ubicada en General Bravo, N.L.

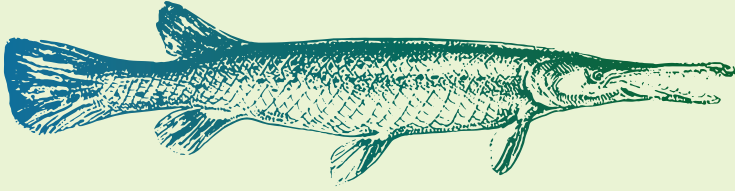
CONCLUSIÓN

De esta forma, el Grupo *Ecofisiología* ha apoyado en el control de la reproducción, la producción masiva de crías y la restauración de las poblaciones naturales de la especie, con la finalidad de seguir conservando el recurso.



Figura 5. Presa de la Facultad de Veterinaria en General Bravo, N.L.





LITERATURA CITADA

Aguilera González C., J. Cruz Valdéz, y R. Mendoza Alfaro (2015) Physiological response of alligator gar juveniles (*Atractosteus spatula*) exposed to sub-lethal doses of pollutants.

Mendoza, R. y C. Aguilera (2001). Bases Fisiológicas del desarrollo de larvas de *Atractosteus spatula* y perspectivas para su cultivo. Ciencia-UANL. 4(2):161-166.

Mendoza, R., C. Aguilera, G. Rodríguez, M. Gonzalez y R. Castro (2003). Morphophysiological studies on alligator gar (*Atractosteus spatula*) larval development as a basis for their culture and repopulation of their natural habitats. Reviews in Fish Biology and Fisheries.12 (2-3). 133-142.

Mendoza, R., C. Aguilera, L. Carreón, J. Montemayor y M. González (2008). Weaning of Alligator Gar (*Atractosteus spatula*) larvae to artificial diets. Aquaculture Nutrition, 14 (3): 223-231

Mendoza, R., C. Aguilera y J. Montemayor (2010). Ecología de los Lepisosteidos. En: Biología, Ecología y Avances en el cultivo del catán *Atractosteus spatula*. Capítulo 2. Editores: R. Mendoza, C. Aguilera y J. Montemayor. Editorial UANL. Monterrey, México.

Mendoza R., O. Santillán, A. Revol, C. Aguilera & J. Cruz (2012) Alligator gar (*Atractosteus spatula*, Lacépède 1803) vitellogenin: purification, characterization and establishment of an enzyme-linked immunosorbent assay. Aquaculture Research.43: 649-661



**EL
PACÍFICO
ORIENTAL,
UN HÁBITAT MUY IMPORTANTE
PARA EL TIBURÓN BLANCO**

Erick C. Oñate González.



INTRODUCCIÓN

Tiburón blanco, dos palabras que inmediatamente al escucharlas o leerlas llaman la atención, causan al mismo tiempo, terror y admiración, y sin importar cuál sea tu pensamiento o sentimiento, es casi imposible no dar al menos una rápida mirada hacia aquello que tiene tan fascinantes palabras.

El tiburón blanco, de nombre científico *Carcharodon carcharias*, pertenece al grupo de los peces cartilaginosos (Chondrichthyes), donde se encuentran los tiburones, rayas y quimeras, debido a que todo su esqueleto es de cartílago. Es una especie marina con una amplia distribución en casi todos los océanos del mundo (Fig 1). Se distribuye principalmente en aguas cálidas y templadas, pudiendo habitar también aguas frías gracias a su capacidad de endotermia, es decir, el poder mantener su temperatura corporal $\sim 5^{\circ}\text{C}$ por encima del agua que le rodea (Compagno, 2001).

El tiburón blanco (Figura 2) tiene un cuerpo robusto de forma fusiforme; un hocico moderadamente largo y cónico con grandes dientes, triangulares y serrados. Como otros tiburones, presenta cinco largas hendiduras branquiales, y en el dorso tiene una aleta dorsal alta y ancha de forma triangular, que se origina sobre el margen interno de las aletas pectorales y cuyo su borde posterior presenta una punta inferior libre de color oscuro; además tiene una segunda aleta dorsal y una aleta anal muy pequeñas. El pedúnculo caudal posee una fuerte quilla lateral y la aleta caudal es de forma semilunar con los dos lóbulos casi del mismo tamaño. Su patrón de coloración es muy característico, ya que en la región dorsal presenta un color gris pardo o negruzco y la parte ventral del cuerpo es blanco, con ambas zonas del cuerpo fuertemente delimitadas, además de tener las puntas ventrales de las aletas pectorales de color negro (Compagno, 2001).

El tiburón blanco tiene cuatro estadios ontogénicos. El primero conformado por los recién nacidos, tiburones que tienen una talla de $\sim 1.2\text{m}$ de longitud total (LT) y los menores de un año de edad que alcanzan tallas de hasta 1.75m de LT. Los tiburones considerados como juveniles presentan un intervalo de tallas aproximado de 1.75 a 3m de LT, mientras que los sub-adultos miden entre 3m y la talla de madurez sexual, que está registrada para los machos entre 3.0 y 3.6m (machos)

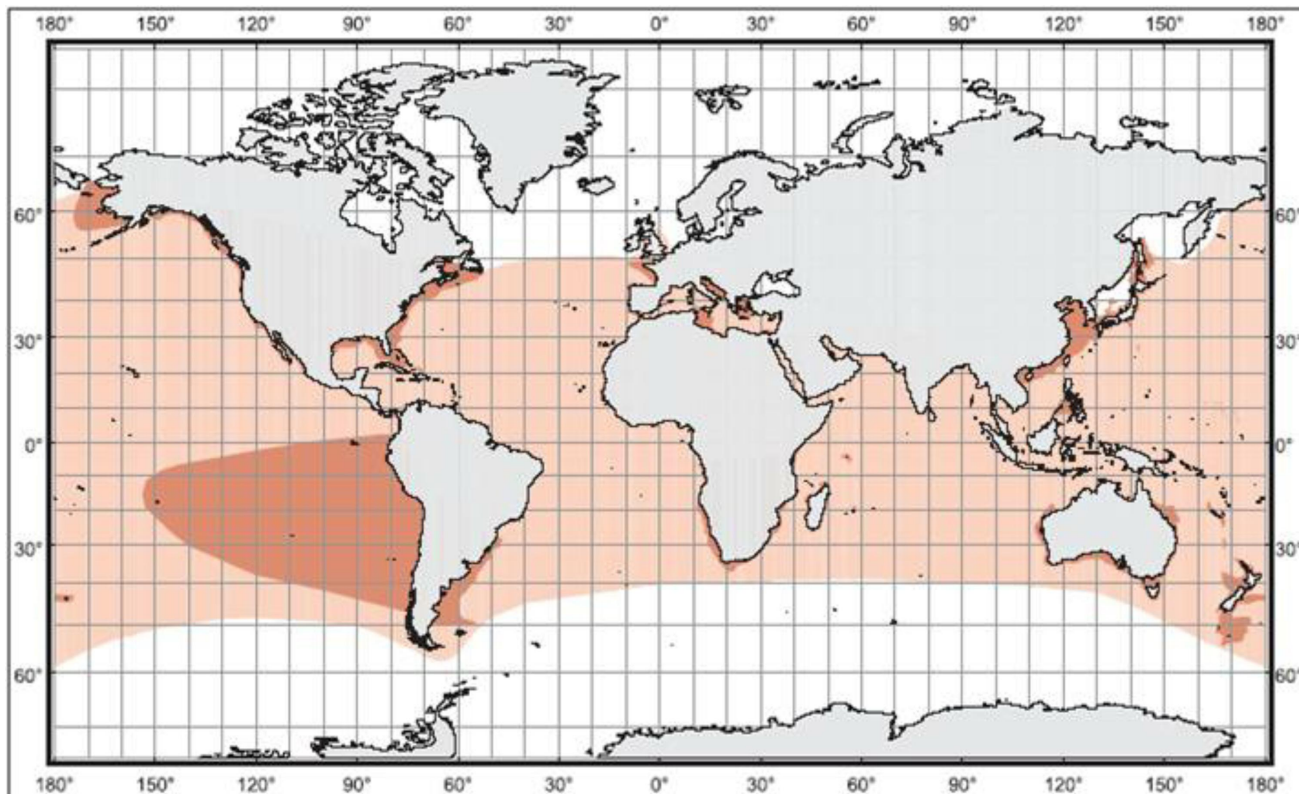
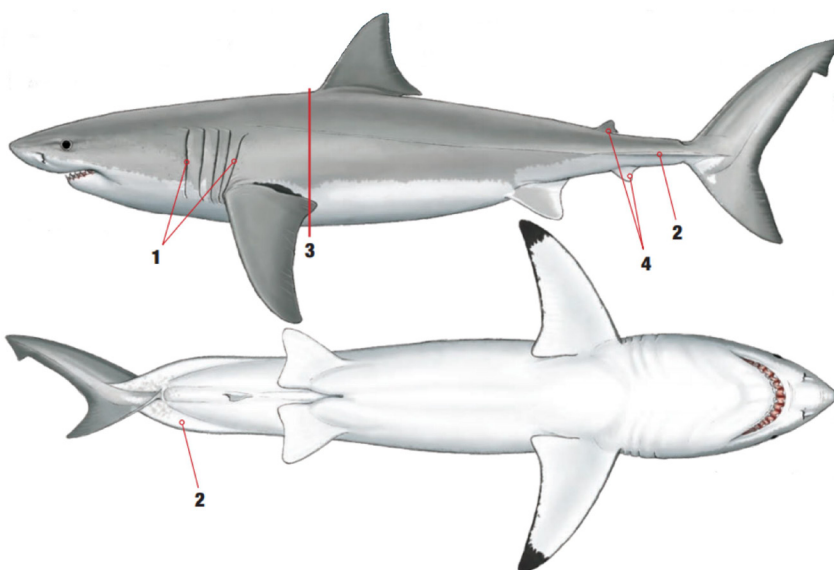


Figura 1. Distribución del tiburón blanco, *Carcharodon carcharias*. Las zonas resaltadas con color rojo claro representan la distribución general donde puede habitar, mientras que el rojo oscuro representa áreas con registro específico de su presencia (Tomada de Compagno et al., 2001).

Figura 2. Tiburón blanco, *Carcharodon carcharias* (Tomado de SharkTrust, 2010).



y 4.5 a 5.0m de LT para las hembras (Bruce y Bradford, 2012; Cailliet et al., 1985; Francis, 1996; Malcolm et al., 2001; Wintner y Cliff, 1999), alcanzando un máximo de 6.5m de LT.

Es una especie vivípara, ya que las crías se desarrollan en el útero de la madre y nacen ya completamente formadas, puede tener hasta 14 crías, aunque generalmente son 2 a 10 (Francis, 1996). Tiene período de gestación lento que va de un año hasta 18 meses, siendo la época de alumbramiento en primavera-verano (Compagno et al., 1997; Domeier,

2012; Francis, 1996). Esta especie presenta oofagia como el tipo de alimentación embrionaria (se alimenta de óvulos no fecundados, dentro del útero) y las crías nacen cada dos o tres años (Domeier, 2012; Francis, 1996).

DISTRIBUCIÓN Y USO DE HÁBITAT

El tiburón blanco presenta sitios de agregación, principalmente de adultos, en diferentes océanos del mundo, como son Sudáfrica (Ferreira y Ferreira, 1996), el Mar Mediterráneo, Nueva Zelanda (Fergusson, 1996) y Australia (Strong *et al.*, 1996). En el Pacífico Oriental, el tiburón blanco tiene dos sitios de agregación. En aguas de California, EUA, los adultos se agregan alrededor de las Islas Farallon y Año Nuevo (Klimley *et al.*, 1992; Pyle *et al.*, 1996). En aguas mexicanas, Isla Guadalupe, frente a las costas de la Península de Baja California, que es un sitio donde se agregan tiburones blanco hembras como machos, adultos, sub-adultos y juveniles (Domeier y Nasby-Lucas, 2007; Hoyos-Padilla *et al.*, 2016).

La zona de alumbramiento del tiburón blanco en el Pacífico Oriental es desconocida. Los tiburones más pequeños, considerados como recién-nacidos, se distribuyen muy cerca de la costa (Figura 3), encontrándose en lagunas costeras como las de Bahía Sebastián Vizcaíno, en Baja California y en otras zonas costeras como la Bahía del Sur de California, en EUA (Lowe *et al.*, 2012; Santana-Morales *et al.*, 2012), además de norte del Golfo de California. Las zonas de crianza, donde los tiburones de menos de un año de edad crecen y se alimentan, se encuentran en Bahía del Sur de California, en EUA y en Bahía Sebastián Vizcaíno, en México (Lowe *et al.*, 2012; Oñate-González *et al.*, 2017).

Al ir creciendo, los tiburones blancos se distribuyen a lo largo de la zona costera y un poco más allá de la plataforma continental, desde la región de la Bahía el Sur de California y hasta el Golfo de California (Dewar *et al.*, 2004; Weng *et al.*, 2012). Los avistamientos y los registros de captura incidental de individuos juveniles del tiburón blanco permiten inferir que en la costa occidental de Baja California es una posible zona de transición entre zonas de crianza (Oñate-González *et al.*, 2017; Santana-Morales *et al.*, 2012). Los tiburones sub-adultos han sido registrados tanto en aguas costeras como en aguas insulares, por lo que esta etapa pudiera ser la que conecta el ciclo entre las zonas de crianza y las zonas de agregación de adultos (Hoyos-Padilla *et al.*, 2016; Jorgensen *et al.*, 2012) (Figura 3).

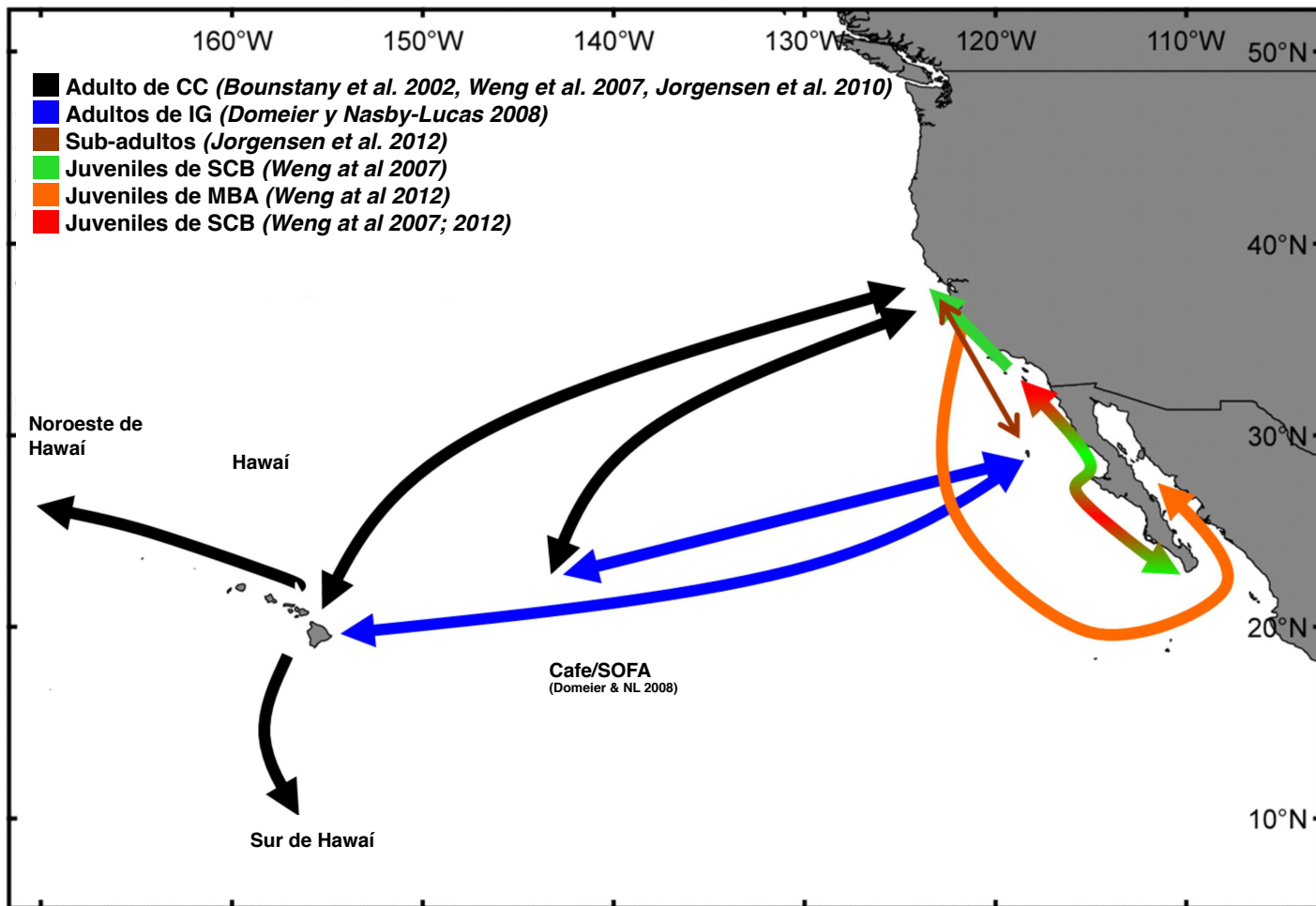
Los tiburones blancos adultos se distribuyen en aguas oceánicas, pero principalmente en zonas insulares, como Isla Guadalupe. Esta isla del Pacífico mexicano es considerada una zona de agregación, ya que año con año los tiburones blancos llegan a ella, permaneciendo un período que abarca principalmente de junio a diciembre (Nasby-Lucas y Domeier, 2012). Posteriormente, los tiburones realizan una migración hacia aguas oceánicas, llegando incluso hasta Hawái (Domeier y Nasby-Lucas, 2008) (Figura 3).

Como ya se mencionó, la zona de alumbramiento del tiburón blanco es desconocida, pero se ha estudiado el movimiento de hembras adultas posiblemente preñadas que se desplazan hacia las aguas cercanas a la costa del Sur de California o de la península de Baja California (Domeier y Nasby-Lucas, 2013) durante la hipotética época de alumbramiento (Domeier, 2012), por lo que se presume que éstas regiones podrían ser zonas de alumbramiento para la especie, aunque no existe ningún registro que pueda corroborar esta hipótesis.

Esta especie tiene un comportamiento conocido como filopatría, o fidelidad a un sitio, en el que los tiburones adultos regresan año con año a los mismos sitios de agregación (Domeier y Nasby-Lucas, 2007, 2008, 2012). En el Pacífico Oriental los tiburones de Isla Guadalupe regresan a sus aguas de agregación después de migrar hacia aguas oceánicas, llegando incluso hasta Hawái, en una migración cuyo objetivo es aún desconocido. Este comportamiento filopátrico también se ha observado en los tiburones adultos de aguas de California, EUA, que migran de manera similar, pero regresando a las Islas Farallón y Año Nuevo (Jorgensen *et al.*, 2012; Kimley *et al.*, 2002) (Figura 3).

ESTRUCTURA POBLACIONAL DEL PACÍFICO ORIENTAL

Existen relativamente pocos estudios de la estructura genética del tiburón blanco. Los tiburones del Pacífico Oriental forman un grupo separado genéticamente de tiburones blancos de otras regiones (Jorgensen *et al.*, 2010; Oñate-González *et al.*, 2015) como Sudáfrica, Japón, Australia y Nueva Zelanda (Pardini *et al.*, 2001;



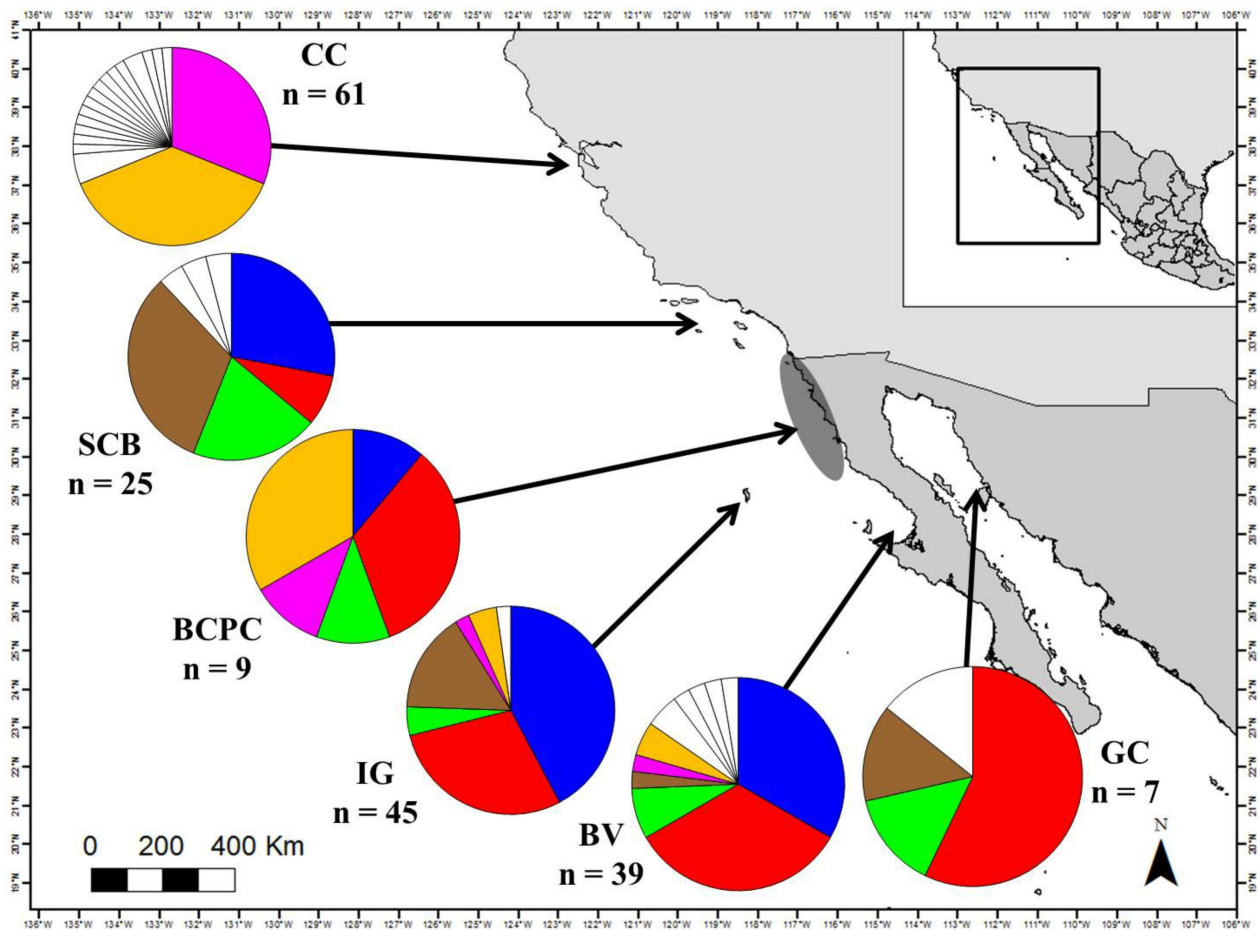


Figura 4. Mapa de la variación genética con ADN mitocondrial de muestras de tiburón blanco del Pacífico Oriental. Cada rebanada coloreada representa las comparaciones entre diferentes localidades, mientras que las rebanadas blancas representan aquellas que solo están en esa localidad. Las localidades son: California central (CC), Bahía del Sur de California (SCB), costa del Pacífico de Baja California (BCPC), Isla Guadalupe (IG), Bahía Sebastián Vizcaíno (BV) y el Golfo de California (GC) (Tomado de Oñate-González *et al.*, 2015).

Tanaka *et al.*, 2011). En un estudio de ADN mitocondrial, de herencia matrilineal (que se transmite por vía materna únicamente) (Oñate-González *et al.*, 2015), donde se compararon tiburones juveniles de las costas de California y Baja California con tiburones adultos de Isla Guadalupe y de California central (Islas Farallón y Año Nuevo), se encontró estructura poblacional, ya que los tiburones blancos de California central se diferenciaban genéticamente del resto de las localidades (Figura 4).

Además, con base en el análisis genético de las relaciones matrilineales, se encontró que es más probable que las madres de los juveniles de las costas estén en Isla Guadalupe (Oñate-González *et al.*,

2015). En un estudio preliminar en que se comparan las mismas muestras de tiburones blanco juveniles con únicamente las de adultos de Isla Guadalupe, utilizando un marcador de herencia bi-parental (ADN nuclear), se encontró que existe una leve, pero significativa estructura genética, dada principalmente por las diferencias genéticas encontradas entre los tiburones juveniles de la Bahía del Sur de California, con los de Bahía Sebastián Vizcaíno, las dos áreas de crianza de esta especie (Mendivil-Castro, 2018). Estos resultados sugieren que las hembras adultas de Isla Guadalupe presentan una filopatría reproductiva hacia las zonas de crianza, mientras que los machos adultos se aparean de manera indistinta con las

hembras de Isla Guadalupe, sin importar la zona de alumbramiento de éstas.

SITUACIÓN ACTUAL DEL TIBURÓN BLANCO EN EL PACÍFICO MEXICANO

En México, y en muchas partes del mundo, la captura y el comercio de cualquiera de las partes del tiburón blanco está prohibido. Esta especie está reconocida como Vulnerable a la sobreexplotación, por la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, por sus siglas en inglés) (Hilton-Taylor, 2000), y es listada en el Apéndice II de la CITES, desde 2004, prohibiéndose el comercio de cualquiera de sus partes. En México, la norma oficial "NOM-029-PESC-2006" establece la prohibición de las capturas de tiburón blanco así como su retención y comercialización (DOF, 2007), así como el establecimiento de una prohibición total para la captura de esta especie, obligando a la liberación de cualquier organismo que sea capturado de manera incidental (DOF, 2014). Sin embargo, hay reportes de captura incidental de tiburones inmaduros de esta especie en aguas de la costa oeste de Baja California (Oñate-González *et al.*, 2017; Santana-Morales *et al.*, 2012), así como del Golfo de California (Galván-Magaña *et al.*, 2010).

A pesar de estos desalentadores registros, el tiburón blanco en México es una especie a la que se ha incrementado su protección y conservación. El interés por llevar a cabo estudios de investigación para conocer su dinámica poblacional, movimientos

y migración, así como el trabajo continuo con los pescadores así como con las empresas turísticas, plantea un panorama favorable para implementar planes de manejo adecuados para la conservación de esta especie, con base en información científica que permita entender sus poblaciones.

En el Pacífico Oriental, en Isla Guadalupe, en un estudio donde utilizaron técnicas de marcaje-recaptura y foto-identificación en un análisis bayesiano, se estimaron 120 individuos adultos (Sosa-Nishizaki *et al.*, 2012); mientras que en aguas de California se estimaron 219 tiburones, (adultos y sub-adultos), con una estimación total poblacional de más de 2,400 tiburones blanco (Burgess *et al.*, 2014; Chapple *et al.*, 2011). Una estimación poblacional del Pacífico Oriental, que tomó en cuenta los estudios de Chapple *et al.* (2011) y Sosa-Nishizaki *et al.* (2012), sugiere una población de tiburón blanco de al menos 3,000 individuos (Dewar *et al.*, 2013), misma que se considera con condiciones de salud poblacional estable.

Estos resultados demuestran el efecto positivo de los esfuerzos de protección y conservación de esta especie, fruto de la implementación de proyectos de investigación y colaboración entre instituciones nacionales e internacionales, así como de la preocupación y plan de acción por parte de la sociedad pesquera, así como las instituciones gubernamentales, y aunque aún existen muchos vacíos en la información biológica y ecológica de esta especie, la correcta implementación de los planes de manejo, conservación y protección permitirán que las poblaciones del tiburón blanco en el Pacífico Oriental se mantengan y crezcan.



AGRADECIMIENTOS

Al esfuerzo de la comunidad pesquera que ha colaborado en los proyectos de investigación, así como en la implementación adecuada de las medidas de protección; a los investigadores que se esfuerzan por aumentar el conocimiento sobre la biología y ecología de esta especie; a las instituciones gubernamentales que toman en cuenta los resultados de los proyectos de investigación, facilitando las herramientas necesarias para el bienestar del tiburón blanco.





