

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 hydriformis* 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).

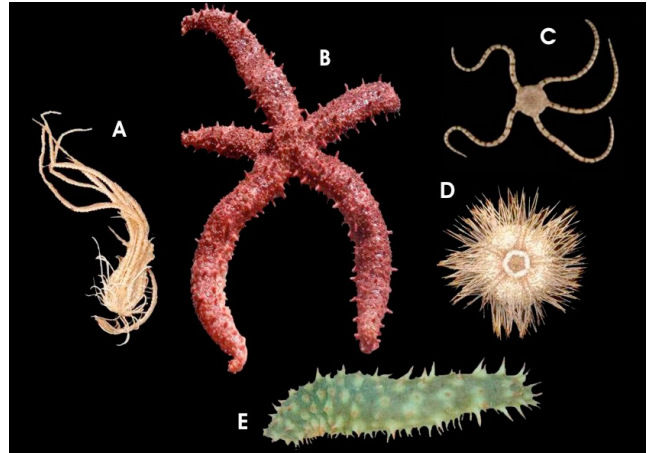


Figura 1. Representantes de las cinco clases del Phylum Echinodermata; A) Clase Crinoidea (*Florometra tanneri*); B) Clase Asteroidea (*Mithrodia bradleyi*); C) Clase Ophiuroidea (*Ophioderma cinereum*); D) Clase Echinoidea (*Astropyga pulvinata*); E) Clase Holothuroidea (*Holothuria hilla*) (tomado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



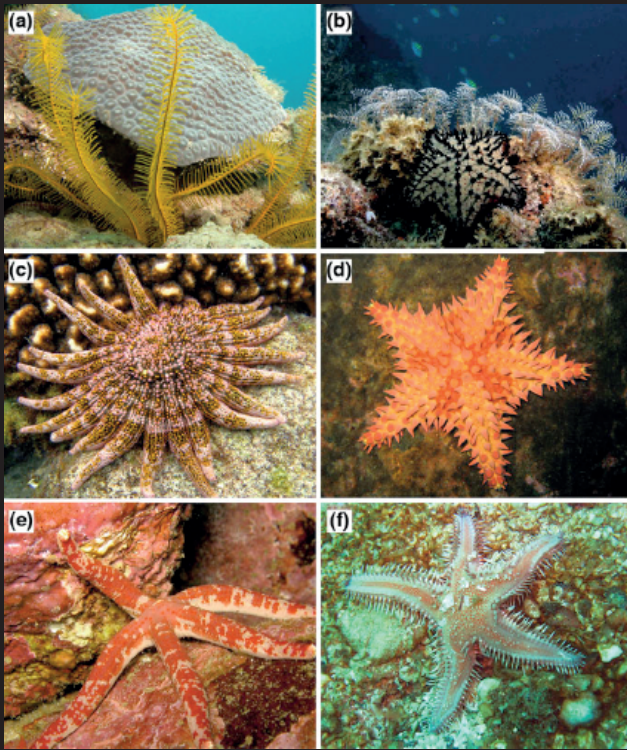


Figura 2. a *Davidaster rubiginosus*, Caribe mexicano. b *Nidorellia armata* (Gray, 1840), Golfo de California. c *Heliaster kubiniji* Xantus, 1860, Golfo de California. d *Amphiaster insignis* Verrill, 1868, Golfo de California. e *Linckia columbiae* Gray, 1840, Golfo de California. f *Astropecten armatus*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