LITERATURA CITADA

- Bruce, B.D., y R.W. Bradford. 2012. *Habitat use and spatial dynamics of juvenile white sharks, Carcharodon carcharias, in Eastern, Australia*. Pp 225-253. En: Domeier, M.L. (Ed.). *Global perspectives on the biology and life history of the white shark*. USA. CRC Press, 533 pp.
- Burgess, G.H., B.D. Bruce, G.M. Cailliet, K.J. Goldman, R.D. Grubbs, C.G. Lowe, M.A. MacNeil, H.F. Mollet, K.C. Weng, y J.B. O'Sullivan. 2014. A re-evaluation of the size of the white shark (*Carcharodon carcharias*) population off California, USA. *PLoS One* 9 (6): e98078. doi:10.1371/journal.pone.0098078
- Cailliet, G.M., L.J. Natanson, B.A. Weldon, y D.A. Ebert. 1985. Preliminary studies on the age and growth of the white shark *Carcharodon carcharias*, using vertebral bands. *Southern California Academy of Science Memoirs*. 9: 49-60.
- Chapple, T.K., S.J. Jorgensen, S.D. Anderson, P.E. Kanive, A.P. Klimley, L.W. Botsford y B.A. Block. 2011. A first estimate of white shark, *Carcharodon carcharias*, abundance off Central California. *Biology Letters*. 7 (4), 581-583. doi:10.1098/rsbl.2011.0124.
- Compagno, L.J.V. 2001. *Sharks of the world. An annotated and illustrated catalogue of the shark species known to date. Bullhead, mackerel and carpet sharks (Heterodontiformes, Lamniformes and Orectolobiformes)*. FAO Species Catalogue for Fisheries Purposes No. 1, vol. 2. Rome, pp. 100-108.
- Compagno, L.J.V., M. Marks y I. Fergusson. 1997. Threatened fishes of the world: *Carcharodon carcharias* (Linnaeus, 1758) (Lamnidae). *Environmental Biology of Fishes* 50: 61-62. doi:10.1023/A:1007308406137.
- Dewar, H., M. Domeier y N. Nasby-Lucas. 2004. Insights into young of the year white shark, *Carcharodon carcharias*, behavior in the Southern California Bight. *Environmental Biology of Fishes*. 70: 133-143. doi:10.1023/B:Ebf.0000029343.54027.6a.
- Dewar H., T. Eguchi, J. Hyde, D. Kinzey, S. Kohin, J. Moore, B.L. Taylor y R. Vetter. 2013. Status review of the Northeastern Pacific population of white sharks (*Carcharodon carcharias*) under the Endangered Species Act. National Oceanic and Atmospheric Administration. *National Marine Fisheries Service*. NOAA Technical Memorandum NMFS-SWFSC-523, pp 176.
- DOF. 2007. Norma Oficial mexicana NOM-029-PESC-2006, Pesca responsable de tiburones y rayas: Especificaciones para su aprovechamiento. SAGARPA. Diario Oficial de la Federación, 14 de febrero de 2007, primera sección.
- DOF. 2014. Acuerdo por el que se establece veda permanente para la pesca de tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*) en aguas de jurisdicción federal de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación, 27 de enero 2014, Primera sección.
- Domeier, M.L., 2012. *A new life-history hypothesis for white sharks, Carcharodon carcharias, in the Northeastern Pacific*. Pp 199-224. En: Domeier, M.L. (Ed.). *Global perspectives on the biology and life history of the white shark*. USA. CRC Press, 533 pp.
- Domeier, M.L. y N. Nasby-Lucas. 2007. Annual re-sightings of photographically identified white sharks (*Carcharodon carcharias*) at an eastern Pacific aggregation site (Guadalupe Island, Mexico). *Marine Biology*. 150: 977-984. doi:10.1007/s00227-006-0380-7
- Domeier, M.L. y N. Nasby-Lucas. 2008. Migration patterns of white sharks (*Carcharodon carcharias*) tagged at Guadalupe Island, Mexico, and identification of an eastern Pacific shared offshore foraging area. *Marine Ecology Progress Series* 370: 221-237. doi:10.3354/meps07628
- Domeier, M.L. y N. Nasby-Lucas. 2012. *Sex-specific migration patterns and sexual segregation of adult white sharks, Carcharodon carcharias, in the Northeastern Pacific*. Pp 133-146. En: Domeier M.L. (Eds.), *Global perspectives on the biology and life history of the white shark*. USA. CRC Press, 533 pp.

- Domeier, M.L. y N. Nasby-Lucas. 2013. Two-year migration of adult female white sharks (*Carcharodon carcharias*) reveals widely separated nursery areas and conservation concerns. *Animal Biotelemetry*. 1(2): 1-9.
- Fergusson, I.K. 1996. *Distribution and autecology of the white shark in the Eastern North Atlantic Ocean and the Mediterranean Sea*. Pp 321-345. En: A. P. Klimley y D. G. Ainley (Eds.). *Great white sharks: the biology of Carcharodon carcharias*. San Diego Academic Press, 517 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415031-7.X5000-9>
- Ferreira, C.A. y T.P. Ferreira. 1996. *Population dynamics of white sharks in South Africa*. Pp 381-391. En: A. P. Klimley y D. G. Ainley (Eds.). *Great white sharks: the biology of Carcharodon carcharias*. San Diego Academic Press, 517 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415031-7.X5000-9>
- Francis, M.P. 1996. *Observations on a pregnant white shark with a review of reproductive biology*. Pp 157-172. En: A. P. Klimley y D. G. Ainley (Eds.). *Great white sharks: the biology of Carcharodon carcharias*. San Diego Academic Press, 517 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415031-7.X5000-9>
- Galván-Magaña, F., E.M. Hoyos-Padilla, C.J. Navarro-Serment y F. Márquez-Farías. 2010. Records of white shark, *Carcharodon carcharias*, in the Gulf of California, Mexico. *Marine Biodiversity Record*. 3 (e1 11): 1-6. doi:10.1017/s1755267210000977
- Hilton-Taylor, C. (2000). IUCN Red list of threatened species. Access on 2013, from <http://www.iucnredlist.org/details/3855/0>
- Hoyos-Padilla, E.M., A.P. Klimley, F. Galván-Magaña y A. Antoniou. 2016. Contrasts in the movements and habitat use of juvenile and adult white sharks (*Carcharodon carcharias*) at Guadalupe Island, Mexico. *Animal Biotelemetry*. 4 (1): 14. doi: 10.1186/s40317-016-0106-7
- Jorgensen, S.J., T.K. Chapple, S. Anderson, M. Hoyos, C. Reeb y B.A. Block. 2012. *Connectivity among white shark coastal aggregation areas in the Northeastern Pacific*. Pp 159-167. En: Domeier M.L. (Ed.). *Global perspectives on the biology and life history of the white shark*. USA. CRC Press, 533 pp.
- Jorgensen, S.J., C.A. Reeb, T.K. Chapple, S. Anderson, C. Perle, S.R. Van-Sommeran, C. Fritz-Cope, A.C. Brown, A.P. Klimley y B.A. Block. 2010. Philopatry and migration of Pacific white sharks. *Proceedings of the Royal Society B*. 277: 679-688. doi:10.1098/rspb.2009.1155
- Klimley, A.P., S.D. Anderson, P. Pyle y R.P. Henderson. 1992. Spatiotemporal patterns of white shark (*Carcharodon carcharias*) predation at the South Farallon Islands, California. *Copeia*. 1992: 680-690.
- Klimley, A.P., S.C. Beavers, T.H. Curtis y S.J. Jorgensen. 2002. Movements and swimming behavior of three species of sharks in La Jolla Canyon, California. *Environmental Biology of Fishes*. 63 (2), 117-135.
- Lowe, C.G., M.E. Blasius, E.T. Jarvis, T.J. Mason, G.D. Goodmanlowe y J.B. O'Sullivan. 2012. *Historic fishery interactions with white sharks in the Southern California Bight*. Pp 169-185. En: Domeier M.L. (Ed.). *Global perspectives on the biology and life history of the white shark*. USA. CRC Press, 533 pp.
- Malcolm, H., B.D. Bruce y J.D. Stevens. 2001. *A review of the biology and status of white sharks in Australian waters*. CSIRO Marine Research, Hobart. 114 p.
- Mendivil-Castro, J.P. 2018. Estructura y conectividad genética poblacional del tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*) en California y Baja California. (Tesis de Licenciatura) Universidad Autónoma de Sinaloa. Mazatlán, Sinaloa, México. 69 pp.
- Nasby-Lucas, N. y M.L. Domeier. 2012. *Use of photo identification to describe a white shark aggregation at Guadalupe Island, Mexico*. Pp 381-392. En: Domeier M.L. (Ed.). *Global perspectives on*

the biology and life history of the white shark. USA. CRC Press, 533 pp.

Oñate-González, E.C. 2015. Juvenile white shark (*Carcharodon carcharias*) connectivity and importance of Bahia Sebastian Vizcaino as a nursery area in the North Eastern Pacific. (Tesis de Doctorado) Centro de Investigación Científica y de Estudios Superiores de Ensenada. Ensenada, Baja California, México. 92 pp.

Oñate-González, E.C., A. Rocha-Olivares, N.C. Saavedra-Sotelo y O. Sosa-Nishizaki. 2015. Mitochondrial genetic structure and matrilineal origin of white sharks, *Carcharodon carcharias*, in the Northeastern Pacific: Implications for their conservation. *Journal of Heredity*. 106 (4): 347-354. doi:10.1093/jhered/esv034

Oñate-González, E.C., O. Sosa-Nishizaki, S.Z. Herzka, C.G. Lowe, K. Lyons, O. Santana-Morales, C. Sepulveda, C. Guerrero-Ávila, E. García-Rodríguez y J.B. O'Sullivan. 2017. Importance of Bahia Sebastian Vizcaino as a nursery area for white sharks (*Carcharodon carcharias*) in the Northeastern Pacific: A fishery dependent analysis. *Fisheries Research* 188: 125-137. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2016.12.014>

Pardini, A.T., C.S. Jones, L.R. Noble, B. Kreise, H. Malcolm, B.D. Bruce, J.D. Stevens, G. Cliff, M.C. Scholl, M. Francis, C.A.J. Duffy y A.P. Martin. 2001. Sex-biased dispersal of great white sharks. *Nature*. 412: 139-140. doi:10.1038/35084125

Pyle, P., S.A. Anderson y D.G. Ainley. 1996. *Environmental factors affecting the occurrence and behavior of white sharks at the Farallon Islands, California*. Pp 281-291. En: A. P. Klimley y D. G. Ainley (Eds.). *Great white sharks: the biology of Carcharodon carcharias*. San Diego Academic Press, 517 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415031-7.X5000-9>

Santana-Morales, O., O. Sosa-Nishizaki, M.A. Escobedo-Olvera, E.C. Oñate-González, J.B. O'Sullivan y D. Cartamil. 2012. *Incidental catch and ecological observations of juvenile white sharks, Carcharodon carcharias, in western Baja*

California, México: Conservation implications. Pp 187-198. En: Domeier M.L. (Ed.). *Global perspectives on the biology and life history of the white shark*. USA. CRC Press, 533 pp.

SharkTrust. 2010. *An Illustrated Compendium of Sharks, Skates, Rays and Chimaera. Chapter 1: The British Isles and Northeast Atlantic. Part 2: Sharks*.

Sosa-Nishizaki, O., E. Morales-Bojórquez, N. Nasby-Lucas, E.C. Oñate-González y M.L. Domeier. 2012. *Problems with photo identification as a method of estimating abundance of white sharks, Carcharodon carcharias. An example from Guadalupe Island, Mexico*. Pp 393-404. En: Domeier M.L. (Ed.). *Global perspectives on the biology and life history of the white shark*. USA. CRC Press, 533 pp.

Strong, W.R.Jr., B.D. Bruce, D.R. Nelson y R.D. Murphy. 1996. *Population dynamics of white sharks in Spencer Gulf, South Australia*. Pp 401-414. En: A. P. Klimley y D. G. Ainley (Eds.). *Great white sharks: the biology of Carcharodon carcharias*. San Diego Academic Press, 517 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415031-7.X5000-9>

Tanaka S., T. Kitamura, T. Mochizuki y K. Kofuji. 2011. Age, growth and genetic status of the white shark (*Carcharodon carcharias*) from Kashimanada, Japan. *Marine and Freshwater Research*. 62: 548-556. doi:10.1071/Mf10130

Weng, K.C., J.B. O'Sullivan, C.G. Lowe, C.E. Winkler, M.E. Blasius, K.A. Loke-Smith, T.J. Sippel, J.M. Ezcurra, S.J. Jorgensen y J.M. Murray. 2012. *Back to the wild: Release of juvenile white sharks from the Monterey Bay Aquarium*. Pp 419-446. En: Domeier M.L. (Ed.). *Global perspectives on the biology and life history of the white shark*. USA. CRC Press, 533 pp.

Wintner, S.P. y G. Cliff. 1999. Age and growth determination of the white shark, *Carcharodon carcharias*, from the east coast of South Africa. *Fishery Bulletin*. 97: 153-169.

LAS VÍAS DE COMUNICACIÓN TERRESTRE Y SU EFECTO EN LA BIODIVERSIDAD

G. E. Villanueva-Vázquez¹, V. Aguilar-Herrera², R. Jaimes-López², M. Nigenda-Quezada¹ y E. Ríos².



¡PRECAUCIÓN! DE PERRITO LLANERO



¹Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Biología de la Conservación y Desarrollo Sustentable.

²Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Laboratorio de Mastozoología Bernardo "Villa Ramírez".

Autor para correspondencia: evelyn.riosmn@uanl.edu.mx



Palabras clave: atropellamiento, carreteras, fauna silvestre, impacto, vertebrados

RESUMEN

Las carreteras son vías de comunicación terrestre que permiten el desarrollo económico y social para cualquier localidad y su población. Sin embargo, este tipo de infraestructuras han sido trazadas sobre ecosistemas naturales afectándolos considerablemente. El efecto más evidente es sobre la fauna silvestre que al intentar cruzar la carretera sufre de colisiones severas siendo considerada la principal causa de muerte de vertebrados, incluso, sucede con especies de interés para la conservación a pesar de habitar dentro de áreas naturales protegidas. Diversas estrategias para reducir esta afectación se han puesto en marcha, principalmente en países desarrollados; sin embargo, los países en vías de desarrollo son los que cuentan con la mayor biodiversidad dejando a las especies expuestas a colisiones. A causa del potencial impacto negativo de los caminos pavimentados sobre la diversidad y abundancia de las especies, su estudio ha ido ganando cada vez mayor interés en nuestro país. No obstante, en relación a las medidas para mitigar dicho impacto, aún hay mucho por hacer. Aquí presentamos una revisión sobre las vías de comunicación terrestre y su efecto en la biodiversidad a nivel global, identificando las especies más vulnerables y haciendo énfasis en la situación a nivel nacional y las medidas de mitigación que pueden ser aplicadas.

INTRODUCCIÓN

Las carreteras son obras de infraestructura que han sido diseñadas para mejorar el transporte terrestre, disminuyendo tiempos de traslado de productos y personas de un punto a otro. Por ello, estas vías son consideradas un beneficio social y económico, necesarias para la actividad humana. Sin embargo, la interacción entre fauna, caminos y vehículos ha resultado ser de gran impacto negativo para las especies animales. Cuando se construye una carretera, el primer daño hacia el ambiente es la deforestación para abrir el camino. Con ello, se pierde cobertura vegetal y refugio para diversas especies de animales, fragmentando considerablemente su hábitat y creando una barrera física para aquellas que requieren particularmente de la vegetación para poder alimentarse y desplazarse a través de su entorno. Otros grupos faunísticos que poseen una mayor movilidad, como lo son los vertebrados, son entonces los más susceptibles a sufrir colisiones y muertes al intentar cruzar al otro lado del camino (D'Amico *et al.*, 2015, Figura 1). Adicional a la afectación directa sobre la fauna, las carreteras alteran los componentes abióticos de los ecosistemas

naturales, cambiando la dinámica hidrológica, composición química del agua, cobertura del suelo, microclima, entre otros (Arroyave *et al.*, 2006).

Diferentes condiciones confluyen para que se dé el atropellamiento de fauna silvestre, algunos son la anchura de la carretera, el flujo y velocidad vehicular, comportamiento del animal, temporada del año, cobertura vegetal y disponibilidad de recursos en el hábitat (Pinowski, 2005; Arroyave *et al.*, 2006). Las carreteras con mayor tráfico vehicular donde se circula a altas velocidades suelen ser las que tienen los efectos más severos sobre los animales (Drews, 1995; Jones, 2000). Diversos estudios han señalado a los atropellamientos como la principal causa de mortalidad de vertebrados lo que potencialmente limita a las poblaciones en vida silvestre (Bencke y Bencke, 1999; Aresco, 2005; Pinowski, 2005; Grosselet *et al.*, 2018; da Cunha *et al.*, 2010; D'Amico *et al.*, 2013; Eloy-Seijas *et al.*, 2013; Adárraga-Caballero y Gutiérrez-Moreno, 2017; González-Gallina e Hidalgo-Mihart, 2018; Figura 2).



Figura 1. Individuos de tordo ojo amarillo (*Euphagus cyanocephalus*) buscando alimento a la orilla de la carretera (Foto: Ricardo Jaimes-López).

Figura 2. Liebre cola negra (*Lepus californicus*) atropellada sobre el camino (Foto: Massimo Nigenda-Quezada).



ECOSISTEMAS Y ESPECIES MÁS VULNERABLES

Se ha visto que el número de atropellamientos depende de la estacionalidad y dinámica del ecosistema, al igual que su estructura y composición de especies (Bencke y Bencke, 1999; da Cunha et al., 2010). De La Ossa y Galván-Guevara (2015) estudiaron esta situación y encontraron una mayor incidencia de mortalidad de aves por colisiones en el ecosistema de manglar, mientras en los de bosque

seco tropical y sabanas antrópicas, los mamíferos son los más afectados. Además, se ha registrado que en zonas áridas en el norte de México el grupo faunístico más afectado por atropellamientos es el de los reptiles (Lazcano et al., 2009).

Diversos estudios coinciden en que el mayor número de colisionados se presenta durante y al final de la temporada reproductiva, dada la cantidad de individuos jóvenes inexpertos, la disponibilidad de recursos y el aumento del cruce de carreteras (Carr y Fahrig, 2001; Copul-Magaña 2002; Peris et al.,

2005; Pinowski, 2005). La época reproductiva de cada grupo de vertebrados depende a su vez de varios factores climáticos (por ejemplo, la precipitación), por lo que los meses en los que se presenta mayor número de colisiones van a variar con respecto a la geografía del lugar (Puky, 2006).

La desaparición de una parte de los ecosistemas por la construcción de las carreteras es perjudicial para todos los grupos faunísticos, la mayoría de las especies de vertebrados se encuentran expuestos a los atropellamientos, incluyendo especies de interés para la conservación a pesar de habitar dentro de áreas naturales protegidas (De La Ossa y Galván-Guevara, 2015; Bauni et al., 2017). Los anfibios, por ejemplo, presentan una alta incidencia de atropellamientos a nivel global, debido principalmente a su baja capacidad de movimiento, así como su tendencia a inmobilizarse en momentos de peligro para evitar ser detectados (Puky, 2006). En México, el sapo *Bufo marinus* se registró como el animal con mayor índice de muerte sobre una carretera de Oaxaca con 91 individuos colisionados durante el lapso de un mes (Grosselet, 2009).

Los reptiles, por su naturaleza ectotérmica, se ven atraídos a las carreteras debido a que éstas proporcionan islas de calor durante las noches frías, las cuales les permiten regular su temperatura corporal (Figura 3). Las serpientes, por ejemplo, se posan en o cerca de los caminos, incrementando su riesgo de ser atropelladas por los automóviles (Arroyave et al., 2006; Figura 4). En México, Lazcano et al. (2017) reportan a las familias Colubridae, Dispadidae, Natricidae, Elapidae y Anguidae como las más afectadas para el norte del país, siendo la lagartija *Gerrhonotus infernalis* la especie con mayor número de atropellados. Entre la herpetofauna más afectada a nivel internacional por colisiones se encuentra *Iguana iguana* en Colombia, Venezuela y Brasil (da Cunha et al., 2010; Eloy-Seijas, 2013; Monroy et al., 2015; Adárraga-Caballero, 2017).

Para el caso de las aves, millones son atropelladas cada año a nivel global (Husby, 2016). En Canadá el número anual de aves atropelladas se estima en 13.9 millones y en los Estados Unidos aproximadamente 80 millones, mientras que para Inglaterra se estima un total de 27 millones y para Alemania 9.4 millones



Figura 3. Un ejemplar de lagartija cornuda de montaña (*Phrynosoma orbiculare*) atropellado, especie endémica de México (Foto: Massimo Nigenda-Quezada).

Figura 4. Ejemplar de culebra chata oriental (*Salvadora grahamiae*) atropellado (Foto: Ricardo Jaimes-López).

(Husby, 2016). Bauni et al., (2017) reportan que las aves atropelladas en su mayoría son especies de hábitos oportunistas, lo cual podría hacerlas más susceptibles a estos eventos. Por su parte, Monroy et al., (2015) menciona que los géneros más afectados para México son *Dendrocygna* (pipijes) y *Archilocus* (colibríes), y para Colombia *Buteo* (águilas) y *Cathartes* (zopilotes).



Figura 5. Roedor (*Peromyscus* sp.) atropellado sobre la carretera (Foto: Graciela E. Villanueva-Vázquez).

Figura 6. Paso superior de fauna (tipo puente), cortesía de MDT, CSKT & WTI-MSU.

Figura 7. Un alce utilizando un túnel en el Parque Nacional Banff (Foto tomada de Banff National Park, 2017).

Figura 8. Puentes colgantes para ardillas voladoras en el Sureste de Australia (tomado de Soanes *et al.*, 2013).

En cuanto a mamíferos, los marsupiales (*Didelphimorphia*), los carnívoros (*Carnivora*), roedores (*Rodentia*, Figura 5), liebres y conejos (*Lagomorpha*), son los grupos más afectados por el atropellamiento vehicular (Delgado-Velez, 2014; González-Gallina et al., 2015). La especie registrada con mayor número de atropellos es el tlacuache *Didelphis marsupialis* (Eloy-Seijas, 2013; Monroy et al., 2015). También esta especie se identifica en Argentina (Alto Paraná) como la más atropellada dentro de la fauna general colisionada (Bauni et al., 2017). El zorro (*Cerdocyon thous*), un carnívoro de dieta amplia y oportunista, el cual se observa comúnmente en las carreteras, es una de las especies que cuenta con mayor número de atropellamiento en algunas zonas de Sudamérica (Pinowski, 2005; De la Ossa, 2015).

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

La solución más efectiva para aminorar el impacto de colisiones ha sido la creación de diferentes pasos de fauna que pueden ser puentes, túneles, rampas, puentes colgantes, alcantarillas, entre otros (Jackson y Griffin, 2000; Holder, 2018). Existen diferentes casos de éxito como el Parque Nacional Banaff en Canadá que cuenta con múltiples pasos para fauna, de los cuales 38 son puentes (Figura 6) y seis son de desnivel (Figura 7), que juntos han logrado reducir los accidentes involucrados con fauna silvestre en un 80% (Banff National Park, 2017). En Ontario, han construido diferentes túneles para la protección de la salamandra de Jefferson *Ambystoma jeffersonianum*, incluso han cerrado carreteras en temporada de reproducción (Gunson et al., 2016; Casey, 2018). En Japón la empresa West Japan Railway en conjunto con Suma Aqualife Park implementaron un carril en forma de U debajo de las vías del tren para que las tortugas no se atasquen y puedan continuar su camino (Jackson y Griffin, 2000). En Australia se han creado puentes colgantes conectando así hábitats fragmentados para animales arbóreos como ardillas planeadoras (Smith, 2015; Figura 8). Además, en Oslo el gobierno, empresas, asociaciones y particulares crearon un corredor para abejas (bee highway) con flores para que las abejas puedan polinizar ayudando así a su conservación (Holder, 2018). Además, las señales en carreteras y cercas

para impedir el paso de la fauna han ayudado a reducir el impacto negativo.

SITUACIÓN NACIONAL

En México, el sistema carretero es la columna vertebral de las vías de comunicación terrestre; a través de éste se mueve el 53% de los productos comerciales y el 98% de las personas que se trasladan a lo largo y ancho del país, además es el transporte una de las diez principales actividades generadoras de empleo (SCT-IMT, 2010). Por otro lado, México es particularmente diverso en relación al número de ecosistemas con los que cuenta, ocupando el segundo lugar a nivel mundial. De igual forma, es también muy rico en especies de vertebrados, ubicándose en el segundo lugar para el caso de reptiles, tercero para mamíferos, cuarto para anfibios y undécimo para aves. De estos diferentes ecosistemas que posee, los tropicales cuentan con la mayor riqueza de especies, incluyendo gran número de aquellas bajo alguna categoría de protección según las leyes nacionales (SEMARNAT, 2010) e internacionales (IUCN, 2018). Estudios recientes reportan que son estos hábitats los que presentan los índices de atropellamientos de vertebrados más elevados en el país, afectando especies de interés para la conservación (González-Gallina y Benítez-Badillo, 2013; González-Gallina e Hidalgo-Mihart, 2018). El panorama de esta problemática en México parece empeorar poniendo en mayor riesgo a los vertebrados con afinidad tropical, ya que, en el 2017 Yucatán lideró el Top 5 de estados de la República Mexicana que más carreteras nuevas iniciaron su construcción, seguido por Chiapas, Estado de México, Jalisco y Coahuila (Obras, 2017). Yucatán, Chiapas y Jalisco, son ricos en ecosistemas tropicales y en especies bajo algún riesgo de extinción.

Considerando la importancia que tiene México para la conservación de la biodiversidad y tomando en cuenta los diversos impactos que tienen las carreteras en los ecosistemas, se han establecido medidas para reducir sus efectos. Los análisis de datos georreferenciados generan "puntos negros" donde se relacionan las carreteras y elementos paisajísticos para proponer modelos predictivos de muertes por atropellamientos (Mercado, 2011). No obstante, en el país la mayor parte



Figura 9. Perrito de la pradera, también conocido como perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*), parado sobre su madriguera que se encuentra ubicada muy cerca de la carretera. Se trata de una especie endémica y en peligro de extinción, protegida por leyes mexicanas e internacionales (Foto: Victoria Aguilar-Herrera)



Figura 10. Individuo de perrito llanero mexicano (*Cynomys mexicanus*) atropellado (Foto: Graciela E. Villanueva-Vázquez).

Figura 11. Señalamiento vial indicando la presencia de perrito llanero en el área. Esta es una de las medidas de mitigación más utilizadas en nuestro país, colocación de señales sobre caminos y carreteras ubicados principalmente dentro de áreas protegidas o destinadas a la conservación (Foto: Graciela E. Villanueva-Vázquez).

de los estudios siguen en fases descriptivas, es decir, se sigue analizando la riqueza y diversidad de especies atropelladas. En México urge ya la implementación de medidas para reducir la muerte por atropellamientos, por ejemplo, pasos de fauna, señalamientos de presencia de especies bajo protección y posteriormente evaluar la efectividad (Figuras 9-11).



Un método muy implementado en Europa, a su vez Estados Unidos y recientemente en México, es el uso de pasos a desnivel, los cuáles presentan buena efectividad; sin embargo, las variables a considerar son múltiples; tamaño del paso, cobertura vegetal, niveles de ruido, humedad, temperatura e interacción entre las especies (Berris, 1997). Algunos pasos vehiculares, pasos ganaderos y obras de drenaje funcionan paralelamente para que la fauna silvestre pueda cruzar las carreteras. Hasta la fecha, lo más ampliamente difundido a nivel nacional ha sido la colocación de señalamientos de tránsito que indican la presencia de especies que habitan el lugar y con altas probabilidades de cruce, principalmente dentro de áreas naturales protegidas o reservas, por lo que estas señales son precautorias y exhortan a prestar atención en el camino y reducir la velocidad.

¿CÓMO TODOS PODEMOS AYUDAR A DISMINUIR EL IMPACTO DE LAS CARRETERAS SOBRE LA FAUNA?

Tus acciones pueden mitigar los efectos negativos de esta problemática. Al manejar sobre la carretera debes estar alerta y si te encuentras con fauna

silvestre cerca de o cruzando el camino debes bajar la velocidad, poner las luces intermitentes para alertar a otros conductores y permitir el paso de los animales si fuese posible. También puedes sonar el claxon para espantarlos y prevenir accidentes, esto sólo cuando no venga un vehículo en algún otro carril, ya que el sonido que ahuyenta al animal de nuestro paso puede provocar que otro vehículo lo colisione durante su huida. En caso de encontrarte con un accidente por colisión es recomendable levantar un reporte por alguna de las plataformas de ciencia ciudadana como

Naturalista (www.naturalista.mx) y WATCH (acrónimo de Wild Animals in Transport Corridors and Highways, que en español significa Animales Silvestres en Corredores de Transporte y Carreteras), creada por el Instituto Mexicano del Transporte (watch.imt.mx) para monitorear los accidentes de la fauna en las carreteras. Es importante no exponer la seguridad del conductor por lo cual se necesitan tomar medidas preventivas. Además de estas acciones, podemos contribuir al hablar del tema con nuestros conocidos, la concientización es muy importante y platicar acerca de esta problemática es un primer paso para ayudar.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

A pesar de que el efecto negativo de las carreteras y caminos sobre la biodiversidad es alarmante, sobre todo en países como México donde se cuenta con una amplia diversidad de flora y fauna, estas vías son esenciales para la comunicación y el desarrollo de toda población humana. Por ello, no pueden eliminarse radicalmente, más bien se deben de proponer y ejecutar medidas de mitigación y protección a especies vulnerables. Por lo tanto, el diseño de las carreteras, su manejo y restauración deben ser adaptados de forma que se tomen en cuenta los procesos ecológicos de los sitios y se minimice el número de especies colisionadas. En relación a esto, es necesario que se lleven a cabo monitoreos continuos durante una cantidad considerable de años para así ver el efecto de las carreteras en las poblaciones naturales aledañas. Además de que, si se aplican medidas de mitigación, como pasos de fauna o túneles, los registros de antes y después de su aplicación pueden indicar si su efecto resulta positivo, neutro o negativo en la fauna silvestre (Tenés *et al.*, 1987), ya que los esfuerzos de conservación no pueden seguir dependiendo de suposiciones no evaluadas sobre los efectos de las redes vehiculares en la biodiversidad, sobre todo en condiciones tan distintas y complejas como lo es la geografía de nuestro país.

Resultará imposible acabar con todas las consecuencias negativas de las carreteras sobre la biodiversidad; sin embargo, se pueden llevar a cabo medidas para reducir el impacto de las mismas, desde tomar en cuenta que la fragmentación de los hábitats consideren que los inevitables parches de vegetación natural resultantes al menos cuenten con la mayor dimensión posible para que las especies logren encontrar en ellos todos los requerimientos para llevar a cabo sus funciones vitales.

Los países desarrollados han implementado diversas soluciones con éxito como los pasos de fauna, es necesario que estas técnicas se efectúen en México donde ya se han identificado sitios críticos con una gran pérdida de biodiversidad por colisiones y que dichos pasos se encuentren adaptados a los hábitos particulares de las especies que se deseen proteger. De igual forma, es de suma importancia concientizar a la población con talleres y conferencias relacionados a este tópico, además de implementar señalamientos y reductores de velocidad. Se debe hacer uso de las tecnologías de la información, para que los ciudadanos contribuyan aportando nuevos datos, registrando los hechos por medio de su teléfono celular (smartphone) en las plataformas digitales con las que se cuenta.

Este artículo se realizó con el fin de que más personas se informen acerca de esta situación y se puedan tomar medidas para mitigar este impacto y ayudar así a conservar nuestras especies.



LITERATURA CITADA

- Adárraga-Caballero, M. y L. Gutiérrez-Moreno. 2017. Mortalidad de vertebrados silvestres en dos segmentos de la carretera troncal del Caribe a su paso a través de dos ecosistemas de interés biológico en la costa Caribe Colombiana (Magdalena). *Memorias III Seminario Internacional de Ciencias Ambientales SUE-Caribe*. 169-173.
- Aresco, M.J. 2005. Mitigation measures to reduce highway mortality of turtles and other herpeto fauna at a north Florida lake. *Journal of the Wildlife Management*. 69:549-560.
- Arroyave, M., C. Gómez, M.E. Gutiérrez, D.P. Munera, P.A. Zapata, I.C., Vergara, L.M. Andrade y K.C. Ramos. 2006. Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo. *EIA*. 5:45-57.
- Banff National Park. 2017. 10 quick facts about highway wildlife crossings in the park. En: https://www.pc.gc.ca/en/pn-np/ab/banff/info/gestion-management/enviro/transport/tch-rtc/passages-crossings/faq/10_1 (consultado el 30/08/2018).
- Bauni, V., J. Anfuso y F. Schivo. 2017. Mortalidad de fauna silvestre por atropellamientos en el bosque atlántico del Alto Paraná, Argentina. *Ecosistemas*. 26:54-66.
- Bencke, G., y C. Bencke. 1999. The potential importance of road deaths as cause of mortality for large forest owls in southern Brazil. *Cotinga*. 11:79-80.
- Berris, L. 1997. *The importance of the ecoduct at Terlet for migrating mammals*. Pp. 418-420. En: Canters, K. (Ed.) *Habitat fragmentation and infrastructure*. Ministry of Transport, Public Works and Water Management. Delft, The Netherlands.
- Carr, L.W. y L. Fahrig. 2001. Effects of road traffic on two amphibian species of differing vagility. *Conservation Biology*. 15:1071-1078.
- Casey, L. 2018. Burlington to close road ahead of endangered salamander crossings. En: <https://www.thestar.com/news/gta/2017/03/08/burlington-to-close-road-ahead-of-endangered-salamander-crossings.html> (consultado: 30/08/2018).
- Copul-Magaña, F.G. 2002. Víctimas de la carretera: la fauna apachurrada. *Gaceta CUC. Ciencia*. 10:7.
- da Cunha, H.F., F.G.A. Moreira y S. de Sousa Silva. 2010. Roadkills of wild vertebrates along the GO-060 road between Goiânia and Iporá, Goiás State, Brazil. *Biological Sciences*. 32: 257-263.
- D'Amico, M., J. Román, L. de los Reyes y E. Revilla. 2013. Vertebrate road-kill patterns in Mediterranean habitats: Who, when and where. *Biological Conservation*, 191:234-242.
- De La Ossa, J., N. De La Ossa y E. Medina-Bohórquez. 2015. Atropellamiento de fauna silvestre. *Colombiana de Ciencia*. 7:109-116.
- De La Ossa, V.J. y S. Galván-Guevara. 2015. Registro de mortalidad de fauna silvestre por colisión vehicular en la carretera Toluviejo - ciénaga La Caimanera, Sucre, Colombia. *Biota Colombiana*. 16:67-77.
- Delgado-Velez, C. 2014. Adiciones al atropellamiento vehicular de mamíferos en la vía de El Escobedo Envigado (Antioquia), Colombia. *EIA*. 11:147-153.
- Drews, C. 1995. Road kills of animals by public traffic in Mikumi National Park, Tanzania, with notes on baboon mortality. *African Journal of Ecology*. 33:89-100.
- Eloy-Seijas, A., A. Araujo-Quintero y N. Velásquez. 2013. Mortalidad de vertebrados en la carretera Guanare-Guanarito, estado portuguesa, Venezuela. *Biología Tropical*. 61:1619-1636.
- Grosselet, M., B. Villa-Bonilla y G. Ruiz-Michael. 2008. Afectaciones a vertebrados por vehículos automotores en 1,2 km de carretera en el istmo de Tehuantepec. *Proceedings of the Fourth International, Partners in Flight Conference: Tundra to Tropics*. 1:227-231.
- González-Gallina, A., y G. Benítez-Badillo. 2013. Road ecology studies for Mexico: a review. *Oecologia Australis*. 17:175-190.

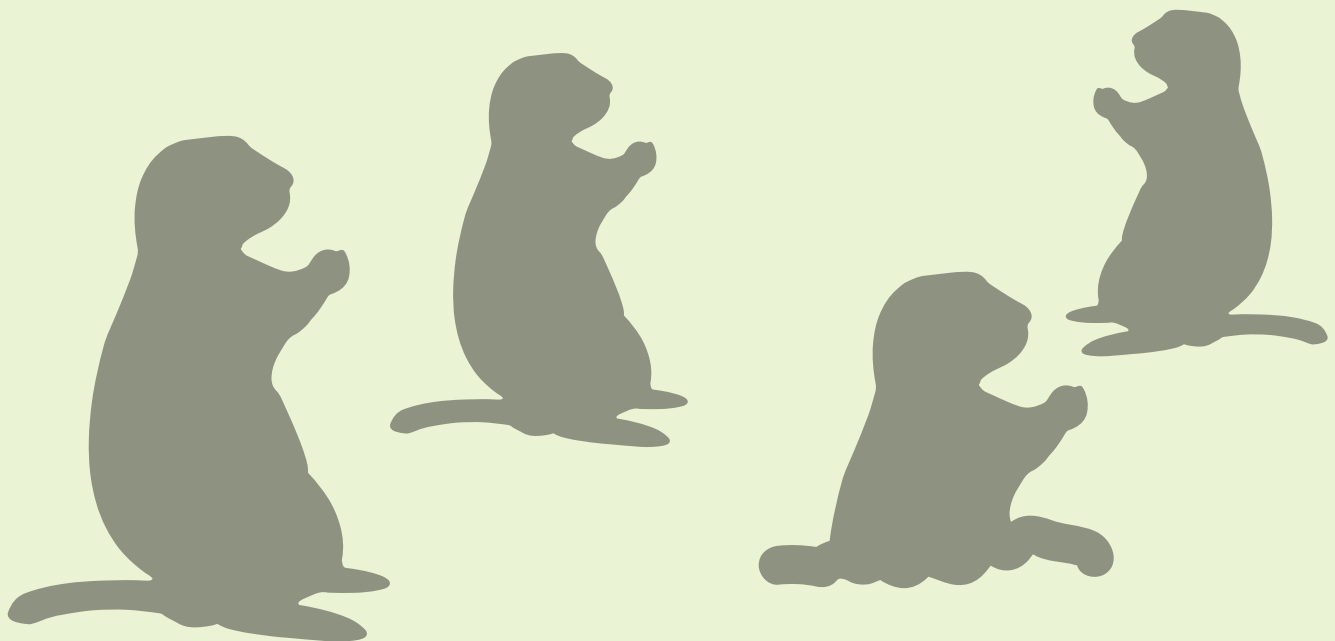
- González-Gallina, A., G. Benitez-Badillo, M.G. Hidalgo-Mihart, M. Equihua y O.R. Rojas-Soto. 2015. Roadkills as a complementary information source for biological surveys using rodents as a model. *Journal of Mammalogy*. 97:145-154.
- González-Gallina, A., y M.G. Hidalgo-Mihart. 2018. A Review of Road-killed Felids in Mexico. *Therya*. 9:147-159.
- Gunson, K., D. Seburn, J. Kintsch y J. Crowley. 2016. *Best Management Practices for Mitigating the Effects of Roads on Amphibians and Reptile Species at Risk in Ontario*. Ministry of Natural Resources and Forestry. Queen's Printer for Ontario, 112 pp.
- Holder, S. 2018. Animals Need Infrastructure Too. En: <https://www.citylab.com/life/2018/07/wildlife-crossings-bridges-tunnels-animals-roads-highways-roadkill/566210/> (consultado el 30/08/2018).
- Husby, M. 2016. Factors affecting road mortality in birds. *Ornis Fennica*, 93:212-214.
- Jackson, S.D., y C.R. Griffin. 2000. A strategy for mitigating highway impacts on wildlife. Wildlife and highways: seeking solutions to an ecological and socio-economic Dilemma. *The Wildlife Society*. 1:143-159.
- IUCN (International Union for Conservation of Nature). 2018. The IUCN Red List of Threatened Species 2018-1. En: <http://www.iucnredlist.org/> (consultado el 04/09/2018).
- Jones, M.E. 2000. Road upgrade, road mortality and remedial measures: impacts on a population of eastern quolls and Tasmanian devils. *Wildlife Research*. 27:289-296.
- Lazcano, D., A. Salinas-Camarena y J. Contreras-Lozano. 2009. Are roads in Nuevo León, Mexico, taking their toll on snake populations? *Bulletin of Chicago Herpetology*. 44:69-75.
- Lazcano, D., D. Esquivel-Arévalo, A. Heredia-Villarreal, J. García-Salas, B. Navarro-Velázquez y M. Nevárez-de los Reyes. 2017. Are roads in Nuevo León, Mexico, taking their toll on snake populations? (Part II). *Bulletin of Chicago Herpetology*. 44:185-194.
- Mercado, S.A. 2011. *Análisis de la siniestralidad provocada por la irrupción de especies cinegéticas (ciervo, corzo y jabalí) en las carreteras de la provincia de Soria: aplicación de medidas correctoras*. Tesis Doctoral, Departamento de Ciencias Agroforestales, Universidad de Valladolid. España, 309 pp.
- Monroy, M.C., A. De La Ossa-Lacayo y J. De La Ossa. 2015. Tasa de atropellamiento de fauna silvestre en la vía San Onofre-María la baja, Caribe Colombiano. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas*. 27:88-95.
- Obras. 2017. Los 5 estados que más carreteras nuevas construyen. Obras web, Construcción. En: <http://obrasweb.mx/construccion/2017/06/28/los-5-estados-que-mas-carreteras-nuevas-construyen> (consultado el 04/09/2018).
- Peris, S.R., A. Baquedano y M. Pescador. 2005. Mortalidad del jabalí (*Sus scrofa*) en carreteras de la provincia de salamanca (No de España): ¿influencia de su comportamiento social? *Galemys*. 17:13-23.
- Pinowski, J. 2005. Roadkills of vertebrates in Venezuela. *Revista Brasileña de Zoología*. 22:191-196.
- Puky, M. 2006. *Amphibian road kills: a global perspective*. Pp. 325-338. En: Irwin, C.L, P. Garrett y K.P. McDermott (Eds.). Proceedings of the 2005 International Conference on Ecology and Transportation. Center for Transportation and the Environment. North Carolina State University, Raleigh, North Carolina.
- SCT-IMT (Secretaría de Comunicaciones y Transporte-Instituto Mexicano del Transporte). 2010. Manual Estadístico del Sector Transporte 2010. En: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/Manual/mn2010.pdf> (consultado el 03/09/2018).
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.

Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación del 30 de diciembre de 2010. Distrito Federal, México.

Smith, B. 2015. Hume Highway rope bridges help revive squirrel glider population. En: <https://www.smh.com.au/technology/hume-highway-rope-bridges-help-revive-squirrel-glider-population-20150706-gi5teh.html> (consultado el 30/08/2018).

Soanes, K., M.C. Lobo, P.A. Vesk, M.A. McCarthy, J.L. Moore y R. van der Ree. 2013. Movement re-established but not restored: inferring the effectiveness of road-crossing mitigation for a gliding mammal by monitoring use. *Biological Conservation*, 159, 434-441.

Tenés, A., S. Cahill, F. Llimona y G. Molina. 2007. Atropellos de mamíferos y tráfico en la red viaria de un espacio natural en el área metropolitana de Barcelona: Quince años de seguimiento en el Parque de Collserola. *Galemys*, 19:169-188.





EL APOCALIPSIS DEL OZONO: EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

Abraham Octavio Rodríguez de la Fuente, José Antonio Heredia Rojas,
Omar Heredia Rodríguez, María Esperanza Castañeda Garza, Laura Ernestina Rodríguez Flores.

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Departamento de Ciencias Exactas y Desarrollo Humano. Autor de correspondencia abraham.rodriguez@uanl.edu.mx

RESUMEN

Nuestro planeta es constantemente bombardeado por una gran diversidad de radiaciones, que incluyen partículas y ondas electromagnéticas de diversas frecuencias, es la llamada radiación cósmica. Esta radiación incluye emisiones ionizantes y no ionizantes. Entre estas últimas, la luz ultravioleta (LUV) tiene una gran importancia dada sus implicaciones biológicas. Por su parte, el planeta tiene una defensa natural contra la radiación cósmica, en especial, la LUV es mayormente retenida por una banda atmosférica llamada "capa de ozono", localizada en la estratósfera terrestre. En los últimos 40 años, se han detectado oscilaciones de la capa de ozono que han puesto en alerta a la comunidad científica, en cuando a las repercusiones que esto puede tener sobre la vida en el planeta. En este artículo, se tratan en forma resumida las consecuencias de la alteración en los niveles de ozono estratosféricos en la diversidad de efectos biológicos dañinos de la LUV; además, en contraparte, se contemplan algunos de los usos benéficos que esta radiación no ionizante tiene.

INTRODUCCIÓN

Se define como radiación, a cualquier tipo de emisión y propagación de energía a través del vacío o de un medio material, en forma de onda electromagnética (luz), o en forma de partículas de naturaleza muy variada. Las radiaciones se dividen en dos grandes grupos: Ionizantes y no ionizantes. Las primeras, se caracterizan por tener una cantidad de energía tal, que son capaces de producir desplazamiento de electrones en los materiales con los cuales interactúa, formando así iones. Por otro lado, las no ionizantes no provocan la aparición de iones en los materiales impactados. Sin embargo, es necesario aclarar que a pesar de no generar ionización, tienen efectos biológicos, aunque por otros mecanismos, mismos que serán descritos a continuación y en particular para un tipo de radiación que hoy en día ha venido a ser una de las más importantes desde el punto de vista de la biofísica de radiaciones, la luz ultravioleta (LUV). Esta radiación no ionizante es un componente primordial de la radiación cósmica que nos llega del sol. En la actualidad, se sabe que ha habido un aumento considerable en los niveles de radiación cósmica que llegan a la superficie terrestre (Guerrero-Abreu y Pérez-Alejo, 2006).

Por otro lado, el planeta Tierra posee una defensa natural a manera de escudo, la así llamada "capa de ozono", que no permite el paso de una buena cantidad de radiación electromagnética, entre ellas la LUV. Sin embargo, en los últimos 25 años se ha notado una disminución, que si bien no ha sido constante, si provoca oscilaciones en la cantidad del ozono presente, lo que a final de cuentas favorece la penetración de la LUV hacia la superficie terrestre (Henriksen et al., 1990).

En el presente artículo, se tratará en forma breve el impacto que ha tenido la reducción de la capa de ozono en la vida, ya que al penetrar mayor cantidad de radiación ultravioleta, se producen también mayores efectos de esta radiación no ionizante en los sistemas biológicos. Por otro lado, se considerarán también los usos benéficos que esta radiación tiene para el ser humano y la vida en general cuando se maneja de forma controlada.



Palabras clave: Radiación, Ozono, Luz ultravioleta, genotoxicidad.
Keywords: Radiation, Ozone, Ultraviolet light, genotoxicity.

LA CAPA DE OZONO

Como anteriormente se mencionó, las variaciones en la capa de ozono de los últimos años han provocado que una cantidad mayor de LUV llegue a la superficie terrestre, sobre todo aquélla de longitud de onda muy corta, y por consecuencia de mayor energía, la catalogada como UVC. Se sabe que toda radiación electromagnética por debajo de 287 nm es retenida por esta capa de ozono, formada de oxígeno tri-atómico (O_3), y que se localiza a 20 Km de altitud en la zona de la estratósfera terrestre. Además del riesgo para la salud que esto implica, debe considerarse el efecto que esta radiación tiene en el fenómeno de calentamiento global, dado que, al llegar a la superficie de la tierra, ésta suele convertirse en radiación de longitud de onda más larga, por ejemplo, del tipo infrarrojo, que son las llamadas ondas de calor (arriba de los 700 nm de longitud de onda) y que aumentan la temperatura global del planeta (Diffey, 2002).

Desde hace aproximadamente 40 años, se ha venido realizado un monitoreo de los niveles de ozono en la estratósfera terrestre, sobre todo por parte del Instituto Max Planck de Alemania. Se ha encontrado una drástica disminución de sus niveles, sobre todo en zonas del planeta como los polos, y más severamente en la parte sur, correspondiente al Antártico. Cabe destacar que en las investigaciones, sobre la reducción de la capa de ozono y sus causas, participó el científico mexicano José Mario Molina Enríquez quien fue corresponsario junto con Paul Crutzen y Frank Sherwood del premio Nobel de Química en 1995, por la dilucidación del papel de los gases clorofluorocarbonos (CFCs) en la destrucción catalítica de la capa de ozono. Los trabajos del mexicano Molina Enríquez y su grupo, concluyeron también que otros contaminantes atmosféricos tales como los óxidos de nitrógeno, cloro y bromo, aparte de los CFCs, tienden a formar compuestos estables con el ozono promoviendo su destrucción, compuestos que pueden llegar a tener una vida media de 50 a 150 años. Los resultados obtenidos sobre el tema, condujeron a la proclamación del llamado "Protocolo de Montreal" de las Naciones Unidas, que en opinión de la comunidad científica experta en el tema, salvó al mundo de una catástrofe ecológica derivada de la gran cantidad de radiación cósmica que potencialmente podría

llegar al planeta sin la presencia de este escudo de ozono (Henriksen, 1990). En la Figura 1, se aprecia una imagen que muestra el espectro de ozono estratosférico, registrada por científicos alemanes, donde claramente se ve el cambio que ha habido en los niveles de este gas desde hace 40 años. Por su parte, la Figura 2 muestra el "agujero de ozono" inicialmente detectado en el hemisferio sur, sobre la Antártida, y que fue evaluado objetivamente por imágenes espectroscópicas del ozono con ayuda del más grande satélite de observación terrestre jamás construido, el Envisat, lanzado el 1° de marzo de 2002 por la Agencia Espacial Europea.

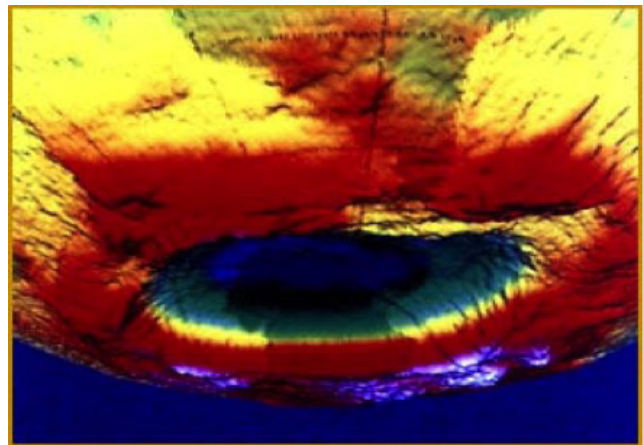
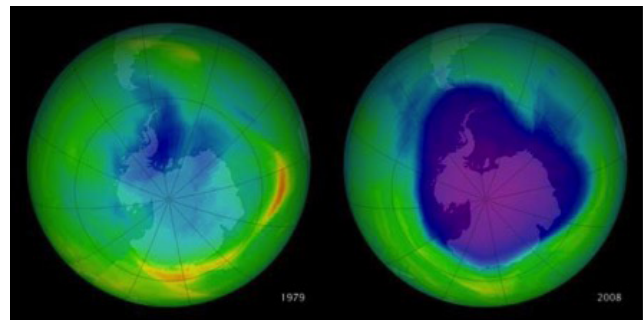


Figura 1. Densidad de ozono en la estratósfera terrestre. Las zonas oscuras, de color azul hacia el morado, representan regiones con muy baja densidad de este gas. Estos datos resultaron de observaciones hechas por el Instituto Max Planck de Alemania, y por el satélite Envisat (Environmental Satellite) de la Agencia Espacial Europea. Durante 10 años este satélite estuvo brindando información sobre los niveles de ozono estratosférico. Se puede fácilmente apreciar la marcada reducción en los niveles de ozono en 40 años de registros.

Figura 2. Imagen que muestra claramente el "agujero de ozono" (color azul oscuro y negro) detectado por el satélite Envisat de la Agencia Espacial Europea. De acuerdo a cálculos estimados, sólo en 2006, se perdieron 40 millones de toneladas de ozono (cifra récord para un año de mediciones).

ASPECTOS FÍSICOS DE LA LUZ ULTRAVIOLETA

La LUV es una onda electromagnética con longitudes de onda entre 400 nm y los 15 nm. Este tipo de radiación no llega a ser visible para el ser humano, ya que el máximo alcance de la visión es hasta el violeta del espectro visible (400 nm). La LUV se puede dividir en tres clases a) radiación UVA tiene longitudes de onda entre 315 nm y 400 nm, b) la radiación UVB rangos de 280-315 nm, y c) UVC tiene longitudes de onda más cortas entre 100 y 280 nm. La principal característica de la radiación UV al interactuar con los materiales, incluyendo los sistemas biológicos, es la posibilidad de producir excitaciones en los átomos, que provocan reacciones químicas. En éstas se basan los diferentes efectos, que son dependientes de la energía, es decir, de la longitud de onda de la luz. (Diffey 2002).

Las fuentes de LUV pueden ser de origen natural y artificial. Las fuentes de origen natural pueden ser producidas por los rayos durante tormentas eléctricas, pero la más abundante es la que proviene de nuestra estrella más cercana, el sol. Ahora se sabe, que el espectro de radiación solar incluye: 45% de luz visible, 45% de radiación infrarroja u ondas de calor, y 10% de LUV (Figura 3). Eventualmente, el sol emite también radiaciones ionizantes, como son los rayos X (Aschwanden, 2006).

Por otra parte, la LUV puede ser producida de manera artificial, mediante lámparas fluorescentes o de luz negra, estas lámparas emplean solo un tipo de fósforo (P) en lugar de los varios usados en las lámparas fluorescentes normales y, en lugar del vidrio claro, se usa uno de color azul-violeta, llamado cristal de Wood (Figura 4). El vidrio de Wood contiene óxido de níquel, y bloquea casi toda la luz visible que supere los 400 nanómetros, permitiendo solo ondas electromagnéticas de longitud de onda más corta (Miller et al., 2013).

En cuanto a su modo de acción, la LUV presenta propiedades fotoquímicas, ya que posee energía suficiente para extraer electrones externos de algunos átomos, redistribuir los átomos de las moléculas en nuevas moléculas o acelerar ciertas reacciones químicas. Una de las acciones fotoquímicas de interés es la realizada sobre el oxígeno. La LUV produce la separación de los dos átomos que forman la molécula de oxígeno; deja libre oxígeno atómico, que tiene una existencia muy breve, y se recombina rápidamente para formar oxígeno molecular (O_2) u ozono (O_3). Dado lo anterior, en cuanto a las reacciones con el oxígeno, se entiende que la misma LUV es capaz de contribuir a la capa de ozono ya que induce su formación. Estas reacciones se mantuvieron casi inalteradas por muchos años, sin embargo, hoy en día, el uso de sustancias químicas como los mencionados clorofluorocarbonos, que destruyen la capa de ozono por actividad antropogénica, ha desbalanceado

Figura 3. El espectro de la radiación solar incluye una diversidad de radiaciones. En forma global, se considera que el 45% corresponde al espectro visible de la luz, 45% a ondas de calor, conocidas también como infrarrojas, y un 10% a luz ultravioleta de diversas longitudes de onda, como se explica en el texto. Cada 11 años, el sol tiene períodos de actividad en la corona solar que emite rayos X. De no ser por la capa de ozono, una gran cantidad de radiación llegaría a la superficie terrestre y haría imposible la vida en el planeta tal y como la conocemos.

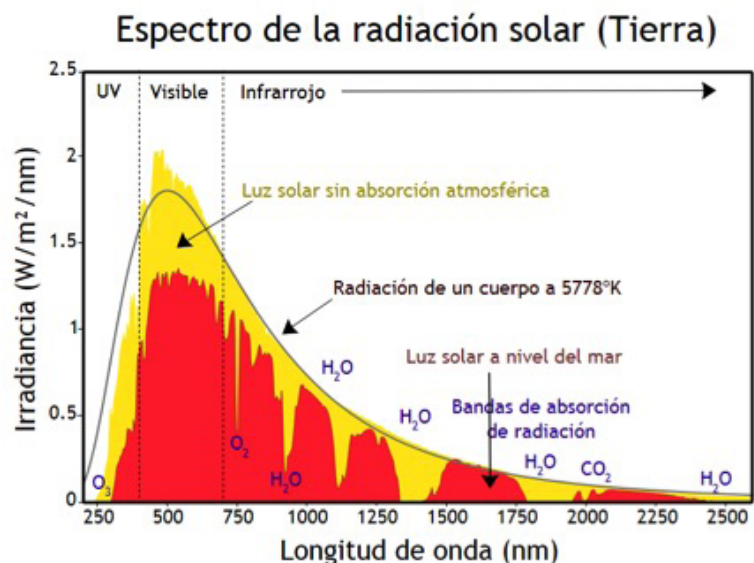




Figura 4. Lámparas de luz ultravioleta usadas principalmente como agentes germicidas. Las ventajas de eliminar microorganismos con este agente físico, es que no se dejan residuos químicos en los materiales irradiados.

este delicado equilibrio de formación-destrucción del ozono estratosférico y esto ha provocado la disminución de este escudo protector (Henriksen et al, 1990).

RIESGOS A LA SALUD POR LA LUV

La radiación ultravioleta envejece a las células de la piel y pueden dañar el ADN, como más adelante se detallará. Estas radiaciones están asociadas a daño dérmico a largo plazo, tal como las arrugas, pero también se considera que desempeñan un papel en algunos tipos de cáncer de piel. La insolación desmedida, y el uso indiscriminado de camas bronceadoras que emiten grandes cantidades de esta radiación, se asocian con el riesgo de padecer cáncer de piel (De Vries et al., 2012).

Los rayos UVB tienen un poco más de energía que los rayos UVA, y éstos pueden dañar directamente al ADN de las células de la piel, y son los principales causantes de quemaduras de sol. Asimismo, se cree que causan la mayoría de los procesos carcinogénicos de la piel (Uehara et al., 2014).

Por su parte, los rayos UVC tienen más energía que otros tipos de rayos UV, aunque si la capa de ozono tiene la densidad adecuada, no pueden penetrar nuestra atmósfera y por lo tanto, se considera que no debieran estar presentes en la luz solar.

La potencia de los rayos UV que llega al suelo depende de un número de factores físicos, tales como: 1) Hora del día. Los rayos UV son más potentes entre 10 a.m.

y 4 p.m. en latitudes medias, 2) Temporada del año. Los rayos UV son más potentes durante los meses de la primavera y el verano para el hemisferio norte, aunque este es un factor menos importante cerca del ecuador, 3) Distancia desde el ecuador (latitud), ya que la exposición a LUV disminuye a medida que se aleja de la línea ecuatorial, 4) Altitud. Más rayos UV llegan al suelo en elevaciones más grandes, 5) Formación nubosa. El efecto de las nubes puede variar, ya que a veces la formación nubosa bloquea algunos rayos UV del sol y reduce la exposición a rayos UV; mientras que, algunos tipos de nubes pueden reflejar la radiación y pueden aumentar así la exposición a los rayos UV. Lo que es importante saber es que la LUV puede atravesar las nubes, incluso en un día nublado, 6) Reflejo de las superficies. Los rayos UV pueden rebotar en superficies como el agua, la arena, la nieve, o el pavimento, lo que lleva a un aumento en la exposición de los sistemas biológicos a esta radiación.

En lo que concierne al efecto negativo de la LUV de acelerar el envejecimiento de la piel, se acepta que la mayor parte del envejecimiento prematuro está causado por la exposición indiscriminada al sol. Entre las respuestas destacan: pecas, manchas seniles (también conocidas como "manchas hepáticas"), piel áspera, arrugas finas que desaparecen cuando son estiradas, tez llena de manchas, piel laxa y queratosis actínica (Diffey, 1998).

Se sabe también que la LUV es capaz de afectar la visión debido a la formación de cataratas o también llamadas opacidades lenticulares de la córnea. La exposición a la LUV afecta tanto el epitelio como el endotelio en la córnea, y el aumento de la exposición

provoca daños considerables al mecanismo de protección antioxidante corneal, lo que resulta en daños a ésta y a otras estructuras oculares. Esta radiación también afecta el cristalino, que pierde su transparencia debido a los cambios irreversibles en sus proteínas (Diffey, 1998).

Más recientemente, se ha observado que la LUV afecta el sistema inmunológico de los seres vivos produciendo inmunosupresión, lo que favorece el desarrollo de infecciones tanto virales como bacterianas. De ahí el comentario que se hacía en el pasado acerca de la aparición de "fuegos bucales" o también conocidos como aftas, luego de una insolación desmesurada. Asimismo, el efecto inmunosupresivo favorecería el desarrollo del cáncer de piel anteriormente mencionado (Gonzalez-Maglio et al., 2016).

También, se ha demostrado que esta radiación es capaz de generar los llamados radicales libres, que son moléculas muy reactivas que están involucradas en muchos procesos degenerativos de los tejidos biológicos, además de relacionarse con mutagénesis y carcinogénesis (Herrling et al., 2003).

EFFECTOS DE LA LUV EN EL ADN

A nivel molecular, desde mucho tiempo atrás se sabe que la LUV es una forma de radiación que actúa como un mutágeno, un agente que causa cambios heredables en el ADN. La exposición a la LUV provoca cambios químicos que alteran la forma del ADN, y por consecuencia se altera el código genético. La LUV de longitudes de onda entre 200 a 300 nm que se encuentra en la luz solar natural, lámparas de sol y camas de bronceado, es capaz de afectar marcadamente el ADN pues este ácido nucleico absorbe fuertemente la luz UV ya que la parte más intensa del espectro de absorción de ADN abarca longitudes de onda entre 250-260 nm. Debido a la componente de LUV en la luz solar, este tipo de radiación viene a constituirse en la fuente más común de los tipos de radiación que daña al ADN (Beani, 2014).

La forma en que la LUV afecta al ADN, es primordialmente al causar la formación de los

llamados dímeros de timina, esto es, dos bases de pirimidina orientadas una junto a la otra en la misma cadena y que se unen entre sí, en lugar de unirse a su pareja en la cadena opuesta. Ese efecto, produce un abultamiento en el ADN dondequiera que ocurra, por consecuencia las células no pueden leer más allá o copiar las regiones que contienen los dímeros de timina. Por su parte, la célula responde a este daño, ya que un proceso celular llamado reparación por escisión puede solucionar esto; una base del dímero se corta de la hebra del ADN dañado, y una nueva base sustituye a ésta, sin embargo, se inserta al azar y sólo hay una probabilidad de 1 en 4 de que la base sustituyente sea la misma que la que se eliminó, por lo que este proceso de reparación por escisión frecuentemente causa mutaciones al ADN (Ikehata y Ono, 2011).

EFFECTOS Y USOS BENÉFICOS DE LA LUV

En contraparte a todo lo anteriormente expuesto, la LUV juega un papel importante en algunos procesos vitales. Una reacción de importancia biológica es la conversión de la provitamina D en vitamina D. Las provitaminas (ergosterol y 7-dehidrocolesterol) provienen de la alimentación; las que llegan a la piel por la circulación sufren la acción de la radiación UV (270-320 nm) y se transforman en vitamina D. La vitamina D entre otras acciones, es necesaria para la absorción intestinal del calcio procedente de los alimentos y es por eso que participa en la homeostasis del hueso. El déficit de vitamina D origina alteraciones óseas y raquitismo, también se ha relacionado el riesgo de padecer algunos tipos de cáncer, cuando el individuo tiene niveles sanguíneos bajos de esta vitamina (Holick, 2014).

Por otra parte, son bien conocidas las aplicaciones que involucran los efectos germicidas de los rayos UV. Las áreas de aplicación antimicrobiana de esta radiación no ionizante se dividen en tres grandes categorías: a) inhibición de microorganismos en las superficies que permite la disminución de carga microbiana de materiales de empaque, por ejemplo, contenedores, envoltorios o tapas de botellas, mediante la disposición de lámparas apropiadas sobre los transportadores. El éxito de esta aplicación

Figura 5. El uso de la radiación ultravioleta facilita el trabajo con más seguridad al manejar agentes infecciosos de alta virulencia en campanas de flujo laminar empleadas en los laboratorios

Figura 6. La Luz ultravioleta ha probado ser muy eficiente en la eliminación de una variedad de gérmenes en lugares donde una alta asepsia es requerida, como es el caso de las salas de quirófano de los hospitales.



depende de que las superficies del material estén limpias y libres de cualquier suciedad que absorba la radiación y proteja las bacterias; b) destrucción de microorganismos en el aire, en los hospitales, las lámparas UVC se han utilizado para crear una cortina o barrera de radiación por la que debe pasar el aire antes de llegar a pacientes sensibles a la infección. Además, la LUV se ha utilizado para disminuir la cantidad de bacterias transmitidas por el aire y que facilitan el trabajo en campanas de flujo laminar cuando se manejan microorganismos altamente

virulentos (Figura 5), también en quirófanos, donde se requiere una alta asepsia (Figura 6), y en salas de internamiento de pacientes infecciosos; c) esterilización de líquidos, el tratamiento con UVC es una de las formas más sencillas de destruir una amplia gama de microorganismos en el agua. Se ha utilizado para desinfectar efluentes de aguas residuales, agua potable y agua para piscinas. Además, la combinación de rayos UV y el ozono tiene una acción oxidante muy poderosa que puede reducir el contenido microbiano del agua a niveles extremadamente bajos.

CONCLUSIONES

Aunque la radiación ultravioleta no tiene la suficiente energía como para provocar ionización de átomos y moléculas con los que interactúa, es capaz de provocar efectos biológicos importantes, que pueden ser utilizados con fines prácticos, pero que también pueden llegar a ser perjudiciales para los sistemas biológicos.

La LUV es generada de manera natural por el sol, que emite entre distintos tipos de ondas electromagnéticas una cantidad considerable de LUV. Si esta radiación impactara directamente sobre la superficie terrestre, acabaría con las formas de vida existentes. Por su parte, la capa de ozono tiene un papel primordial para evitar que la LUV impacte sobre la superficie del planeta, sin embargo, en las últimas décadas se ha incrementado el agujero de la capa de ozono, lo que ha permitido el ingreso de mayor cantidad de radiación a algunas regiones del planeta.

La LUV es capaz de afectar la salud del humano, acelerando el proceso de envejecimiento de la piel,

la formación de cataratas, inmunosupresión, y la aparición de cáncer en la piel. El blanco principal de esta radiación no ionizante a nivel molecular es el ADN. El mecanismo mediante el cual la LUV afecta al ADN es por la formación de dímeros de timina. La célula afectada puede llevar distintos caminos, que van desde la reparación del ADN, la apoptosis o muerte celular programada, y la formación de mutaciones que pueden dar lugar a la formación de células cancerosas.

En contraparte, la LUV tiene también efectos benéficos a la salud, por ejemplo, en la síntesis endógena de vitamina D. Además, hay tecnología de uso benéfico que involucran el uso de LUV en lámparas de luz negra que son utilizadas para eliminación o disminución de carga microbiana en superficies, en el aire y en líquidos, la cual es una alternativa rápida y económica empleada actualmente utilizada en la industria alimentaria, laboratorios, y hospitales.



LITERATURA CITADA

Aschwanden, M. 2006. Physics of the Solar Corona: An Introduction with Problems and Solutions. Primera Edición. Springer. pp 32-36. <https://www.springer.com/la/book/9783540307655>

Beani, JC. 2014. Ultraviolet A-induced DNA damage: role in skin cancer. *Bull Acad Natl Med.* 198(2):273-95. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26263704>

De Vries, E., M. Arnold, E. Altsitsiadis, M. Trakatelli, B. Hinrichs, E. Stockfleth, J. Coebergh. 2012. Potential impact of interventions resulting in reduced exposure to ultraviolet (UV) radiation (UVA and UVB) on skin cancer incidence in four European countries, 2010–2050. *British Journal of Dermatology.* 167(2):53–62. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.2012.11087.x>

Diffey, B.L. 1998. Ultraviolet radiation and human health. *Clin. Dermatol.* 16:83-89. [https://doi.org/10.1016/S0738-081X\(97\)00172-7](https://doi.org/10.1016/S0738-081X(97)00172-7)

Diffey B.L. 2002. Sources and measurement of ultraviolet radiation. *Methods.* 28(1):4-13.

González Maglio, D.H., M.L. Paz, J. Leoni. 2016. Sunlight effects on immune system: Is there something else in addition to UV-induced immunosuppression? *Biomed Res Int.* :1934518. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/1934518>

Guerrero Abreu, J., J.L. Pérez Alejo. 2006. Las radiaciones no ionizantes y su efecto sobre la salud humana. *Revista Cub Med Milit.* 35(3): 1-7. <http://scielo.sld.cu/pdf/mil/v35n3/mil08306.pdf>

Herrling, T., J. Fuchs, J. Rehberg, N. Groth. 2003. UV-induced free radicals in the skin detected by ESR spectroscopy and imaging using nitroxides. *Free Radical Biology and Medicine.* 35(1) 59-67. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(03\)00241-7](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(03)00241-7)

Henriksen, T., A. Dahlback, S.H. Larsen, J. Moan. 1990. Ultraviolet-radiation and skin cancer. Effect of an ozone layer depletion. *Photochemistry and Photobiology.* 51: 579-582. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1990.tb01968.x>

Holick, M.F. 2014. Sunlight, ultraviolet radiation, vitamin D and skin cancer: how much sunlight do we need? *Adv Exp Med Biol.* 810:1-16. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4939-0437-2_1

Ikehata, H., T. Ono. 2011. The mechanisms of UV mutagenesis. *Journal of Radiation Research,* 52(2)115-125. <https://doi.org/10.1269/jrr.10175>

Miller, S., J. Linnes, J. Luongo. 2013. Ultraviolet Germicidal Irradiation: Future Directions for Air Disinfection and Building Applications. *Photochemistry and Photobiology.* 89: 777-78. <https://doi.org/10.1111/php.12080>

Uehara F, S. Miwa, Y. Tome, Y. Hiroshima, S. Yano, M. Yamamoto, E. Efimova, Y. Matsumoto, H. Maehara, M. Bouvet, F. Kanaya, R.M. Hoffman. 2014. Comparison of UVB and UVC effects on the DNA damage-response protein 53BP1 in human pancreatic cancer. *J Cell Biochem.* 115(10):1724-8. <https://doi.org/10.1002/jcb.24837>



RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DE REFINACIÓN DE ACEITE DE SOYA COMO FUENTE POTENCIAL DE SUSTANCIAS BIOACTIVAS

RESUMEN

El aprovechamiento de residuos industriales es una demanda prioritaria a nivel nacional e internacional, por cuestiones de sustentabilidad, ya que la enorme producción de los mismos es una consecuencia natural de la actividad humana. Puntualmente, de la etapa de desodorización en el proceso de refinación de aceite de semillas oleaginosas se obtiene un subproducto denominado genéricamente ácidos grasos destilados (AGD's), el cual, es objeto de estudio de esta revisión. Varios autores reportan que dicho subproducto resulta ser rico en fitoesteroles, tocoferoles y escualeno, que son sustancias bioactivas ya que producen efectos hipocolesterolémicos, antioxidantes y emolientes entre otros; por lo tanto, se les considera útiles en la prevención de enfermedades cardiovasculares y degenerativas.

En este trabajo se presenta una revisión de la información que existe acerca de la composición química de estos residuos en cuanto al contenido de dichas sustancias fisiológicamente activas, como base científica para un potencial aprovechamiento por parte de la industria alimentaria y farmacéutica.

M. A. Núñez González¹, C. A. Amaya Guerra¹, J. Báez González¹, C. J. Aguilera González¹, S. Moreno Limón¹, J. Rodríguez Rodríguez².

¹ Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, Av. Universidad s/n, C. P. 66455, Cd. Universitaria San Nicolás de los Garza, Nuevo León.

² Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey, Ave. Eugenio Garza Sada 2501, Monterrey, NL 64849, México. Av. Eugenio Garza Sada 2501 Sur Col. Tecnológico C.P. 64849, Monterrey, Nuevo León, México.

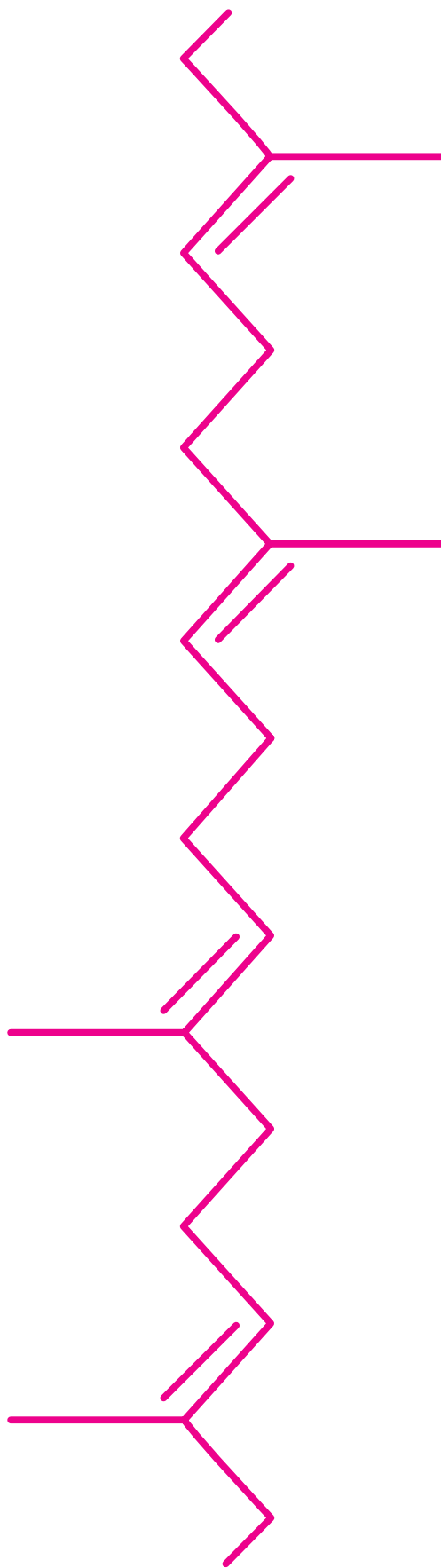
INTRODUCCIÓN

Una demanda actual a nivel mundial es la disminución y/o aprovechamiento de los subproductos generados en los procesos. En la industria de extracción y refinación de aceite vegetal, la optimización de cada una de las etapas y la caracterización de los subproductos generados en las mismas para su potencial aprovechamiento son un tema de investigación

Durante el proceso de refinación, específicamente en la etapa de desodorización se genera un subproducto conocido como ácidos grasos destilados (AGD 's) del cual existen reportes que indican su alto contenido de componente menores tales como fitoesteroles, tocoferoles y escualeno, sustancias biológicamente activas con alto valor en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética Costa et al. (2011).

La industria de extracción de aceite de semillas oleaginosas es una actividad económica importante. El aceite que se obtiene debe ser refinado para su uso comestible, este proceso consiste en una serie de etapas, entre ellas la desodorización, en la que se eliminan sustancias volátiles responsables de características organolépticas indeseables (color, olor, sabor). El producto residual obtenido (AGD 's), contiene en su mayoría cetonas o aldehídos de peso molecular bajo y en ocasiones ácidos grasos libres de menos de 12 átomos de carbono, esteroides, escualeno y tocoferoles Dumont et al. (2007).

El propósito de la presente revisión fue recopilar la información que existe acerca de la composición de subproductos de la industria alimentaria, específicamente del subproducto denominado ácidos grasos destilados de aceite soya (AGD 's) provenientes de la industria de refinación de aceite vegetal, concretamente del proceso de desodorización, como fuente potencial de fitoesteroides, escualeno y tocoferoles, que son sustancias fisiológicamente activas como hipocolesterolémicos y antioxidantes naturales que juegan un papel muy importante en la nutrición de humanos y animales.



OLEAGINOSAS

Las oleaginosas son plantas utilizadas para la producción de aceites y grasas comestibles. Su rasgo característico es el alto contenido de aceite, generalmente de 20% en peso o mayor Willms et al. (1999), Matthäus y Brül (2001). La Tabla 1 muestra los contenidos de aceite de las semillas más utilizadas a nivel mundial.

Tabla 1. Contenido y producción de aceite de oleaginosas. Editada de Miyahara, 1993.

| Oleaginosa | Contenido de aceite (%) |
|--------------------|-------------------------|
| Canola | 40 - 45 |
| Maíz | 3.1 - 5.7 |
| Semilla de algodón | 18 - 20 |
| Cacahuete | 45 - 50 |
| Cártamo | 30 - 35 |
| Soya | 18 - 20 |
| Girasol | 35 - 45 |

Soya

La soya es una planta herbácea que pertenece a la familia Fabáceae, cuyo nombre científico es *Glycine max L.*, de la cual se aprovecha la semilla. En México representa el principal cultivo oleaginoso, Financiera Rural (2013), siendo en 2011 el 38% de la superficie sembrada destinada a este grupo (167 mil de 439 mil ha), así como el 44.3% del volumen producido (205 mil de 463 mil toneladas) y el 37.3% del valor total de las oleaginosas (1289 de 3452 millones de pesos). Los principales consumidores de soya a nivel nacional son

la industria aceitera y pecuaria. La industria aceitera utiliza la soya para la extracción y transformación de aceite, para uso comestible principalmente. Por otro lado, la industria pecuaria utiliza principalmente la pasta o harina de soya, la cual también es un subproducto de la extracción de aceite, por su alto nivel de proteínas (cerca del 40%) y bajo nivel de toxicidad (Dumont y Suresh, 2007). Estos usos han permitido que la soya sea considerada como uno de los cultivos más rentables en el mundo (Financiera Rural, 2013).

Producción y refinación del aceite vegetal

Para obtener aceite comestible de las semillas de oleaginosas se requiere una serie de procesos. El primero es la separación o extracción del aceite de la semilla mediante extracción química o separación física. Después de varios procedimientos, pasa de aceite crudo a producto comestible (Figura 1).

Un factor importante durante todo el proceso es evitar la oxidación y la hidrólisis de los aceites, ya que afectan su calidad. La oxidación se origina por la exposición al oxígeno y puede ser acelerada con calor, esta provoca problemas de olor y estabilidad de sabor. La hidrólisis ocurre siempre que los aceites entren en contacto con agua generando ácidos grasos libres (O'Brien et al. 2000).

El objetivo de la refinación del aceite es remover algunas sustancias presentes en el mismo, para así satisfacer los estándares de calidad en sabor, apariencia y estabilidad. Los procesos unitarios asociados usualmente son el desgomado, blanqueo

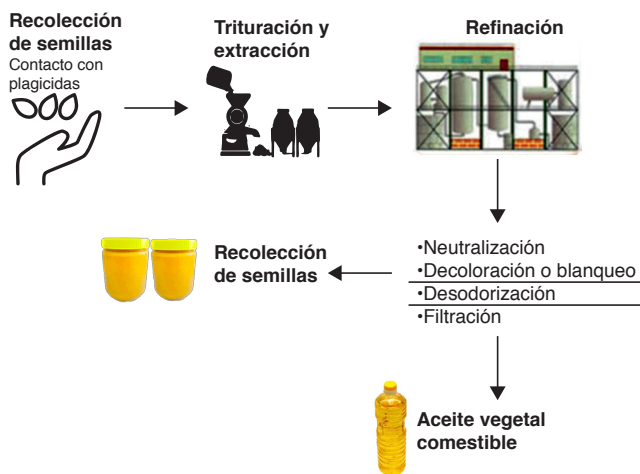


Figura 1. Esquema del proceso de producción y refinación del aceite vegetal.



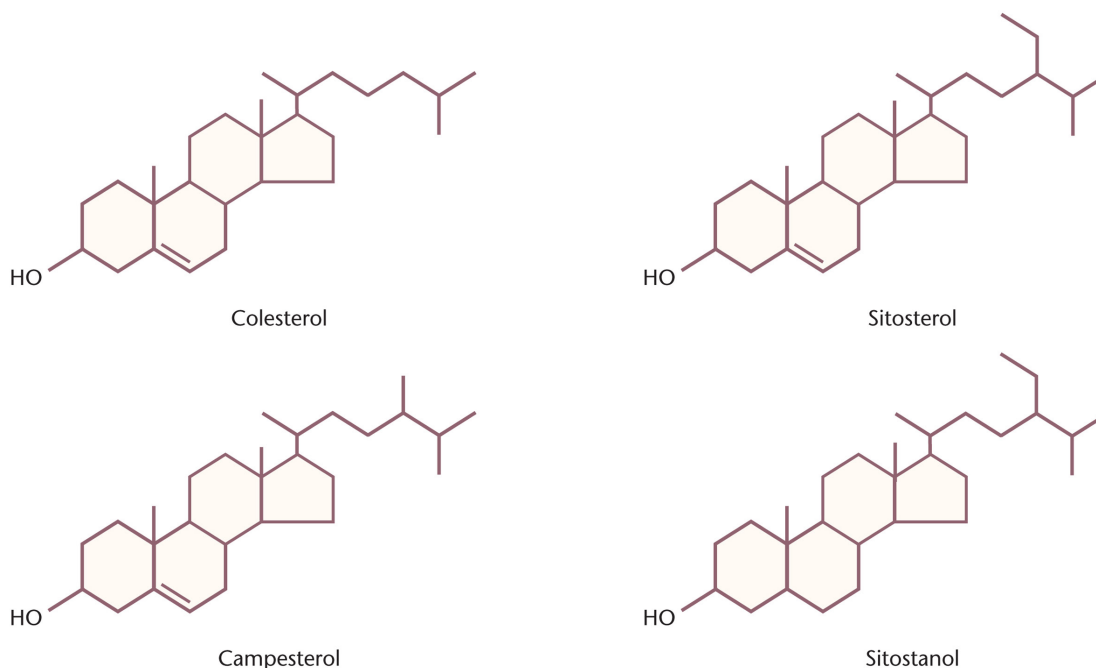


Figura 2. Estructura química del colesterol y de los principales fitoesteros y fitoesteranos (López, 2005).

y desodorizado. Las gomas (fosfolípidos) y los complejos metálicos se remueven en el desgomado y los productos de oxidación y pigmentos son eliminados durante el blanqueamiento, proceso que también remueve cualquier traza de gomas y jabones (Wiedermann, 1981). Finalmente, es necesario un proceso de desodorización, que consiste en una destilación por arrastre de vapor. El vapor se inyecta al aceite a baja presión (1 a 6 mm Hg) y a una temperatura de 252 a 266 °C para destilar los ácidos grasos libres y los compuestos causantes de mal olor (Erickson, 1995).

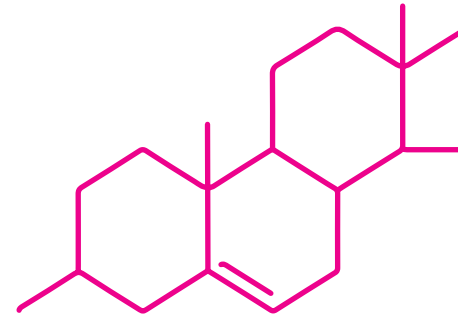
La desodorización de los aceites vegetales tiene la finalidad de eliminar sustancias que imparten sabores y olores indeseables a los mismos. Esta operación es una de las etapas finales en el proceso de refinación de aceites vegetales utilizado actualmente y se lleva a cabo por destilación, mediante arrastre con vapor, de las sustancias más volátiles presentes en el aceite extraído. Junto con las sustancias que producen aromas indeseables al aceite (productos de oxidación como aldehídos, cetonas, etc.) se destilan en parte, otros componentes minoritarios del aceite, tales como ácidos grasos libres, tocoferoles, esteroides, escualeno, mono y diglicéridos, algo de triglicéridos, hidrocarburos pesados y otros componentes menores. Estos subproductos se denominan como ácidos grasos destilados (AGD's) y las condiciones de desodorización (temperatura, presión, tiempo de residencia), influyen en su composición de los mismos (O'Brien et al. 2000).

Este subproducto, normalmente se mezcla con otros efluentes del proceso de refinación y de esta manera se comercializa con un bajo valor a otras industrias relacionadas. Sin embargo, las características de algunos de los componentes presentes sugieren la conveniencia de un tratamiento que permita separar los compuestos de mayor valor. En algunas industrias de refinación de aceites, este destilado se vende a empresas que recuperan algunos de sus componentes. El precio de este destilado se basa generalmente en su contenido de tocoferoles, aunque en ocasiones también el contenido de esteroides ha sido considerado (Pramparo, 2005).

Fitoesteroides

Los esteroides y estanoles vegetales (a los que se refiere colectivamente como fitoesteroides) son constituyentes normales de la dieta humana (Figura 2). Los fitoesteroides y sus formas reducidas, son esteroides de origen vegetal ampliamente distribuidos en la naturaleza y cuya estructura es muy similar a la del colesterol. Dichos compuestos como el campesterol, el β -sitosterol y el estigmasterol están ampliamente distribuidos en las plantas en cantidades variables (Hovenkamp et al. 2008).

El promedio de ingesta diaria de fitoesteroides en los países occidentales es aproximadamente de 250 mg/día, principalmente provenientes de aceites vegetales, cereales, frutos secos, etc. Estos son componentes bioactivos menores de los lípidos, es



decir, tienen un efecto positivo en la salud humana. Los aceites vegetales contienen solo 0.1-1% de fitoesteroles. Se ha reportado, que dosis de 3.1 g de fitoesteroles por día podrían proporcionar beneficios para la salud. Lo anterior, indica que se requieren fitoesteroles en una forma concentrada y de calidad alimentaria, lo que ha generado un interés creciente en la preparación de alimentos enriquecidos con fitoesteroles para su uso como nutraceutico (Meijer, 1999); (Dagat, 2000); Ling y Jones (1995).

Desde hace años se conoce que los fitosteroles producen efectos hipocolesterolemicos cuando son ingeridos en el rango de 1-3 g/día, por lo cual se les considera como importantes aliados en la prevención de las enfermedades cardiovasculares, siendo su consumo indicado para individuos con hipercolesterolemias leves o moderadas (Gonzalez et al. 2012). El efecto hipocolesterolemico es atribuido a tres acciones metabólicas: a) inhibición de la absorción intestinal de colesterol, por competencia durante la incorporación a las micelas mixtas; b) disminución de la esterificación del colesterol en los enterocitos, al inhibir la actividad de la enzima acilCoA-colesterol-acil transferasa; c) estimulación del eflujo de colesterol desde los enterocitos hacia el lumen intestinal, al aumentar la actividad y la expresión de un transportador de tipo ABC. La acción conjunta de los esteroles y/o estanoles sobre estos mecanismos produce una disminución del colesterol total plasmático y del colesterol-LDL, sin modificar los niveles del colesterol-HDL. Los fitoesteroles y fitoesteranoles constituyen un modelo muy adecuado para el desarrollo de alimentos funcionales (Valenzuela y Ronco, 2004).

Los esteroles en plantas existen como fitoesteroles libres, ésteres de ácido graso y en formas glicosilada y acilada esteril glicosilada. En aceites comestibles los fitoesteroles están presentes en su forma libre y esterificada (Fernandes y Cabral, 2007).

Texeira et al. (2011), resaltan que los fitoesteroles esterificados tienen mayor interés en la industria alimentaria por ser más biactivos y liposolubles que los fitoesteroles libres, por lo que es fácil incorporarlos en productos grasos para la producción de alimentos funcionales, además, existen diversos reportes que promueven los fitoesteroles para

alimentos funcionales o saludables por su actividad antioxidante y estabilidad térmica, por ello se usan en diferentes productos alimenticios como yogur, zumos de frutas, bebidas y también los aceites de cocina (Wang et al. 2002); (Watkins, 2005). El aceite de cocina rico en fitoesteroles puede ser utilizado para producir frituras, pasteles, panes y de esta manera bajar el colesterol en los consumidores (Kochhar, 2000). En el mercado mundial, se comercializan a los restaurantes y empresas de servicios alimentarios que están buscando más formas de controlar el colesterol sin el uso de drogas Makhal et al. (2006).

La refinación química del aceite vegetal es el proceso más usado para la reducción de sustancias responsables de olores desagradables extrayendo una cantidad significativa de productos indeseables (gomas y ácidos grasos destilados). El subproducto generado en el proceso es una fuente de componentes valiosos, como los ácidos grasos libres, monoacilglicerol (MAG), diacilglicerol (DAG), triglicéridos (CTC), esteroles y tocoferoles. La extracción de estos componentes de los destilados de desodorización y su conversión en productos de valor ha sido objeto de varias investigaciones (Haas et al. 1996, 2000) y 2003). Existen varios estudios que reportan concentraciones variables de fitoesteroles en AGD's, estos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Referencias que reportan diferentes concentraciones de fitoesteroles en AGD's.

| REFERENCIA | % p/p de Fitoesteroles en AGD's |
|-----------------------|---------------------------------|
| Dumont & Suresh, 2007 | 7.1 |
| Khaton et al., 2009 | 6.1-7.8 |
| Verleyen et al., 2001 | 15.26 |
| Ito et al., 2005 | 20 |

Escualeno

El escualeno, es un isoprenoide de 30 carbonos (Figura 3), presente en la fracción lipídica no saponificable de algunos alimentos, y es abundante en el aceite de hígado de tiburón (*Squalus spp.*), el aceite de oliva y el amaranto (He y Corke, 2003). Se ha reportado que el escualeno es un importante agente quimiopreventivo del cáncer (Smith, 2000). Más recientemente, se ha demostrado que este

compuesto actúa como un antídoto para reducir toxicidad inducida por drogas, lo que puede ser atribuido a su función como un antioxidante Aguilera et al. (2005) y Senthilkumar et al. (2006).

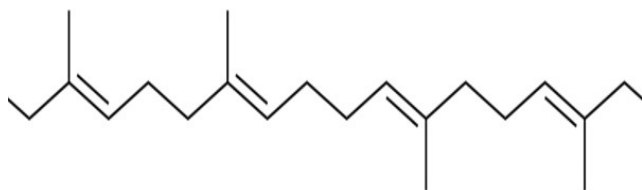


Figura 3. Estructura química del escualeno.

Su importancia como suplemento dietético está ligada a la capacidad de reducir los niveles de colesterol y triglicéridos Chan et al. (1996); Zhang et al. (2002).

Por otra parte, el escualeno también se utiliza en su forma natural o hidrogenada en la formulación de cosméticos por sus propiedades como humectante o agente emoliente. Sin embargo, su uso en aplicaciones cosméticas ha sido limitado ya que existe una preocupación por la conservación de las especies marinas a nivel internacional, por lo que resulta importante establecer fuentes alternas para el suministro de este hidrocarburo.

Pramparo (2005), reporta niveles de escualeno en AGD's de 1.19 % p/p, mientras que Dumont y Suresh (2007) y Guanawn et al. (2007) establecen contenidos de 5.5 y 1.83 % p/p respectivamente, por otro lado, Verleyen et al. (2001) encuentran concentraciones de 0.9 % p/p.

Tocoferoles

Los Tocoferoles son compuestos con actividad de vitamina E, importantes en la protección de los lípidos insaturados de las membranas celulares contra la oxidación (Benites et al. 2005). La vitamina E considera ocho variantes diferentes: α -, β -, γ -, y δ -tocoferoles con un fitilo saturado (Figura 4) y α -, β -, γ - y δ -tocotrienoles (con un fitilo insaturado). En estudios de prevención del cáncer con vitamina E se ha utilizado principalmente la variante α -tocoferol (Constantinou, 2008).

El uso del AGD's como un nutriente en la dieta de animales rumiantes como fuente de tocoferoles,

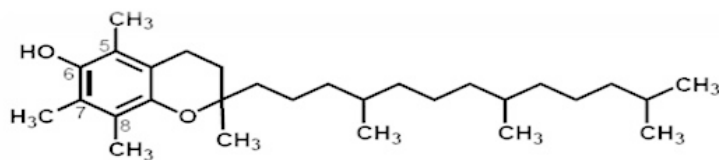
también está reportado. Por lo que, además del aspecto económico, investigaciones con este producto han ido en aumento, en busca de métodos para su empleo (Borher et al. 2002; Moraes et al. 2004), y el estudio de posibles efectos tóxicos del mismo (Oliveira et al. 2005 ; Oliveira et al. 2006).

El γ -tocoferol y más recientemente δ -tocoferol, han mostrado una mayor capacidad para reducir la inflamación, la proliferación celular, y la carga tumoral. Asimismo, mezclas enriquecidas con α -, β -, γ -, y δ -tocoferoles inhiben el desarrollo de la hiperplasia mamaria y la tumorigénesis en modelos animales (Lee et al. 2009).

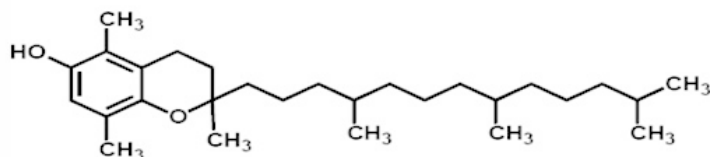
El α -tocoferol es conocido como la "clásica" vitamina E, se encuentra más comúnmente en germen de trigo, almendras y aceite de girasol. Sin embargo, el γ -tocoferol es más común que el α -tocoferol en la dieta estadounidense y se encuentra en aceites vegetales como el de soya, maíz y algodón y en los subproductos del aceite de maíz (Traber, 2007). Smolarek y Nanjoo (2011) realizaron una revisión de la actividad quimiopreventiva de la vitamina E para cáncer mamario y concluyeron que los resultados de estudios en donde se expresan los tocoferoles de forma genérica como vitamina E, pueden ser vagos si no se define la variante de tocoferol utilizado. Igualmente, establecen que dicha distinción es muy importante para determinar la eficacia de cada variante tocoferol y su actividad como quimiopreventivo, por lo que existen realmente pocos estudios en los que se especifica ésta.

Benites et al. (2005) reportaron un contenido de tocoferoles totales de 10.44% p/p, en un estudio para evaluar el contenido de estos compuestos después de una etapa de neutralización de los AGD's para su uso potencial como un suplemento en la alimentación de animales.

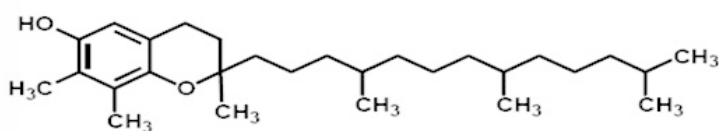
Químicamente, los AGD's son una mezcla compleja de ácidos grasos libres, triglicéridos, cetonas, peróxidos, hidrocarburos, oleínas, esteroides y tocoferoles (Okoshi et al. 2007) y se han usado en la industria alimentaria y farmacéutica como fuente de antioxidantes naturales (De Greyt y Kellens, 2000). Varios autores han estudiado los tocoferoles (vitamina E) presentes en los AGD's. La evaluación de la cantidad de cada tipo de componentes presentes



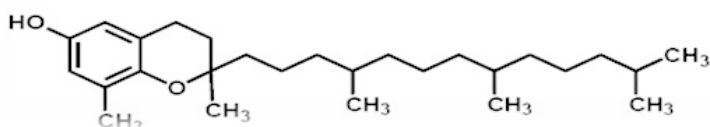
α - Tocoferol



β - Tocoferol



γ - Tocoferol



δ - Tocoferol

Figura 4. Estructura química de α -, β -, γ -, y δ -tocoferoles. Editado de Smolarek y Nanjoo, 2011.

en estos residuos es realmente importante para una buena estimación de su conveniencia económica (Martis et al. 2006b ; Mendes et al. 2005 y 2002; Nagao et al. 2005 y Waranabe et al. 2004).

Brasil es el segundo mayor productor de soya y por lo tanto tiene una gran cantidad de subproducto, viable para la recuperación de tocoferoles (Martins et al., 2006a). Existen diferentes estudios que reportan concentraciones variables de tocoferoles en AGD 's, estos se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Referencias que reportan diferentes concentraciones de tocoferoles en AGD 's.

| REFERENCIA | % p/p de tocoferoles en AGD 's |
|-----------------------|--------------------------------|
| Ito et al., 2005 | 10.0 |
| Benites et al., 2005 | 10.44 |
| Verleyen et al., 2001 | 14.9 |
| Dumont & Suresh, 2007 | 18.6 |

CONCLUSIÓN

El incremento del aprovechamiento de los desechos y subproductos industriales es una necesidad de la industria para cumplir con las normas ambientales, además, la sustitución de ingredientes artificiales por productos naturales ha ganado la atención mundial en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. Con base en los datos presentados en la presente revisión, es posible plantear la factibilidad del aprovechamiento del subproducto de la etapa de deodorización del aceite de soya, por lo que resulta necesario proponer la investigación para estandarizar protocolos de purificación de los compuestos bioactivos presentes tales como fitoesteroles, escualeno y tocoferoles.



LITERATURA CITADA

- Aguilera Y., M.E. Dorado, F.A. Prada, J. Martínez, A. Quesada, V. Ruiz-Gutiérrez. 2005. The protective role of squalene in alcohol damage in the chick embryo retina. *Experimental Eye Research* 80:535-543.
- Benites C.I., Reis, S.M. Oliveira. 2005. Avaliação de métodos de neutralização do destilado da desodorização do óleo de soja (DDOS). In: II Simpósio Internacional Tendências e Inovações em Tecnologia de Óleos e Gorduras, Florianópolis, SC. Sociedade Brasileira de Óleos e Gorduras. 25-28
- Borher J.R., L.A. Gonçalves, P.E. Felício 2002. α - and γ -tocopherol levels in Nelore steer blood plasma after a single oral treatment of soybean oil deodorizer distillate (SODD). *Meat Science*. 61:301-306.
- Chan P., B. TomLinson, C.B. Lee, Y.S. Lee. 1996. Effectiveness and safety of low-dose pravastatin and squalene, alone and in combination, in elderly patients with hypercholesterolemia. *Journal of Clinical Pharmacology* 36:422-427.
- Constantinou C., A. Papas, A.I. Constantinou. 2008. Vitamin E and cancer: An insight into the anticancer activities of vitamin E isomers and analogs. *International Journal of Cancer* 123:739-752.
- Costa J., J.S. Amaral, I. Mafra, M. B. Oliveira. 2011. Refining of Roundup Ready® soya bean oil: Effect on the fatty acid, phytosterol and tocopherol profiles. *European Journal of Lipid Science and Technology* 113:528-535.
- Dagat D. 2000. Phytoesters: highly promising compounds. *Lipid Technology*. 12:77-84. De Greyt W., M. Kellens. 2000. Refining practice. In: *Edible Oil Processing*. Hamm W., R. J. Hamilton. Ed. Danvers:Blackwell. pp. 281.
- Dumont M. J, S.N. Suresh. 2007. Characterization of flax and soybean soapstocks, and soybean deodorizer distillate by GC-FID. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 84:1101-1105.
- Erickson D.R. 1995. *Practical Handbook of Soybean Processing and Utilization*. American Oil Chemists' Society Press: Champaign, IL, 239pp.
- Fernandes P., J.M. Cabral. 2007. Phytosterols: Applications and recovery methods Review. *Bioresource Technology*. 98:2335-2350
- Financiera Rural. 2013. *Semilla para siembra de soya*. México: Financiera Rural. SAGARPA. Guía para la asistencia técnica agrícola de Nayarit. Nayarit: SAPAGARPA.
- González-Larena M, A. Cilla, G. García-Llatas, B. Reyes, M.J. Lagarda. 2012. Plant sterols and antioxidant parameters in enriched beverages: Storage stability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60:4725-4734.
- Haas M. J., S. Bloomer. 2000. Simple, high-efficiency synthesis of fatty acid methyl esters from soapstock. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 77:373-379.
- Haas M. J., P.J. Michalski, S. Runyon, A. Nunez, K.M. Scott. 2006. Production of FAME from acid oil, a by-product of vegetable oil refining. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 80:97-102.
- Haas M. J., K.M. Scott. 1996. Combined nonenzymatic-enzymatic method for the synthesis of simple alkyl fatty acid esters from soapstock. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 73:1393-1401.
- He H.P., H. Corke. 2003. Oil and squalene in amaranthus grain and leaf. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51:7913-7920
- Hovenkamp E, I. Demonty, J. Plat, D. Lutjohann, R.P. Mensink, E.A. Trautwein. 2008. Biological effects of oxidized phytosterols: a review of the current knowledge. *Progress in Lipid Research* 47:37-49.
- Ito V., P. Martins, C.B. Batistella, M.R. Wolf. 2005. Tocopherols and phytosterols concentration from soybean oil deodorizer distillate. In: *Fourth Mercosur Congress on process systems engineering and 2nd Mercosur Congress on Chemical Engineering*, Rio de Janeiro, Brazil. 1-9.

- Khattoon S., R.G. Raja-Rajan, A.G. Gopala-Krishna. 2009. Physicochemical characteristics and composition of Indian soybean oil deodorizer distillate and the recovery of phytosterols. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 87:321-326.
- Kochhar S.P. 2000. Stable and healthful frying oil for the 21st century. *Inform.* 11:642-647.
- Lee H.J., J. Ju, S. Paul S, J.Y. So, A. DeCastro, A. Smolarek, M.J. Lee, C.S. Yang, H.L. Newmark, N. Suh. 2009. Mixed tocopherols prevent mammary tumorigenesis by inhibiting estrogen action and activating PPAR-gamma. *Clinical Cancer Research* 15:4242-4249.
- Ling W.H., P.J.H. Jones. 1995. Dietary phytosterols: a review of metabolism, benefits and side effects. *Life Sci* 57:195-206.
- López Luengo M. Tránsito. 2005. Fitoesteroles y fitoestanoles. Su papel en la prevención cardiovascular. *Farmacéutica* 24(4):90-94.
- Makhal S., S. Mandal, S.K. Kanawjia. 2006. Phytosterols and stanols: the new age in designing novel functional dairy foods. *Indian Food Industry* 25:44-53.
- Matthäus B, L. Brühl. 2001. Comparison of different methods for the determination of the oil content in oilseeds. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 78:95-102.
- Martins P.F., C.B. Batistella, R. Maciel-Filho, M.R. Wolf-Maciel. 2006a. Comparison of two different strategies for tocopherols enrichment using a molecular distillation process. *Industrial and Engineering Chemistry Research, Washington.* 45:753-758.
- Martins P.F., V. M. Ito, C.B. Batistella, M.R.W. Maciel. 2006b. Free fatty acid separation from vegetable oil deodorizer distillate using a molecular distillation process. *Separation and Purification Technology* 48:78-84.
- Meijer GW. 1999. Blood cholesterol-lowering plant sterols, types, doses and forms. *Lipid Technology* 11:129-132.
- Mendes M.F., F.L.P. Pessoa, G.V. Coelho, A.M.C. Uller. 2005. Recovery of the high aggregated compounds present in the deodorizer distillate of the vegetable oils using supercritical fluids. *Journal of Supercritical Fluids* 34:157-162
- Mendes M.F., F.L.P. Pessoa, A.M.C. Uller. 2002. An economic evaluation based on an experimental study of the vitamin E concentration present in deodorizer distillate of soybean oil using supercritical CO₂. *Journal of Supercritical Fluids* 23:257-265.
- Miyahara M., Y. Saito. 1993. Pesticide removal efficiencies of soybean oil refining processes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 41:731-734.
- Moraes C.M.B., A.C. Oliveira, K.R. Rios. 2004. Vitamina E do destilado da desodorização do óleo de soja e sob forma de fármaco na prevenção à oxidação dos lípidos e da necrose hepática decorrente de dieta deficiente em cistina para ratos. En: XVIII Congresso Brasileiro de Nutrição. Campo Grande. Anais. Campo Grande: ASBRAN. 198.
- Nagao T., T. Kobayashi, Y. Hirota, M. Kitano, C. Kishimoto, T. Fujita, Y. Watanabe, Y. Shimada. 2005. Improvement of a process for purification of tocopherols and sterols from soybean oil deodorizer distillate. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic* 37:56-62.
- O'Brien R.D., W.E. Farr, P.J. Wan. 2000. Introduction to fats and oils technology. AOCS Press. Champaign, IL, 235-268 pp.
- Okoshi K, J.F.C. Guimarães, B.P. Di Muzio, A.H. Fernandes, M.P. Okoshi. 2007. Diabetic
- Oliveira A.C., S.M. Reis, C.M.B. Moraes, J.S.T. Cunha, L.L. Haidamus, L.M. Feliciano, M.G. Simões. 2005. The use of soy oil deodorization distillate as an alternative source of vitamin E reduced the weight gain of rats. *Revista de Nutrição* 18(5):693-697.
- Oliveira A.C., S.M. Reis, C.I. Benites, L. Cavalheiro, M.B. Souza, M. Faria. 2006. Suplementación com

el Destilado de la Desodorización de Aceite de Soja no causa toxicidad en ratas Wistar. 14^o Congreso Latinoamericano de Nutrición, Florianópolis. Anales, 118.

Pramparo P.M., S. Prizzon, M.A. Martinello. 2005. Estudio de la purificación de ácidos grasos, tocoferoles y esteroides a partir del destilado de desodorización. *Grasas Aceites* 56:228-234.

Senthilkumar S., T. Devaki T, B.M. Manohar, M.S. Babu. 2006. Effect of squalene on cyclophosphamide- induced toxicity. *Clinica Chimica Acta* 364:335-342.

Smith T.J. 2000. Squalene: potential chemopreventive agent. *Expert Opin Invest Drugs* 9:1841-1848.

Smolarek A.K., N. Suh. 2011. Chemopreventive Activity of Vitamin E in Breast Cancer: A Focus on γ - and δ -Tocopherol. *Nutrients* 3: 962-986.

Teixeira A.R.S., J.L.C. Santos, J.G.Crespo. 2011. Production of Steryl Esters from Vegetable Oil Deodorizer Distillates by Enzymatic Esterification. *Industrial & Engineering Chemistry* 50:2865-2875.

Traber M.G. 2007. Vitamin E regulatory mechanisms. *Annual Review of Nutrition* 27:347-362.

Valenzuela B.A., M.A.M. Ronco. 2004. Fitoesteroides y fitoesteroides: aliados naturales para la protección de la salud cardiovascular. *Revista Chilena de Nutrición* 21(1):161-169.

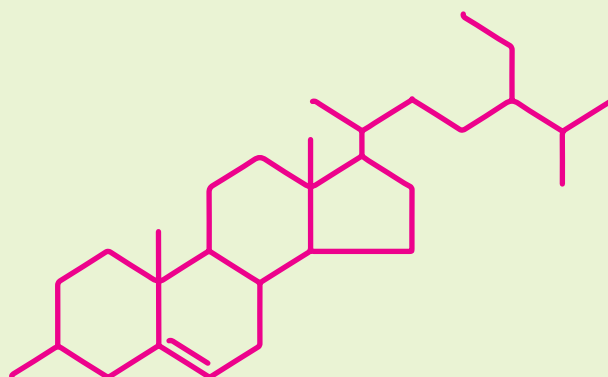
Verleyen T., R. Verhe, L. Garcia, K. Dewettinck, A. Huyghebaert, W. De Greyt. 2001. Gas chromatographic characterization of vegetable oil deodorization Distillate. *Journal of Chromatography A* 921:277-285.

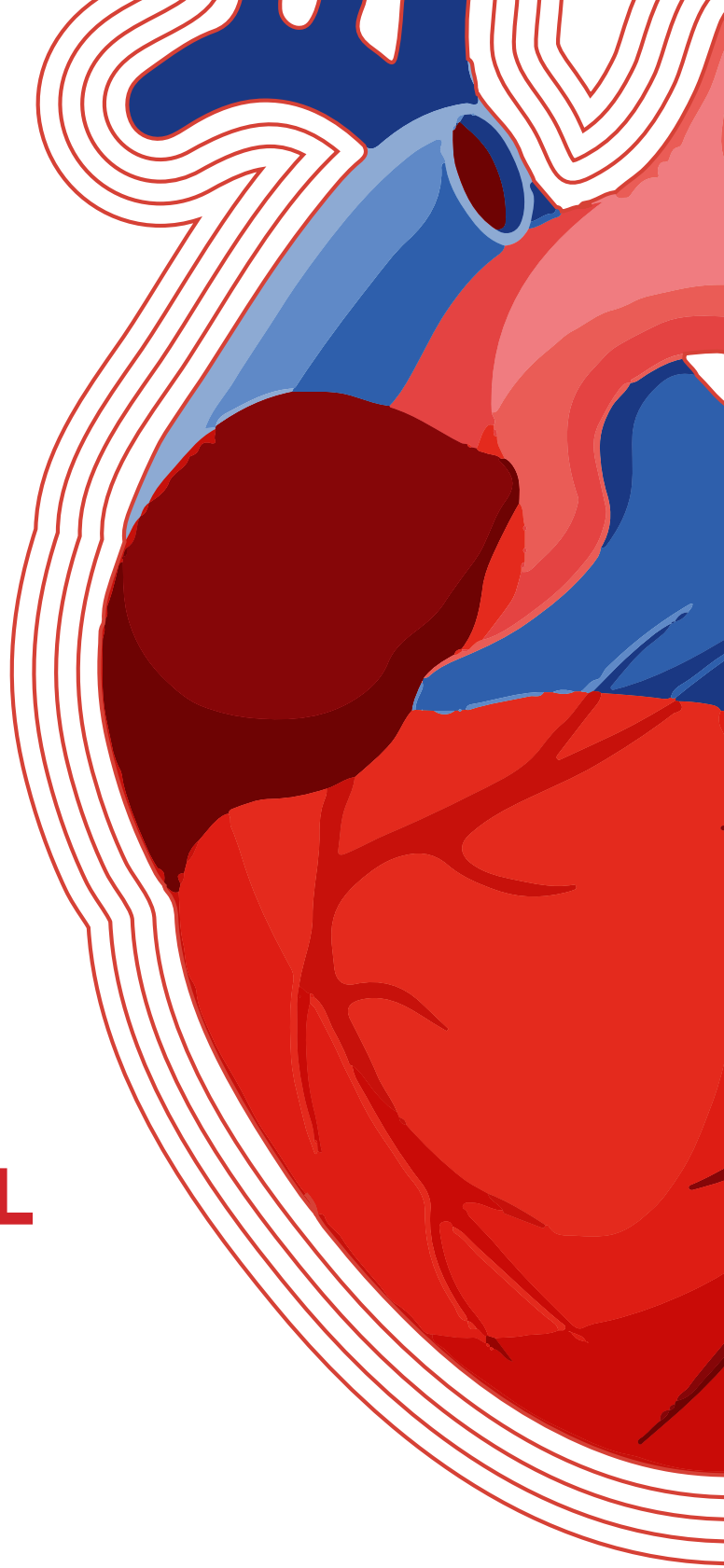
Wang T., B.K. Hicks, R. Moreau. 2002. Antioxidant activity of phytosterols, oryzanol, and other phytosterol conjugates. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 79:1201-1206.

Watkins C. 2005. The spread of phytosterols. *Inform* 16:344-345 22.

Wiedermann L.H. 1981. Degumming, refining and bleaching soybean oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 58(3):159-166.

Zhang Z, W.K. Yeung, Y. Huang, Z.Y. Chen. 2002. Effect of squalene and shark liver oil on serum cholesterol level in hamsters. *International Journal of Nutrition and Food Sciences* 53:411-418.





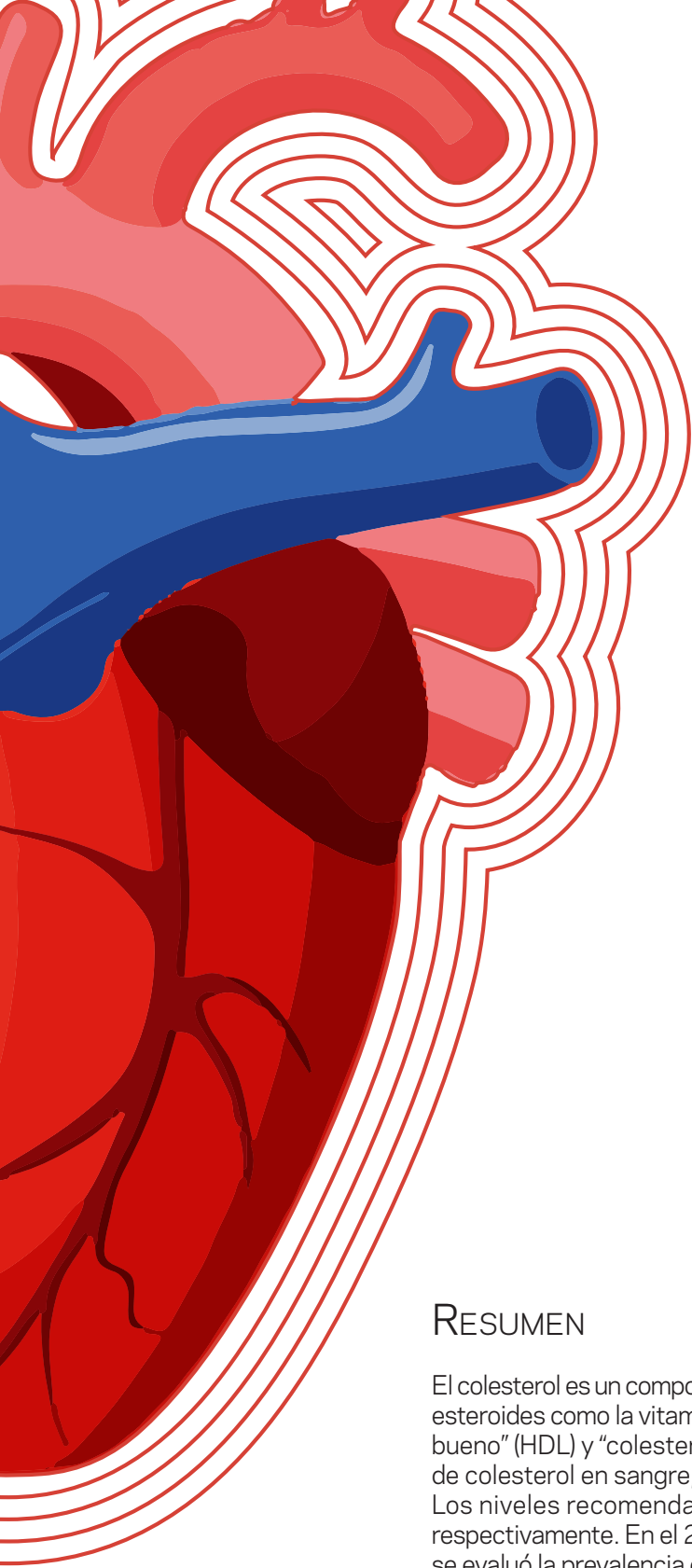
EL COLESTEROL EN ALIMENTOS ¿ES BUENO O MALO?

Minerva Bautista Villarreal, Claudia T. Gallardo Rivera, Loruhamá Sandra Castillo Hernández, Ma. Adriana Núñez González, Carlos A. Amaya Guerra, Juan Gabriel Báez González.



Palabras clave: Colesterol, LDL, HDL, lípidos, triglicéridos, huevo.

Keywords: Cholesterol, LDL, HDL, lipids, triglycerides, egg.



RESUMEN

El colesterol es un componente de las membranas celulares y es parte de la síntesis de los esteroides como la vitamina D. Se encuentra presente en el organismo como “colesterol bueno” (HDL) y “colesterol malo” (LDL). Se recomienda un valor menor de 200 mg/dL de colesterol en sangre, para evitar el desarrollo de enfermedades cardiovasculares. Los niveles recomendados de colesterol HDL y LDL son: 72 mg/dL y 130 mg/dL, respectivamente. En el 2016 en la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) se evaluó la prevalencia de sobrepeso y obesidad en niños, adolescentes y adultos, y se pudo observar un aumento en zonas rurales. Dentro de los alimentos altos en colesterol que consumimos se encuentran: la carne como las costillas con 109 mg, la leche entera con 124 mg y el huevo con 274 mg de colesterol. Los huevos son un componente clave de la dieta en México, y de sus componentes la yema posee un valor de 272 mg de colesterol. Una dieta alta en colesterol y grasa como es la occidental puede aumentar el riesgo de padecer cáncer de mama. Es importante consumir: aceites vegetales, semillas, frutos secos y las legumbres, que son fuente de fitoesteroles para disminuir el colesterol LDL en sangre.

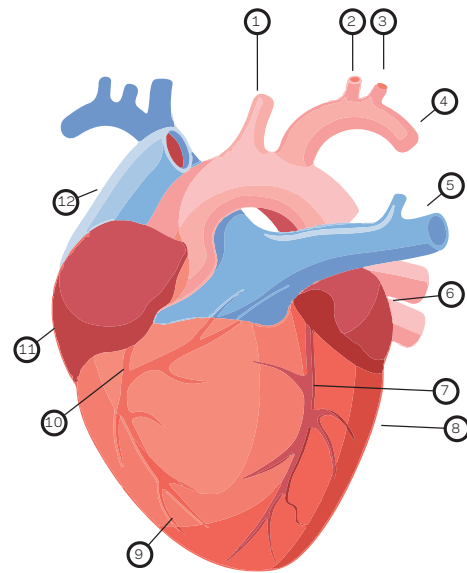
INTRODUCCIÓN

¿Qué es el colesterol ?

El colesterol es el precursor de las hormonas esteroideas y los ácidos biliares, además de formar parte de la estructura de las membranas celulares (Morgan et al. 2016). El “colesterol bueno” (HDL) proviene de la abreviatura en inglés de las palabras lipoproteínas de alta densidad (high density lipoproteins). Las HDL están compuestas por grasas (colesterol y fosfolípidos) y una porción alta de proteínas. Se le llama colesterol bueno porque evita que el colesterol se deposite en exceso en las arterias, ya que las proteínas que contiene son afines al colesterol y grasas que pueden encontrarse circulando en la sangre, de tal manera que puede “recolectarlas” y transportarlas al hígado para su posterior eliminación, a través del intestino y representa la única forma de eliminar el exceso de colesterol (Morgan et al. 2016; Ledford, 2016). El “colesterol malo” (LDL) transporta desde el hígado hasta los tejidos la mayor parte del colesterol, tanto el fabricado por el hígado como el obtenido por la propia alimentación. El “colesterol malo” contiene más grasa que proteínas. La grasa que contiene se adhiere a las arterias formando una capa, y su aumento tiene un impacto directo en el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares (Ledford, 2016). En el 2005 el National Cholesterol Education Program Adult Treatment Panel III (ATPIII) recomendó una ingesta diaria menor de 300 mg/día de colesterol para adultos sanos y menos de 200 mg/día de colesterol para personas con colesterol elevado (Djoussé y Gaziano, 2009).

En México las enfermedades cardiovasculares constituyen un problema importante de salud pública, además de altos niveles de colesterol, triglicéridos o ambos (dislipidemias y obesidad) (Secretaría de Salud, 2001). En la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) en el 2016 se evaluó la prevalencia de sobrepeso y obesidad en niños, adolescentes y adultos, y se pudo observar que el sobrepeso y la obesidad en mujeres presentó un aumento respecto a cifras de 2012, en los tres grupos de edad, el cual es mayor en zonas rurales que urbanas. En la población masculina adulta el sobrepeso y obesidad aumentó en zonas rurales (de 61.1% en 2012 a 67.5% en 2016) mientras que se estabilizó en zonas urbanas, en las que se mantiene en un nivel elevado (69.9%) (ENSANUT, 2016).

En la Figura 1 podemos observar donde se aloja el colesterol en el corazón.



- | | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Tronco arterial braquiocefálico | 7. Arteria coronaria (colesterol) |
| 2. Carótida izquierda | 8. Ventrículo izquierdo |
| 3. Subclavia izquierda | 9. Ventrículo derecho |
| 4. Callado de la aorta | 10. Arteria coronaria (colesterol) |
| 5. Arteria pulmonar (colesterol) | 11. Aurícula derecha |
| 6. Auricular izquierda | 12. Vena cava superior |

Figura 1. El corazón y los sitios donde puede alojarse el colesterol.

Una dieta alta en colesterol y grasa como la occidental puede aumentar el riesgo de cáncer de mama (Changkun et al. 2016). Los alimentos que contienen colesterol generalmente son de origen animal, como se muestra una Tabla 1.

Tabla 1. Colesterol presente en alimentos de consumo diario.

| Alimento | Peso (g) | Colesterol (mg) |
|-------------------------------|----------|-----------------|
| Cheddar (1 taza) | 113 | 119 |
| Leche entera (1 taza) | 246 | 34 |
| Crema para café (1 taza) | 240 | 159 |
| Crema batida espesa | 238 | 326 |
| Leche condensada (1taza) | 306 | 104 |
| Helado (1/2 galón) | 1,064 | 476 |
| Yema de huevo(una yema) | 17 | 272 |
| Mantequilla (media taza) | 113 | 247 |
| Manteca (1 taza) | 205 | 195 |
| Cangrejo | 135 | 135 |
| Camarones | 85 | 128 |
| Hígado | 85 | 410 |
| Costilla | 85 | 109 |
| Sardinas | 85 | 85 |
| Pollo | 245 | 221 |
| Muffin | 138 | 213 |
| Natilla | 265 | 278 |
| Ensalada de papa con mayonesa | 250 | 170 |
| Huevo entero sin cáscara | 50 | 274 |
| Yema de huevo | 17 | 272 |

EL COLESTEROL EN LA DIETA Y LAS ENFERMEDADES CARDIOVASCULARES

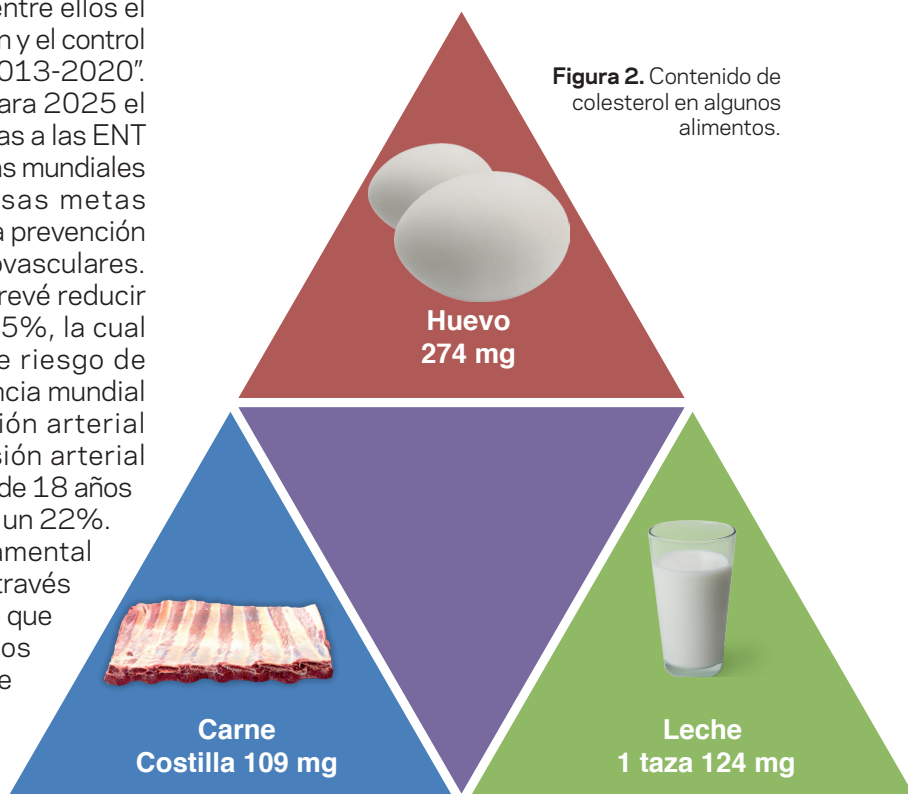
El colesterol elevado es uno de los principales factores de riesgo cardiovascular. México encabeza las estadísticas de obesidad, en adultos y niños. De enero a noviembre del 2014 se diagnosticaron 323,110 casos nuevos de obesidad. La Secretaría de Salud informó que México, líder mundial también en obesidad infantil, de enero a noviembre del 2014 registró 35,157 nuevos casos de obesidad entre niños de 1 a 14 años y 15,626 nuevos casos entre jóvenes de 15 a 19 años (OMENT, 2015). También es importante destacar que los bebés también padecen obesidad, de enero a noviembre de 2014 se registraron 3,311 casos nuevos de obesidad en bebés de 0 a 12 meses de edad, cifras reportadas por la Secretaría de Salud. Dentro de las consecuencias a largo plazo está que los niños tengan triglicéridos y colesterol alto (OMENT, 2015).

En 2013 la OMS acordó una serie de mecanismos mundiales para reducir la carga evitable de enfermedades no transmisibles (ENT), entre ellos el "Plan de acción mundial para la prevención y el control de las enfermedades no transmisibles 2013-2020". El citado plan tiene por objeto reducir para 2025 el número de muertes prematuras asociadas a las ENT en un 25%, y ello a través de nueve metas mundiales de aplicación voluntaria. Dos de esas metas mundiales se centran directamente en la prevención y el control de las enfermedades cardiovasculares. La meta 6 del plan de acción mundial prevé reducir la prevalencia de hipertensión en un 25%, la cual es uno de los principales factores de riesgo de enfermedad cardiovascular. La prevalencia mundial de hipertensión (definida como tensión arterial sistólica mayor a 140 mmHg y/o tensión arterial diastólica menor a 90 mmHg) en adultos de 18 años o más se situó en 2014 en alrededor de un 22%. Para alcanzar la citada meta, es fundamental reducir la incidencia de hipertensión, a través de acciones dirigidas a toda la población que hagan disminuir los hábitos alimenticios que pueden favorecer el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, en particular el consumo nocivo de alcohol, la inactividad física, el sobrepeso, la

obesidad y el consumo elevado de sal. Es necesario adoptar la detección temprana y el manejo costo eficaz de la hipertensión, un enfoque que tenga en cuenta todos los factores de riesgo, para así prevenir los ataques cardíacos, los accidentes cerebrovasculares y otras complicaciones (OMENT, 2015).

EL COLESTEROL ¿EN QUÉ ALIMENTOS SE ENCUENTRA?

Es un compuesto esencial de la estructura de las membranas celulares de los mamíferos, componente principal del cerebro y de las células nerviosas. Es un intermediario en la síntesis de ácidos biliares y hormonas (Kathleen y Escott-Stump, 2001). Dentro de los alimentos altos en colesterol que consumimos se encuentran: carne como las costillas con 109 mg (porción: 2 piezas), la leche entera con 124 mg (porción: 1 taza) y el huevo con 274 mg de colesterol (porción: 1 huevo), (Figura 2), a continuación se describe cada uno.



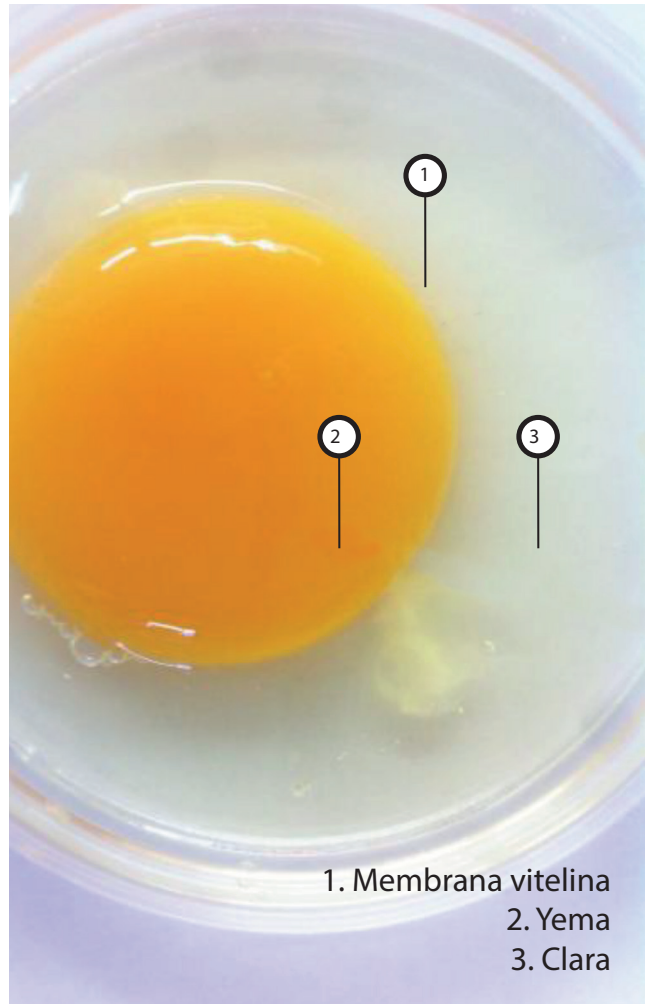
Carne

En la década de 1960 surgieron teorías que relacionan la grasa y el colesterol de los alimentos de origen animal con enfermedades crónicas. Para disminuir el riesgo cardiovascular es importante reducir el consumo de grasas, especialmente las saturadas. La carne magra contiene aproximadamente 0.5-1% de fosfolípidos y sus ácidos grasos son más insaturados. Hay mayor cantidad de ácidos grasos saturados en carne de vaca (40-71%), cerdo (39-49%) y cordero (46-64%), que en la de ave (28-33%) y bacalao (30%) (Fennema, 2000).

El pescado contiene proteína fuente de aminoácidos esenciales (alto valor biológico). Los pescados azules como el atún, el salmón y la sardina presentan un porcentaje de grasa de hasta el 30%, y los pescados blancos como el lenguado y bacalao contienen de 1 a 2%. La grasa marina es fuente de ácidos grasos omega 3 (ácidos grasos poliinsaturados), los cuales tienen las siguientes propiedades: disminuir el colesterol en sangre, impedir la formación de trombos y aumentar la fluidez de la sangre. Los pescados azules por tener mayor contenido de omega 3 se recomiendan para la prevención y tratamiento de enfermedades cardiovasculares (Pérez y Zamora, 2002).

Leche

De acuerdo con la NOM-155-SCFI-2012 es el producto obtenido de la secreción de las glándulas mamarias de las vacas, el cual debe ser sometido a tratamientos térmicos u otros procesos que garanticen la inocuidad del producto. Además, puede someterse a otras operaciones tales como clarificación, homogeneización, estandarización u otras, siempre y cuando no contaminen al producto y cumpla con las especificaciones de su denominación. La composición nutrimental de la leche es 79% agua, 10% proteínas, 7% grasa, 3% lactosa y 1% cenizas (Badui, 2013; CANILEC, 2011). El contenido de grasa varía según la especie, raza del animal y estado de lactancia. Dentro de su composición los lípidos son los que le confieren las características únicas de sabor y contenido nutrimental. La grasa de la leche contiene vitaminas liposolubles A, D, E y K. La composición de colesterol es 13.77 mg de colesterol/100g de leche (Chiu et al. 2004).



1. Membrana vitelina
2. Yema
3. Clara

Figura 3. Estructura del huevo.

Huevo

Los huevos son un componente clave de la dieta en México, es un país caracterizado por un alto riesgo de enfermedades cardiovasculares (Aguilar et al., 2004). Se han realizado investigaciones al respecto. Nassif et al. (2011) realizaron un estudio en el cual no observaron cambios en el perfil lipídico con el consumo de tres huevos diarios durante tres meses.

La composición de un huevo es 75% agua, 12% proteínas y lípidos, y cerca de 1% de carbohidratos y minerales, aproximadamente (Li-Chan et al. 1995). Los lípidos están presentes exclusivamente en la yema de huevo. En la Figura 3, podemos observar la estructura del huevo.

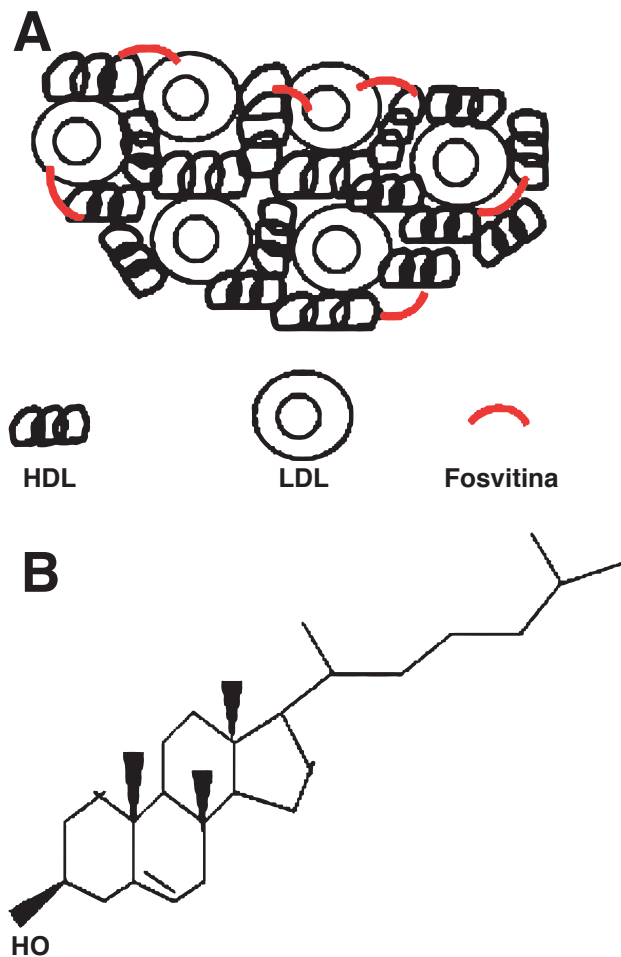


Figura 4. Estructura de los a) gránulos y b) colesterol (Imágenes a escala).

COMPONENTES PRINCIPALES DE LA YEMA DE HUEVO

La yema de huevo corresponde al 36% del peso total del huevo de gallina (Li-Chan et al. 1995). Sus principales componentes son agua 51%, proteínas 16%, lípidos 32.6%, minerales 1.7% y carbohidratos 0.6% (Clark et al. 2014).

La yema de huevo está compuesta por agregados (gránulos) en suspensión en un líquido amarillo claro (plasma) que contiene lipoproteínas y proteínas. Los gránulos Figura 4 representan aproximadamente el 50% de las proteínas de la yema de huevo y un 7% de lípidos de la yema (Dyer-Hurdon y Nnanna,

1993). Están constituidos principalmente por lipoproteínas de alta densidad (HDL) (70%) y fosvitina (16%) (Burley y Cook, 1961; Saari et al. 1964). Las lipoproteínas de baja densidad (LDL) (12%) se incluyen en la estructura granular (Causeret et al. 1991).

La grasa del huevo entero es de aproximadamente el 12%, presente principalmente en la yema que contiene un 32-36% de lípidos. Se componen de 66% de triglicéridos, 28% de fosfolípidos, y un 5% de colesterol (Fennema, 2000). Los carotenoides y xantófilas (luteína, criptoxantinas y zeaxantinas) representan menos del 1% de los lípidos de la yema, y le dan su color (Anton, 2013). El plasma comprende 78% de la materia seca de yema y se compone de 85% de LDL y 15% de lipoproteínas (Burley y Cook, 1961). En él se encuentran aproximadamente el 90% de los lípidos de la yema (incluyendo casi todos los carotenoides) y 50% de las proteínas de la yema. Los lípidos del plasma se distribuyen en: 70% de triglicéridos, 25% de fosfolípidos y 5% de colesterol.

El colesterol presente en la yema de huevo puede contribuir al riesgo de enfermedades cardiovasculares (Clark et al. 2014).

REDUCCIÓN DE COLESTEROL EN ALIMENTOS

Se han estudiado diferentes métodos para disminuir el colesterol presente en la yema de huevo, Warren et al. (1988) empleó solventes como hexano, obteniendo un 66% de extracción de colesterol; Borges et al. (1996) usaron una relación 1:12 (p/p) (yema: acetona) obteniendo una extracción del 87% de colesterol. Laca et al. (2010) extrajeron los gránulos de la yema y los mezclaron en una relación 1:15 v/v con agua, obteniendo una reducción del 77% de colesterol; Chiu et al. (2004) emplearon betaciclodextrinas y quitosano para adsorber un 92% de colesterol presente en la yema de huevo; García et al. (2007) usaron pectinas de alto metoxilo para obtener una reducción del 83.4% de colesterol. Se han utilizado biopolímeros como la goma arábiga para reducir el colesterol presente en la yema.

ALIMENTOS QUE SE PUEDEN ELABORAR CON YEMA BAJO EN COLESTEROL

Con la yema de huevo baja en colesterol se han elaborado productos como muffins (Marcet et al. 2015) ellos formularon un muffin bajo en colesterol y libre de gluten, para ello reemplazaron la yema de huevo por los gránulos que están presentes en ella y son bajos en colesterol y obtuvieron un producto con mayor dureza y algunas diferencias de color en comparación con la receta de yema de huevo entera. Laca et al. (2010) probaron los gránulos como agente emulsificante en mayonesas, y concluyeron que la mayonesa baja en colesterol tiene un comportamiento similar a la comercial. Valverde et al. (2016) desarrollaron gelatinas empleando gránulos y plasma en combinación con carragenina siendo productos con un alto aporte nutricional.

ALIMENTOS RECOMENDADOS PARA DISMINUIR EL COLESTEROL EN SANGRE

Entre los alimentos que disminuyen el colesterol se encuentran: aceites vegetales, semillas, frutos secos y las legumbres. Estos alimentos son fuente de fitoesteroles, estos son componentes estructurales y funcionales de las membranas de las células vegetales, presentan una estructura química similar a la del colesterol, lo que hace que en el intestino delgado haya una cierta competencia entre ambos tipos de moléculas, lo que provoca una absorción intestinal de colesterol ineficiente y en consecuencia disminuye el nivel de LDL en sangre (Sanclémente et al. 2012).

En los aceites de oliva o de semillas (maíz, girasol, soya y colza), así como en los frutos secos y en el pescado, se encuentran las grasas insaturadas. Las principales fuentes alimentarias de estas grasas saludables son:

- Monoinsaturadas: aceites de oliva y colza, frutos secos (almendras y avellanas), aceitunas y aguacate.
- Poliinsaturadas: aceites de semillas (maíz, girasol, soya y cártamo) y frutos secos (nueces).

- Omega-3: pescado y marisco, particularmente el pescado azul (sardina, anchoa, arenque, salmón y trucha, entre otros), y algunos alimentos vegetales (nueces, semillas o aceites de lino, y aceites de soya y colza) (Pérez et al. 2006).

DISCUSIÓN

Estudios clínicos han demostrado que los cambios en el plasma debidos al colesterol ingerido son el resultado de una gran cantidad de genes, lo que produce una variación en la respuesta a cada individuo. Existe una teoría que sugiere que el 70% de los humanos tienen una hiper-respuesta a un exceso de consumo de colesterol (Morgan et al. 2016). Estos individuos, generalmente, tienen niveles elevados de colesterol bueno y colesterol malo, lo que provoca el desarrollo de enfermedades cardiovasculares (Herron et al. 2003).

Tabla 2. Niveles recomendados de colesterol en sangre.

| | Rangos |
|------|---------------------------|
| HDL | Entre 29 mg/dL y 72 mg/dL |
| LDL | De 60mg/dL a 130 mg/dL |
| VLDL | Entre 0 y 40 mg/dL |

Colesterol.org

Sumando los valores de: HDL, LDL y VLDL, podemos obtener el colesterol total, el cual debe estar siempre por debajo de 200. Mayor acumulación de placa de colesterol corresponde a niveles más altos de colesterol en la sangre (Colesterol.org, 2018).

La acumulación de placa en las arterias que alimentan el corazón puede causar un ataque cardíaco, mientras que las arterias que alimentan el cerebro pueden causar un accidente cerebrovascular. La dieta juega un papel crítico en el mantenimiento de los niveles normales de colesterol. De la dieta obtenemos 25% de colesterol, y nuestro cuerpo produce el 75% restante. En la Figura 5 se muestra el consumo per cápita de carne, huevo y leche en el 2016. Los mayores contribuyentes al colesterol alto son las grasas saturadas y los ácidos grasos trans. Es importante consumir en nuestra dieta grasas poliinsaturadas para reducir el colesterol total, y las monoinsaturadas para aumentar el colesterol HDL.

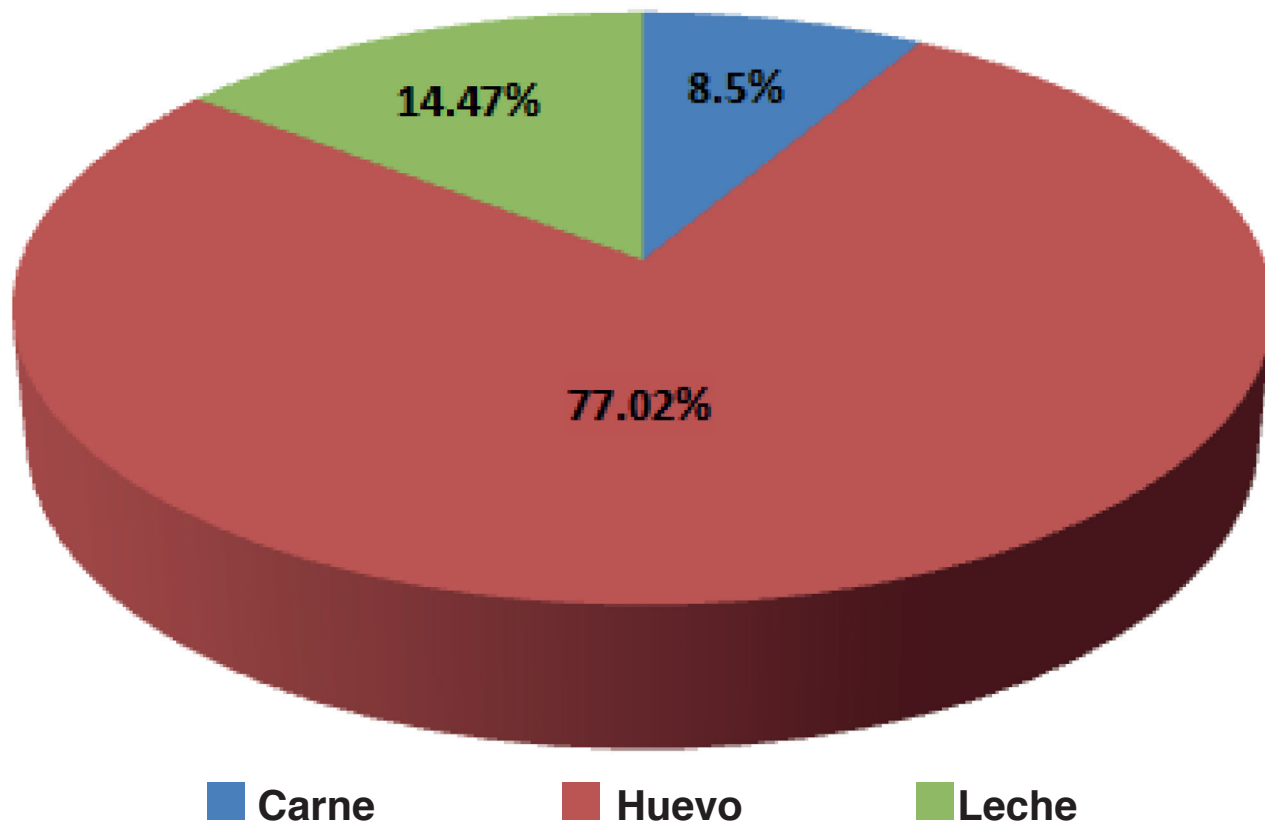


Figura 5 . Consumo de carne, huevo y leche per cápita en el 2016.

CONCLUSIÓN

Es importante mantener niveles elevados de “colesterol bueno” (HDL) mediante una alimentación rica en verduras, frutas, cereales, legumbres, frutos secos y pescado. Además de cuidar nuestra dieta es importante realizar actividad física para evitar el desarrollo de éstos padecimientos.

También debemos conocer la cantidad de colesterol presente en los alimentos que consumimos, así como no ingerirlo en una elevada cantidad para evitar así el desarrollo de enfermedades cardiovasculares.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente al Dr. Juan Gabriel Báez González por su apoyo, confianza y consejos durante la realización de ésta revisión. Así como a la Dra. Ma. Adriana Núñez González, al Dr. Carlos A. Amaya Guerra, la Dra. Claudia T. Gallardo Rivera y la Dra. Sandra Loruhamá Castillo Hernández, por sus observaciones y gran apoyo. Al CONACYT por la beca 277814, otorgada para el desarrollo de estudios de posgrado.



LITERATURA CITADA

- Anton, M. 2013. Egg yolk: Structures, functionalities and processes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(12): 2871-2880. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6247>
- Aguilar, C.A., R. Rojas, F.J. Gomez.2004.High prevalence of metabolic syndrome in Mexico. *Archives of Medical Research*, 35: 76-81. <http://doi.10.1016/j.arcmed.2003.06.006>
- Anderson, T.A., D.G. Levitt, L.J. Banaszak.1998.The structural basis of lipid interactions in lipovitellin, a soluble lipoprotein. *Structure* 6:895-909. [https://doi.org/10.1016/S0969-2126\(98\)00091-4](https://doi.org/10.1016/S0969-2126(98)00091-4)
- Badui, S. 2013. *Química de los alimentos*. Quinta edición. Pearson educación. México, pp: 63-67.
- Borges, S., E. Martucci, C. Müller. 1996. Optimization of the extraction of cholesterol from dehydrated egg yolk using acetone. *LWT-Food Science and Technology*, 29(8): 687-690. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.05.014>
- Burley R.W., W.H. Cook.1961. Isolation and composition of avian egg yolk granules and their constituent α - and β -lipovitellins. *Canadian journal of biochemistry and physiology*, 39(8): 1295-1307. <https://doi.org/10.1139/o61-136>
- Causeret D, E. Matringe, D. Lorient.1991. Ionic-strength and pH effects on composition and microstructure of yolk granules. *Journal of Food Science* 56, 1532-1536.
- Cámara Nacional de Industriales de la leche (CANILEC).2011. El libro blanco de la leche y los productos lácteos. México. pp:26-29. http://www.canilec.org.mx/descarga_archivos_publico/Libro_Blanco_mail.pdf (consultado 14/05/2018)
- Changkun, L., L. Yang, D. Zhang, W. Jiang.2016. Systematic review and meta-analysis suggest that dietary cholesterol intake increases risk of breast cancer. *Nutrition Research*, 36:627-635. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nutres.2016.04.009>
- Chiu, S.H., T.W. Chung, R. Giridhar, W.T. Wu. 2004. Immobilization of β -cyclodextrin in chitosan beads for separation of cholesterol from egg yolk. *Food Research International*, 37: 217-223. <http://doi:10.1016/j.foodres.2003.12.001>
- Clark, S. 2014. *Food Processing: Principles and Applications*, 249-273. <https://doi.org/10.1016/B978-044481500-2/50007-4>
- Colesterol.org <http://colesterol.org.es/nivel-normal> (consultado 13/06/2018)
- Dyer, J.N., I.A. Nnanna.1993. Cholesterol content and functionality of plasma and granules fractionated from egg yolk. *Journal of Food Science* 58, 1277-1281.
- Djoussé, L., J. Michael Gaziano. 2009. Dietary cholesterol and coronary artery disease: A systematic review. *Current Atherosclerosis Reports*, 11(6), 418-422. <https://doi.org/10.1007/s11883-009-0063-1>
- Escobedo, J., R. De Jesus Perez, H. Schargrotsky. 2014. Prevalencia de dislipidemias en la ciudad de México y su asociación con otros factores de riesgo cardiovascular. Resultados del estudio CARMELA. *Gaceta Médica de México*, 150: 1-9. (consultado 4/06/2018) https://www.anmm.org.mx/GMM/2014/n2/GMM_150_2014_2_128-136.pdf
- Encuesta Nacional de Salud y Nutrición, 2012. <http://ensanut.insp.mx> (consultado 16/07/2018).
- Encuesta Nacional de Salud y Nutrición de Medio Camino 2016.(ENSANUT MC 2016) Instituto Nacional de Salud Pública. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/209093/ENSANUT.pdf> (consultado 4/06/2018)
- Fennema O.2000.*Química de los alimentos*.Segunda edición. Editorial Acribia. Zaragoza, España, 1004 pp.
- García, E.E., J.S. Reis, L.A. Minim, J. Freitas.2007. Cholesterol removal in liquid egg yolk using high methoxyl pectins. *Carbohydrate Polymers*, 69:72-78. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.09.004>
- Herron, K.L., S. Vega-Lopez, K. Conde, T. Ramjiganesh, N.S. Shachter, M.L. Fernandez. 2003. Menclassified as hypo- or hyperresponders to dietary cholesterol feeding exhibit differences in lipoprotein metabolism. *Journal of Nutrition*, 133: 1036-1042. <https://doi.org/10.1093/jn/133.4.1036>

- Kathleen, L., S. Escott-Stump, J. L. González-Hernández. 2001. Krause's Food, nutrition, & diet therapy. Nutrioterapia médica. 1020-1025,pp.
- Laca A, B. Paredes, M. Díaz. 2010. A method of egg yolk fractionation. Characterization of fractions. Food Hydrocolloids, 24(4): 434-443. <http://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.11.010>
- Lamas, A., X. Anton, J. M. Miranda, P. Roca, A. Cardelle, I. S. Ibarra, A. Cepeda. 2016. Technological Strategies for the Development of Egg-Derived Products with Reduced Content of Cholesterol. Food and Bioprocess Technology, 9(1): 81-90. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1599-4>
- Ledford, H. 2016. Good cholesterol mutation linked to heart disease. Nature. En: <https://www.nature.com/news/good-cholesterol-mutation-linked-to-heart-disease-1.19543> (consultado el 10/09/2018).
- Li-Chan E, Kim HO. 2008. Structure and chemical composition of eggs. In: Mine Y (ed) Egg Bioscience and Biotechnology. New Jersey: John Wiley, 1-65 pp..
- Mahan, K; Escott Stump, S. 2005. Nutrición y dietoterapia de Krause. Décima edición.. McGraw-Hill Interamericana, 1048-1050 pp.
- Marcet, I., B. Paredes, M. Díaz. 2015. Egg yolk granules as low-cholesterol replacer of whole egg yolk in the preparation of gluten-free muffins. Food Science and Technology. 62: 613-619. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.031>
- Morgan, A. E., K. M. Mooney, S. J. Wilkinson, N. A. Pickles, M. T. McAuley. 2016. Cholesterol metabolism: A review of how ageing disrupts the biological mechanisms responsible for its regulation. Ageing Research Reviews, 27, 108-124. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2016.03.008>
- Nassif-Hadad, A., A. Herrera-González, D.M. Argüelles-Barreto, J.R. Martínez-Rodríguez, J. Soto-Matos, T.O. Tamargo-Barbeito, A.E. Pérez-Mederos. 2011. Efecto del consumo de tres huevos de gallina diarios sobre el perfil lipídico en pacientes dislipidémicos. Clínica e Investigación en Arteriosclerosis, 23(1): 1-7. <http://doi.org/10.1016/j.arteri.2011.01.004>
- National Heart, Lung and Blood Institute: Third Report of the National Cholesterol Education Program. Available at <http://www.nhlbi.nih.gov/guidelines/cholesterol/atp3xsum.pdf>. Accessed on June 2, 2009.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-155-SCFI-2012. Leche-Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba.
- OMENT (Observatorio mexicano de enfermedades no transmisibles). 2015 En: <http://oment.uanl.mx/mexico-encabeza-estadisticas-en-obesidad-en-adultos-y-ninos/> (consultado el 20/08/2018).
- Pérez F, Ros E, Solá R, Godás G, Pérez A, Serra M, Mostaza J, Pintó X. 2006. Consejos para ayudar a controlar el colesterol con una alimentación saludable. Clínica e investigación en arteriosclerosis 18(3):104-110 [https://doi.org/10.1016/S0214-9168\(06\)73670-1](https://doi.org/10.1016/S0214-9168(06)73670-1)
- Sancllemente T, Marques I, Fajó M, Puzo J. 2012. Beneficios dietéticos asociados a la ingesta habitual de dosis moderadas de fitoesteroles presentes en forma natural en los alimentos. Clínica e investigación en arteriosclerosis 24(1): 21-29. <http://doi.org/10.1016/j.arteri.2011.11.005>
- Secretaría de Salud. 2001. Enfermedades cardiovasculares e hipertensión arterial. México. ISBN 970-721-002-8
- Valverde, D., A. Laca, L. N. Estrada, B. Paredes, M. Rendueles, M. Díaz. 2016. Egg yolk and egg yolk fractions as key ingredient for the development of a new type of gels. International Journal of Gastronomy and Food Science, 3: 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2016.02.001>
- Virani, S. S., L. D. Woodard, C. R. Landrum, K. Pietz, D. Wang, C. M. Ballantyne, L. A. Petersen. 2011. Institutional, provider, and patient correlates of low-density lipoprotein and non-high-density lipoprotein cholesterol goal attainment according to the Adult Treatment Panel III guidelines. American Heart Journal, 161(6): 1140-1146. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2011.03.023>
- Warren, M., H. Brown, D. Davis. 1988. Solvent extraction of lipid components from egg yolk solids. Journal of the American Oil Chemists' Society, 65(7): 1136-1139. <https://doi.org/10.1007/BF02660569>

CHRISTOPHER KEMP
*Great Expeditions in the Collections
of Natural History Museums*

the
LOST
species



THE LOST SPECIES: GREAT EXPEDITIONS IN THE COLLECTIONS OF NATURAL HISTORY MUSEUMS

CHRISTOPHER KEMP

UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS, 2017

Reseña de libro por Sergio I. Salazar Vallejo
El Colegio de la Frontera Sur, ssalazar@ecosur.mx,
savs551216@hotmail.com

Christopher Kemp es un científico dedicado a la divulgación de la ciencia. Ha realizado dos libros, el ahora reseñado y otro sobre el *ambergris*, ambos publicados por la Universidad de Chicago. En su más reciente libro expande sus ideas presentadas en la revista *Nature* (Kemp C 2015, 518:292-294), en la que llamó la atención sobre la precaria condición presupuestal y de personal en algunos de los mayores museos de historia natural del mundo. El libro también apunta a la relevancia del trabajo taxonómico y, en el subtítulo, enfatiza la importancia de las colecciones y de la manera en que los análisis de sus materiales, mediante estudios finos, serían equivalentes a la realización de grandes expediciones como las de antaño. Se refiere, por supuesto, a la pieza culminante del trabajo taxonómico: las revisiones. Porque parecen poco comprendidas entre los profesionales de las ciencias ambientales haré unos comentarios sobre las mismas.

Kemp aborda la misma problemática para resaltar la urgente necesidad de mejorar el financiamiento de las colecciones de historia natural (animales, plantas, fósiles), pero lo hace desde la perspectiva de la riqueza contenida en ellas, principalmente de aquellas depositadas en museos. Para comprender

dicho tesoro deben considerarse los esfuerzos de muestreo a lo largo de los años en una misma región, o aquellos realizados por única ocasión, pero en sitios y regiones de difícil acceso o que no se pueden visitar con frecuencia. Se puede comprender, entonces, el alto costo de cada uno de los ejemplares en las colecciones porque implicaron recursos económicos para su consecución, tratamiento y conservación, así como tiempo de los interesados para encontrar y procesar los materiales hallados. También debemos considerar, para apreciar los costos del mantenimiento de las colecciones, que debe evitarse que los materiales se deterioren. Así, para los organismos preservados en etanol, se trata de que no se sequen y aquellos preservados en seco, que no sean presa de hongos, coleópteros derméstidos, o que se intempericen. Esa riqueza, empero, no es tan fácil de descubrir o encontrar, sino que resulta de la realización de la máxima aventura taxonómica que consiste en realizar revisiones.

Con una tradición que empezó con Lineo hace 250 años se podría pensar que todo está resuelto o que no hay nada que hacer, especialmente en los grupos de organismos de mayor tamaño, o entre aquellos más accesibles a nuestros estudios. Lamentablemente no es así. También podríamos decir: por fortuna no es así. De serlo, los taxónomos no tendríamos razón de ser. En realidad, por mucho que se esfuercen los taxónomos no pueden dominar la información de todos los grupos con los que se topan de manera cotidiana, dado que la información es especializada y en esos dos siglos y medio se ha publicado en por lo menos unos 5 idiomas primarios. Por ello, no sorprende que los responsables de colecciones fallen al identificar especies de grupos en los que no sean especialistas, y que del material que se ingresa a colecciones un 50% recibe nombres inexactos. Ese es uno de los problemas que deben resolverse con las revisiones, dado que los organismos deben revisarse escrupulosamente y compararse con otros del mismo grupo para comprender las variaciones en los mismos. En una palabra: cotejarlos. Mediante esta actividad se detectarán patrones y se podrán reconocer especies indescriptas por las diferencias o por combinaciones particulares de los atributos analizados. Entonces, uno de los requisitos para hacer una revisión es el estudio de los ejemplares disponibles. Para ello, los materiales se pueden concentrar en una institución,

o ser revisados mediante visitas a las colecciones principales. La opción elegida dependerá del presupuesto del interesado.

Para determinar el tamaño del problema a considerar mediante el número de especies, debe también acumularse y conocerse a fondo toda la información disponible sobre el grupo. Esto implicará traducir e interpretar la información porque, como se mencionó arriba, está publicada en varios idiomas y es remoto que el taxónomo los domine todos. Esta asimilación de la información permitirá definir el estado del conocimiento sobre el grupo, los patrones que se han detectado, se hayan utilizado o descartado, y cuáles serían las necesidades de atención para mejorar la situación. Debe también considerarse que el estilo de las publicaciones taxonómicas ha cambiado mucho conforme mejora nuestro conocimiento del grupo. Es decir, cuando no hay otra especie conocida, no haría falta brindar tantos detalles más allá de los que definirían al género, pero cuando haya por lo menos dos especies conocidas, deben aclararse los atributos diagnósticos y su variación para delinear las especies o taxa considerados. Entonces, al dominar la información disponible se precisarán los problemas a atender, las especies o grupos de especies cuyas delimitaciones son nebulosas o inadecuadas, y también se conocerá dónde está el material disponible, sea material tipo o no tipo, pero relevante por sus variaciones en tamaño o distribución geográfica. La importancia del material tipo, por supuesto, radica en que son los portadores de los nombres científicos de los taxa correspondientes y por ello deben estudiarse, a pesar de las condiciones en las que estén.

Por otro lado, la faceta de historiador surge en el taxónomo cuando para cada especie deben indicarse los cambios nomenclaturales a lo largo del tiempo. Los taxónomos deben seguir una serie de lineamientos formales para la nomenclatura, contenidos en los códigos correspondientes a la botánica y a la zoología. Es cierto que la mayoría de los taxónomos practicantes ignoran el contenido de los códigos, pero para realizar revisiones es indispensable comprender por lo menos los artículos correspondientes a los problemas que se encuentren en el grupo. Al mismo tiempo, le hará falta al taxónomo una perspectiva sociológica para entender las razones o argumentos, o la falta de ellos,

Figura 1. Panorámica de la colección de mariposas ya identificadas y clasificadas, Museo Nacional de Historia Natural, Smithsonian Institution, Washington.



para los cambios en la ubicación de las especies en los distintos géneros en donde haya sido dispuestos por los taxónomos previos. Así, estarán mejor argumentadas las discusiones para confirmar la pertenencia de las especies en los géneros correspondientes, o para su nueva ubicación si fuera el caso.

La culminación del trabajo de revisión es su publicación formal. Como son documentos grandes, su elaboración y ulterior evaluación son más lentas y complejas que cuando se trata de artículos más cortos y, por su extensión, no son aceptados en la mayoría de las revistas. También debe mencionarse que su publicación puede trabarse si contiene propuestas que modifiquen la perspectiva vigente, especialmente si el responsable de dicha perspectiva fue requerido como revisor del documento, y muestra su disgusto al atrasar la evaluación, o rechazar el contenido de las nuevas propuestas. Entonces, confrontamos dos situaciones intrigantes: si para fines de evaluación contará como una publicación, independientemente de su extensión o tiempo invertido para generarla, y de que son particularmente problemáticas para ser publicadas,

debemos preguntarnos: ¿por qué siguen haciéndose? Por la sencilla razón de que representan una pieza completa de información y porque dada la dimensión del reto intelectual implicado, no hay obra parecida en el terreno taxonómico. Es cierto que la mayoría de los taxónomos nunca las realizan, pero son tan valiosas que son consideradas como la piedra filosofal para los taxónomos, porque transforman el nivel y calidad del conocimiento en el grupo correspondiente en el que se publiquen. Regresemos ahora al libro que generó esta reseña.

El libro de Kemp tiene una introducción, 25 capítulos separados en cuatro secciones: vertebrados con 10 capítulos, invertebrados con 12, plantas con 1 y fósiles con 2, y termina con un epílogo. Todos los capítulos tienen una ilustración y referencias enumeradas pero los créditos para las figuras y las referencias aparecen al final del volumen.

Loa vertebrados considerados son el olingüito, ratones, el tapir enano brasileño, monos saki, la mojarra de Wallace, dragones de mar, salamandras,

ranas y gekkos. Los invertebrados tratados son principalmente insectos continentales e incluyen avispas, cucarachas miméticas, el coleóptero de Darwin, caballetes del Congo, cerambícidos, moscas gigantes del Brasil (una de ellas ilustra la portadilla de forros), tarántulas atómicas, nematodos parásitos, caracoles terrestres, un isópodo californiano y el cangrejo real de Makarov. Entre las plantas se refiere al género *Monanthotaxis*, y de los fósiles un capítulo se refiere a las recolectas de Elmer Riggs, y el último a un fósil de un bivalvo dulceacuícola de medio millón de años, con unas muescas que revelan actividades de nuestros ancestros.

Para comprender el panorama penosamente vigente para las colecciones y la taxonomía, vale la pena repetir algunos argumentos vertidos en las secciones introductoria y terminal. En la introducción el autor estima que hemos descrito apenas un quinto del total de las especies del planeta y que un 75% de las especies desconocidas de mamíferos, o la mitad de las especies de fanerógamas, podrían ya ser parte de alguna colección, argumentos suficientes para luchar por su mantenimiento y mejora. Como muestra del impedimento taxonómico, refiere que 21 años es el tiempo promedio que media desde que los organismos son recolectados hasta que son publicados como especies nuevas.

En todo el mundo, se describen unas 18,000 especies por año y aunque la mayoría proceden de colecciones, no siempre es así. Por ejemplo, una especie de hormigas se halló en el contenido estomacal de una rana, pero las hormigas no se habían colectado jamás.

Los museos principales han perdido personal. Por ejemplo, el museo de historia natural de la Institución Smithsonian en Washington, DC, perdió un tercio de sus especialistas en los últimos 25 años ya que en 1993 tenía 122 curadores y ahora tiene 81. También refiere que el museo de Berlín ha realizado fotografías digitales de alta calidad de sus materiales tipo para facilitar la observación de algunos detalles. Empero, agrega el autor acertadamente, nada se compara a la observación directa de los organismos y, podemos agregar, a la comparación estricta y detallada (cotejar) con otras especies del mismo grupo.





Figura 2. Panorámica de una sección de colección con materiales pendientes de procesar.

Kemp afirmó, con sobrada razón, que las colecciones son más importantes que nunca porque 'brindan un registro taxonómico de la vida en el planeta, y el planeta está cambiando mucho.' Agrega que, dado que hemos entrado en la Sexta Extinción Masiva, 'para algunas especies, los pocos ejemplares disponibles en colecciones son los únicos que existen: no quedan especímenes vivos.'

En el epílogo complementa estas cuestiones. Los taxónomos pueden describir especies con materiales antiguos precisamente porque 'los especímenes han sido mantenidos cuidadosamente en las colecciones. Pero las colecciones están amenazadas en todas partes por desidia, falta de fondos, porque se retira el personal, por guerras, y por la idea de que una imagen de alta calidad es un sustituto del objeto mismo.'

La taxonomía, continua el autor, 'es una aventura solitaria cuya soledad se ha recrudecido porque cada vez menos personas se interesan en ella.' No obstante, sigue realizándose y, en estos momentos, en muchos museos hay una persona que ha invertido los últimos años de su vida para comprender las diferencias entre las especies que le interesan. Se ha aislado para concentrarse en un grupo reducido de especies para profundizar en su estudio y comprensión. En uno de los estantes unos ejemplares han llamado su atención. Ojea las etiquetas y empieza a percibir patrones que no habían sido detectados previamente entre los ejemplares añosos con los que se ha topado. Representan algo nuevo que no tiene nombre, y pasará a generar uno.

Reconozco que disfruté mucho enterarme de las actividades en grupos biológicos o en museos o

regiones en las que no había pensado. Sin embargo, creo que el que la situación crítica de las colecciones y museos esté generalizada en muchos países podría interpretarse como que las cosas son así y así deberán seguir. No es así. No puede ser así.

Las colecciones son resultado, como anoté arriba, de esfuerzos personales e institucionales a lo largo de muchos años, décadas o centurias. Si los administradores de la ciencia las consideran estorbosas, mal olientes, poco usadas, decimonónicas o anacrónicas, y que los espacios que ocupen deben liberarse para otras actividades más modernas, no sólo muestran supina ignorancia, sino un gran desprecio por lo que instituciones y naciones han invertido para generar dichos acervos.

Todo lo contrario. Las colecciones deben respaldarse, mejorar su mobiliario, incrementar su personal y financiamiento para seguir siendo depositarias de la biodiversidad regional. Por supuesto, el personal debe esforzarse más y generar documentos que muestren el desarrollo y relevancia de las colecciones, y además de describir nuevas especies, moverse a realizar revisiones planetarias. Es posible que estas acciones renovadoras se hagan colección por colección y dependería del respaldo de los administradores o directivos de cada institución. Sería deseable, empero, que el revitalizar las colecciones fuera parte de un programa nacional para el fortalecimiento de la infraestructura y mejoramiento de la taxonomía en cada país. Ojalá podamos movernos en esa dirección. El reto es tan grande que algunos sentirán que tiene dimensiones cósmicas, pero no sobraré esfuerzo alguno.

SOBRE LOS AUTORES

Victoria Aguilar-Herrera. Estudiante de Biología y miembro de la Asociación Estudiantil de Biólogos en la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. Miembro de la Asociación Mexicana de Mastozoología y ha participado en diferentes cursos y talleres enfocados en el estudio de los mamíferos silvestres de México. victoriae.reginae95@gmail.com

Dr. Carlos Aguilera González. Biólogo con Maestría en Ciencias en Recursos Alimenticios y Producción Acuícola, así como Doctorado en Ciencias Biológicas con Especialidad en Acuicultura, por la Facultad De Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores en el área de Biotecnología y Ciencias Agropecuarias, Nivel I, con ingreso y permanencia desde 1999. Perfil Deseable PRODEP y miembro del Cuerpo Académico de Recursos Alimenticios (UANL-CA-183, En Consolidación). Con producción científica consistente en 38 artículos, 2 libros, 1 patente, 36 capítulos de libros, 170 trabajos en congresos internacionales y nacionales, participación en 21 proyectos de investigación y más de 600 citas a sus publicaciones. Entre las distinciones destacan un Premio de Investigación por la Universidad de la Habana, Cuba, y dos Premios de Investigación por la Universidad Autónoma de Nuevo León. Realiza su trabajo en el Laboratorio de Ecofisiología, Depto. de Ecología FCB/UANL, sobre fisiología y nutrición de especies acuáticas, biomarcadores de estrés y contaminación, domesticación de especies nativas con potencial para acuicultura, conservación de especies en peligro de extinción y control de especies invasoras acuáticas.

Dr. Carlos Abel Amaya Guerra. Está adscrito al Departamento de Alimentos de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Licenciatura en Ingeniería Bioquímica en Procesado de Alimentos; maestría en ciencias en Ingeniería de Alimentos; doctorado en ciencias con especialidad en Alimentos. Profesor-Investigador cuya especialidad de investigación es el Desarrollo y Fortificación de Alimentos. Ha publicado más de 50 obras científicas, incluyendo 19 publicaciones en revistas indizadas, 35 publicaciones en revistas arbitradas y 2 capítulos de libro. Así mismo ha estado encargado de más de 40 proyectos de Desarrollo y Calidad de Alimentos con la industria. Ha dirigido hasta el momento 41 tesis (4 Doctorado, 1 Maestría, 37 Licenciatura). Ha presentado más de 100 trabajos en congresos nacionales e internacionales. carlos.amayagr@uanl.edu.mx

Dr. Juan Gabriel Báez González. Está adscrito al Departamento de Alimentos de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Licenciatura en Ingeniería Química por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, 1997. Maestría en Ciencias (Ingeniería Química) por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, 2002. Doctorado en Ciencias en Ingeniería Química por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, 2008. Profesor es Profesor Investigador de Tiempo Completo del Departamento de Alimentos de la FCB. Ha generado 11 tesis de licenciatura, 8 artículos científicos. Sus líneas de investigación son: Química y Tecnología de Alimentos y estabilidad y caracterización de sistemas dispersos alimenticios. Pertenece al SNI Nivel 1. juan.baezgn@uanl.edu.mx

L.C.A. Minerva Bautista Villarreal Adscrita al Departamento de Alimentos de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL. Licenciatura en Ciencias de Alimentos. Profesor de la FCB, colabora en la línea de investigación de estabilidad y caracterización de sistemas dispersos en alimenticios, ha generado 2 publicaciones de memorias in extenso. Forma parte de la Academia de Ciencia de Alimentos. minerva.bautistavl@uanl.edu.mx

M. en C. Andrea A. Caballero Ochoa. Licenciada en Bióloga por la Universidad Simón Bolívar de la Ciudad de México; maestra en Ciencias por el Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Su área principal de investigación es la Biodiversidad y Biogeografía de Equinodermos. Ha colaborado en diversos proyectos y publicaciones en el Laboratorio de Sistemática y Ecología de Equinodermos (ICML, UNAM) desde el 2008 y en el Proyecto Templo Mayor desde 2016. Ha impartido cursos-talleres en la UNAM desde 2011 y conferencias de divulgación desde 2009. Es miembro de la Red Iberoamericana de equinodermos y ha participado en diversos congresos nacionales e internacionales. a.caballero.ochoa@gmail.com

M.C. Ma. Esperanza Castañeda Castañeda Garza. Ingeniero Químico, Facultad de Ciencias Químicas, egresada de la UANL. Maestra en Ciencias con especialidad en Alimentos. Profesor de asignatura de Física de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL desde hace 38 años. Perfil PRODEP. Su línea de trabajo es sobre Biofísica de Radiaciones.

Dra. Sandra Loruhamá Castillo Hernández. Adscrita al Departamento de Alimentos de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL. Licenciatura en Químico Bacteriólogo Parasitólogo. Maestría en Ciencias con especialidad en Microbiología por la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL 2007. Doctorado en Ciencias con especialidad en Microbiología por la Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León 2013. Profesor Investigador de Tiempo Completo del Departamento de Alimentos de la FCB. Ha generado 4 artículos de investigación. Ha dirigido 5 tesis de licenciatura. Sus líneas de investigación son: Química y Tecnología de Alimentos. Pertenece al SNI Nivel 1. sandra.castilloh@uanl.mx

M. en C. Carlos Andrés Conejeros Vargas. Licenciado en Biología por la Facultad de Ciencias, UNAM; maestro en ciencias por el Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Actualmente estudiante de Doctorado del Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Estudia la taxonomía y sistemática (alfa) de equinoideos someros y de profundidad. Enfocado actualmente en el estudio y caracterización de las variaciones estructurales de micro y macro componentes calcáreos y sus implicaciones taxonómicas en erizos irregulares. En los últimos cuatro años ha producido diversas obras científicas entre las que se incluyen cuatro publicaciones en revistas indizadas, un capítulo de libro, un artículo de divulgación y diversas colaboraciones en productos de docencia. Ha presentado 28 trabajos en congresos, 10 trabajos en congresos nacionales y 18 trabajos en congresos

internacionales en países como México, Estados Unidos de Norteamérica, Costa Rica y Japón. Ha realizado estancias de investigación en Colecciones Científicas Internacionales (en el Smithsonian National Museum of Natural History, Washington D.C. y en el Museum of Comparative Zoology, Harvard University, Massachusetts, U.S.A. y Nacionales en el Laboratorio de Invertebrados Bentónicos, ICML, Unidad Académica Mazatlán, UNAM. conejeros@ciencias.unam.mx

Dra. María Esther Diupotex Chong. Adscrita al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México a la Unidad Académica Ecología y Diversidad Acuática, laboratorio de Sistemática y Ecología de Equinodermos. Licenciatura, Maestría y Doctorado por la Facultad de Biología, UNAM; con especialidad en Biología Celular, genética y citogenética; en su experiencia profesional como académica y Técnico Académico. Cuenta con diversas investigaciones de su especialidad publicadas con reconocimiento nacional e internacional, ha contribuido en proyectos de investigación adaptando e innovando nuevos diseños en técnicas citogenéticas y moleculares como herramientas de estudio dentro de la sistemática de los equinodermos, ha colaborado en apartados de investigación presentados en congresos y simposios nacionales e internacionales, así como participado en eventos académicos y de divulgación de la ciencia. medc@cmarl.unam.mx

M. en C. Alicia de la Luz Durán González. Adscrita al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Licenciatura y maestría por la Facultad de Ciencias, UNAM. Profesor de asignatura de la Facultad de Ciencias de la UNAM; programa de estímulos a la productividad nivel D. Entre las áreas de especialidad que ha cultivado en el transcurso de su trayectoria académica se encuentra la Citogenética de organismos acuáticos y la sistemática alfa de equinodermos. Ha publicado más de 27 obras científicas en revistas nacionales e internacionales, coautora de dos libros sobre equinodermos de las costas mexicanas. Asimismo, ha presentado 43 trabajos científicos que han sido presentados en Congresos Nacionales e Internacionales y 27 trabajos más en Foros Locales. Ha codirigido hasta el momento 8 tesis de licenciatura y una de maestría. Su activa participación le ha permitido ser reconocida en Sociedades Científicas en las que ha formado parte de su Consejo directivo colaborando en la realización de eventos académicos como congresos nacionales y actividades de difusión. aliciad@cmarl.unam.mx

Dra. Claudia Tomasa Gallardo Rivera. Adscrita al Departamento de Alimentos de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL. Licenciatura en Ingeniería Bioquímica. Maestría en Modelo de Bioprocesos. Profesor Investigador de Tiempo Completo del Departamento de Alimentos de la FCB, colabora en las líneas de investigación son Química y Tecnología de Alimentos. Ha generado 2 artículos de investigación. claudia.gallardorv@uanl.edu.mx

M.C. Omar Heredia Rodríguez. Químico Bacteriólogo Parasitólogo egresado de la UANL. Maestro en Ciencias con especialidad en Microbiología. Profesor de asignatura de

Biofísica, Física y Matemáticas de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL desde hace 4 años. Su línea de trabajo es sobre Biofísica de Radiaciones.

Dr. José Antonio Heredia Rojas. Biólogo egresado de la UANL, con Doctorado en Ciencias Biológicas. Profesor de tiempo completo Titular B de la Facultad de Ciencias Biológicas desde hace 38 años. Jefe del Departamento de Ciencias Exactas y Desarrollo Humano de la misma Facultad de Ciencias Biológicas desde hace 28 años. Perfil PRODEP. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel I. Su línea de investigación es la Biofísica de Radiaciones.

Dra. Magali Blanca Isabel Honey Escandón. Dra. en Ciencias por parte de la UNAM, miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel I. Enfoca sus estudios en la filogenia de pepinos de mar y sus componentes químicos de importancia taxonómica. Imparte las materias de Sistemática I, Biogeografía I y Deuterostomados de la carrera de Biología de la Facultad de Ciencias, UNAM desde hace 10 años. Cuenta con nueve artículos en revistas indizadas internacionales, dos libros publicados y seis capítulos de libro. mbihoney@hotmail.com

Dr. Alfredo Laguarda Figueras. Está adscrito al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Licenciatura en Biología por la Universidad Nacional Autónoma de México; maestría y doctorado en Biología por la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. Profesor de asignatura de la Facultad de Ciencias de la UNAM y del Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM. Integrante del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) Nivel II; Programa de estímulos a la productividad nivel C. Su especialidad es taxonomía y genética de organismos acuáticos. Ha publicado más de 160 obras científicas, incluyendo 83 publicaciones en revistas indizadas, 16 publicaciones en revistas arbitradas, siete libros publicados tales como: "Holoturoideos del Golfo de California" y "Ofiuroideos del Caribe Mexicano y Golfo de México". Ha dirigido hasta el momento 24 tesis (seis de doctorado, tres de maestría y 15 de licenciatura). Sus trabajos poseen más de 1,000 citas bibliográficas. Ha presentado más de 180 trabajos en congresos nacionales e internacionales. Ha realizado estancias de investigación en Museos y/o Universidades de Estados Unidos de Norteamérica y Brasil. laguarda@cmarl.unam.mx

Leonardo López Luján. Arqueólogo por la Escuela Nacional de Antropología e Historia, y doctor en la misma materia por la Universidad de París Nanterre. A lo largo de su carrera ha sido investigador huésped del Museo del Hombre de París y de las universidades norteamericanas de Princeton y Harvard, así como profesor invitado de la Sorbona y la Escuela Práctica de Altos Estudios de París, la Sapienza de Roma y la Universidad Francisco Marroquín de Guatemala. Desde hace 38 años es miembro del Proyecto Templo Mayor del INAH y su director a partir de 1991. Sus temas de estudio favoritos son la política, la religión y el arte en las sociedades prehispánicas del Centro de México, así como la historia de la arqueología. Es autor de 16 libros, ha coordinado 16 volúmenes colectivos y ha escrito más de 200 artículos. De 2003 a 2005 fue secretario general de la Sociedad

Mexicana de Antropología. Actualmente es miembro de la Academia Mexicana de Ciencias, la Academia Mexicana de la Historia y nivel III del Sistema Nacional de Investigadores. En fechas recientes fue nombrado miembro corresponsal de la Academia Británica y miembro honorario de la Sociedad de Anticuarios de Londres. Entre las distinciones que ha recibido destacan el Kayden Humanities Award de la Universidad de Colorado, el Premio de Investigación en Ciencias Sociales de la Academia Mexicana de Ciencias, el Premio Alfonso Caso del INAH en dos ocasiones, el Premio del Comité Mexicano de Ciencias Históricas en tres ocasiones y la Beca Guggenheim de Nueva York. En 2015, la Academia China de Ciencias Sociales le otorgó el Shanghai Archaeology Forum Award, por dirigir uno de los diez mejores proyectos de investigación arqueológica a nivel mundial. leonardo@lopezluan.mx

M. en C. Carolina Martín Cao-Romero. Licenciada en Biología por la Facultad de Ciencias, UNAM. Maestra en Ciencias, por el Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM. Actualmente es candidata al grado de doctor en Ciencias del Mar y Limnología, en el mismo posgrado. Su línea principal de investigación es la Taxonomía de estrellas de mar. Ha trabajado con estrellas recientes, tanto del Golfo de México como del Pacífico Mexicano, con estrellas de mar fósiles y restos arqueológicos de las mismas. Ha publicado siete trabajos en revistas nacionales e internacionales. Es miembro de la Red Latinoamericana de Equinodermos y ha participado en diversos Congresos Latinoamericanos de Equinodermos, así como Congresos Internacionales del mismo grupo. Ha realizado estancias de investigación en Museos de Estados Unidos de América y México. caromcr@gmail.com

Dr. Roberto Mendoza Alfaro. Biólogo por la ENEP Iztacala-UNAM. Cuenta con una especialización en cultivo de peces y camarón en la Japan Sea Farming Association, Japón, y con una maestría DEA (Diplôme d'Etudes Approfondies) en Oceanografía Biológica y un Doctorado de nuevo régimen en Acuicultura y Pesca por la Université de Bretagne Occidentale, Francia. Es miembro del SNI desde 1992, desde hace diez años nivel II, también es miembro de la Academia Mexicana de Ciencias y de la Academia de Ciencias de Nueva York. Es Director del Laboratorio de Ecofisiología del Departamento de Ecología de la UANL. Es autor de 11 libros, 55 capítulos de libro, 14 memorias en extenso, 48 artículos científicos en revistas con arbitraje, una patente y cuenta con 279 conferencias: 164 nacionales y 115 presentaciones en congresos internacionales. Ha sido acreedor del premio a la mejor tesis de licenciatura por la UANL y a nivel estatal, y de la mejor tesis de doctorado, así como del premio de investigación de la UANL y de la Universidad de la Habana, Cuba. Es Miembro del Directorio de Expertos de la CONABIO en materia de Bioseguridad. Representante mexicano ante el Panel Regional del Golfo de México y Atlántico Sur de la Aquatic Nuisance Species Task Force de los Estados Unidos. Miembro del Comité Asesor para la Estrategia Nacional para prevenir, controlar y erradicar las Especies Invasoras en México y Miembro del Comité Científico Consultivo de la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados. Ha sido consultor internacional para NOAA,

Comisión de Cooperación del Ambiente, OSPESCA y ONU, y ha participado en diferentes ocasiones como experto mexicano en la Convención de Diversidad Biológica.

Dr. Sergio Moreno Limón. Profesor-Investigador del Departamento de Botánica (Laboratorio de Fisiología Vegetal) de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL. El Dr. Moreno Limón es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I, cuenta con perfil PRODEP y forma parte del Cuerpo Académico Botánica (UANL-CA-186 Consolidado), trabajando en las Líneas de Generación y Aplicación del Conocimiento de Sistemática y Manejo Integral de Recursos Vegetales y Morfofisiología de Plantas de Importancia Económica. Se desempeña como Docente e Investigador en el Departamento de Botánica, de la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL., donde imparte los cursos de Botánica, Biodiversidad de Criptógamas y Optativa de Criptógamas (Hongos), Fisiología Vegetal a nivel de Licenciatura y Ecofisiología Vegetal Aplicada y Métodos Experimentales para el Estudio de los Recursos Vegetales a nivel de Posgrado. Su área de Interés es la Ecofisiología Vegetal, en la cual ha desarrollado las siguientes líneas de Investigación; a) Mecanismos Morfofisiológicos, Bioquímicos y Moleculares en Respuesta al Estrés de Salinidad en Plantas, b) Evaluación de la actividad biológica de Metabolitos Secundarios de especies nativas de Nuevo León. Líneas en las cuales ha dirigido 14 tesis de Licenciatura y actualmente están en desarrollo 5 tesis de Doctorado. El Dr. Moreno Limón ha colaborado en más de 17 Proyectos de Investigación de los cuales se han derivado en Coautoría 68 Artículos Científicos publicados en Revistas Nacionales e Internacionales de los cuales 20 corresponden a revistas indexadas. Ha sido Editor/Coeditor de 4 libros. Del 2009 al 2013 Representante del Cuerpo Académico de Botánica ante las Redes de Investigación: Red Nacional de Productividad y Calidad de Alimentos Agrícolas y Red Multidisciplinaria para el Aprovechamiento Sostenible de Recursos Vegetales en el Noreste de México. sergio.morenoim@uanl.edu.mx

Ricardo Jaimes-López. Estudiante de la carrera de Biólogo, vicepresidente de la Sociedad de Alumnos FCB en la UANL y miembro activo de la Asociación Mexicana de Mastozoología A. C. Ha participado en cursos y talleres enfocados en el estudio de los mamíferos silvestres de México. ricardo.jaimes_lopez@hotmail.com

Dr. Jesús Montemayor Leal. Nació en Monterrey, N.L. Se graduó de Biólogo en la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL, cuenta con una Maestría en Ciencias con especialidad en Recursos Alimenticios y Producción Acuícola y obtuvo el Grado de Doctorado en Ciencias Biológicas con especialidad en Acuicultura. Actualmente labora como profesor-Investigador de Tiempo completo en el Laboratorio de Ecofisiología del departamento de Ecología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL. Ha participado como responsable en diversos proyectos enfocados a la conservación de especies y como colaborador en proyectos de reproducción, mantenimiento y crecimiento de especies acuáticas. Ha publicado 15 artículos científicos en revistas con arbitraje, 8 capítulos en libros, autor de 3 libros, 8 trabajos de divulgación científica y cuenta con más de 60 presentaciones en congresos

internacionales y nacionales. Es Miembro del Directorio de Expertos de la CONABIO en materia de Bioseguridad y cuenta desde el 2002 con el Reconocimiento al Perfil Deseable PROMEP, otorgado por la SEP, para Profesores de Tiempo Completo.

Massimo Nigenda-Quezada. Estudiante de la carrera de Biólogo, tesista del Laboratorio de Biología de la Conservación de la FCB de la UANL. Fundador y actual miembro del cuerpo académico de Alemán en Biologías FCB. Ayudante voluntario del Herbario Institucional y miembro de la Asociación Mexicana de Mastozoología A. C. erick.nigendaqzd@uanl.edu.mx

Dra. María Adriana Núñez González. Adscrita al Departamento de Alimentos de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL. Licenciatura en Químico Bacteriólogo Parasitólogo, Maestría en Ciencias con especialidad en Botánica, y el Doctorado en Ciencias. Perfil Deseable PRODEP y miembro del Cuerpo Académico de Recursos Alimenticios (UANL-CA-183, En Consolidación). Colabora en las líneas de investigación Química y tecnología de alimentos y Utilización de recursos vegetales y subproductos agropecuarios. Con producción científica consistente en 50 artículos, 10 capítulos de libro, 50 trabajos en congresos internacionales y nacionales, participación en 15 proyectos de investigación y más de 100 citas a sus publicaciones. Responsable del servicio externo del laboratorio de Química Analítica con los proyectos análisis fisicoquímico de agua y análisis químicos varios. maria.nunezgn@uanl.edu.mx

Dr. Erick Cristóbal Oñate González. Está adscrito a la Facultad de Ciencias Biológicas (FCB) de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Licenciatura en Biología por la Facultad de Estudios Superiores-Iztacala (FES-I) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); maestría por el Centro de Investigaciones Científicas y de Educación Superior de Ensenada (CICESE); doctorado en Ecología Marina, por el CICESE. Profesor titular A, de tiempo completo de la FCB de la UANL y del Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM. Integrante del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) Nivel C. Su especialidad es Ecología Poblacional y Pesquera. Ha publicado 5 artículos científicos en revistas indizadas, 2 capítulos de libros y 2 artículos en revistas de divulgación. Ha sido revisor de artículos para tres revistas científicas indizadas, así como revisor de trabajos para dos congresos nacionales. Ha dirigido hasta el momento 2 tesis de licenciatura. Ha presentado 7 trabajos en congresos nacionales e internacionales. Miembro y encargado del comité editorial de la Sociedad Mexicana de Peces Cartilaginosos. Actualmente es responsable del Laboratorio de Ictiología y Colección Ictiológica de la FCB-UANL."

Dra. Evelyn Rios. Profesora-Investigadora adscrita al laboratorio de Mastozoología de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Bióloga por la FES-I UNAM, maestría y doctorado en Ciencias en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C. (CIBNOR). Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores, Nivel I.

Miembro del Comité Evaluador de la Revista *Therya*, de la Asociación Mexicana de Mastozoología, A. C. Cuenta con 28 publicaciones que incluyen artículos científicos en revistas especializadas internacionales y nacionales, así como de divulgación, capítulos de libro y un libro, y con más de 90 citas a sus trabajos. Ha presentado más de 20 trabajos en congresos nacionales e internacionales. Ha colaborado en diversos proyectos de investigación científica sobre mamíferos terrestres en sistemática, biogeografía, conservación, genética de poblaciones, listados faunísticos y manejo de colecciones científicas; se ha desempeñado también como consultor de proyectos para empresas no gubernamentales, técnico de campo para investigación biológica, instructora de apoyo en cursos de educación ambiental y campamentos ecológicos. evelyn.riosmn@uanl.edu.mx

Dr. Abraham Octavio Rodríguez de la Fuente. Químico Bacteriólogo Parasitólogo egresado de la UANL, con Doctorado en Microbiología. Profesor de tiempo completo Titular A de la Facultad de Ciencias Biológicas desde hace 20 años. Jefe del Cuerpo Académico de Ciencias Exactas y Desarrollo Humano de la misma Facultad de Ciencias Biológicas. Perfil PRODEP. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores, Nivel I. Su línea de investigación es la Biofísica de Radiaciones.

M.C. Laura Ernestina Rodríguez Flores. Bióloga egresada de la UANL. Maestra En Ciencias Morfológicas por la Facultad de Medicina de la UANL. Coordinadora de Ciencias Morfológicas en el Departamento de Patología de la Facultad de Medicina, UANL desde hace 20 años. Su línea de trabajo es sobre citogenética y morfología. Perfil PRODEP.

Dr. José Rodríguez Rodríguez. Doctor en Ciencias Biológicas con acentuación en Alimentos y Maestro en Ciencias Químicas con especialidad en Química Analítica. Experiencia en la Industria de Alimentos para GRUMA, S. A. de C. V, en el Área de Química Analítica para ATLATEC y en el ámbito educativo en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey desde 1996. Dominio en los procesos de optimización y validación de metodologías y sistemas de calidad de laboratorios analíticos. Actualmente colabora como coasesor en la UANL e ITESM en proyectos de investigación en el área de Alimentos y Química de productos naturales en temas como extracción, identificación, cuantificación y estabilización de compuestos bioactivos provenientes de productos y subproductos agroindustriales. Distinción SNI 1. jrr@itesm.mx

Dr. 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). Ciento cuatro 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); 49 publicaciones de divulgación. Veintiseis tesis dirigidas: 8 de doctorado (todos SNI), 10 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 33 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).

Dr. Francisco Alonso Solís Marín. Está adscrito al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Licenciatura en Biología por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; maestría por la Facultad de Ciencias, UNAM; doctorado en Oceanografía Biológica, por la Southampton Oceanography Centre, University of Southampton, Inglaterra. Profesor de asignatura de la Facultad de Ciencias de la UNAM y del Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM. Integrante del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) Nivel II; Programa de estímulos a la productividad nivel C. Su especialidad es sistemática alfa y molecular de equinodermos. Ha publicado más de 200 obras científicas, incluyendo 79 publicaciones en revistas indizadas, 35 publicaciones en revistas arbitradas, nueve libros publicados tales como: "Echinoderm Research and Diversity in Latin America" editado por Springer; "Holoturoideos del Golfo de California" y "Ofiuroideos del Caribe Mexicano y Golfo de México". Ha dirigido hasta el momento 44 tesis (una de doctorado, 21 de maestría y 22 de licenciatura). Sus trabajos poseen más de 2,000 citas bibliográficas. Ha presentado más de 280 trabajos en congresos nacionales e internacionales. Ha realizado estancias de investigación en Museos y/o Universidades de Estados Unidos de Norteamérica, Nicaragua, Colombia, Costa Rica, Perú, Cuba, Argentina, Inglaterra, Francia, Italia, Dinamarca, Bélgica, China, Japón y distintas islas de la Polinesia Francesa. fasolis@cmarl.unam.mx

Graciela Estefanía Villanueva-Vázquez. Estudiante de la carrera de Biólogo en la Facultad de Ciencias Biológicas en la Universidad Autónoma de Nuevo León. Ha trabajado en proyectos de conservación en el norte de México, como "Monitoreo de aves indicadoras de pastizal en GPCA El Tokio" y "Patrones temporal y espacial de supervivencia del género especialista de pastizales *Ammodramus* mediante el uso de radio-telemetría durante su etapa invernal en el Desierto Chihuahuense de México". Actualmente trabaja en dos proyectos de investigación, uno acerca del impacto carretero sobre la fauna silvestre y otro del éxito reproductivo de un gorrión endémico del Altiplano Mexicano (*Spizella wortheni*) y otras aves anidando en

un paisaje agrícola en Galeana, N. L. Ha presentado los resultados de ambos trabajos en el XIV Congreso Nacional de Mastozoología y en el XVI Congreso para el Estudio y Conservación de Aves de México. fannyvillanueva97@gmail.com

Biól. Belem Zúñiga Arellano. Licenciada en Biología por la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Ha impartido 50 ponencias en congresos nacionales e internacionales, ha escrito 14 artículos y nueve capítulos de libros. Obtuvo mención honorífica con el trabajo titulado "Ofrenda de moluscos a la diosa de la tierra Tlaltecuhltli en el Templo Mayor de Tenochtitlan, otorgada en el premio "Alfonso Caso" (UNAM) correspondiente al área de Arqueología en la categoría de Licenciatura, el 26 de noviembre de 2014. Es miembro de las siguientes sociedades científicas: International Council for Archaeozoology (ICAZ), de 1990 a la fecha; sociedad Internacional de Malacología Médica y Aplicada, de 1990 a la fecha; miembro fundador de la Sociedad Etnobiológica Mexicana, de 1993 a la fecha y asociación Mexicana de Mastozoología, A. C., de 1994 a la fecha. Trabaja en el Proyecto Templo Mayor desde 2009 a la fecha. Actualmente estudia la carrera de Arqueología en la Escuela Nacional de Antropología e Historia, INAH. belem_zu@yahoo.com



Monterrey, Nuevo León

XXIV Congreso Nacional de Zoología 2011



CONABIO
COMISIÓN NACIONAL PARA EL
CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD





UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



Sociedad Mexicana de
Zoología, A.C.



FCB

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

La Sociedad Mexicana de Zoología, A.C. (SOMEXZOO) y la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León convocan a la comunidad científica a participar en el **"XXIV Congreso Nacional de Zoología"**, del 18 al 22 de noviembre del 2019, en Monterrey, Nuevo León.

onal

9



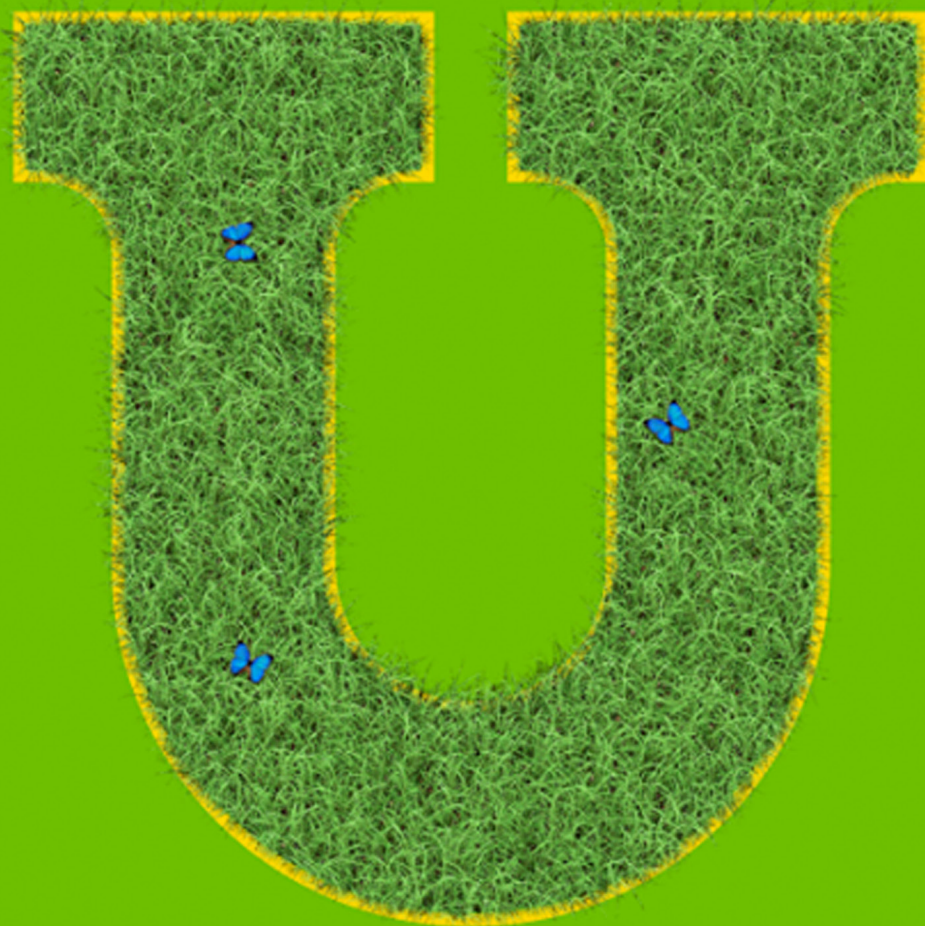
Informes:

jesus.deleongn@uanl.edu.mx

maria.garciagza@uanl.edu.mx

Somos la Universidad más verde de México.

Ranking Mundial de Universidades UI GreenMetric 2017.



#SOMOS UNI

TRABAJAR · TRANSFORMAR · TRASCENDER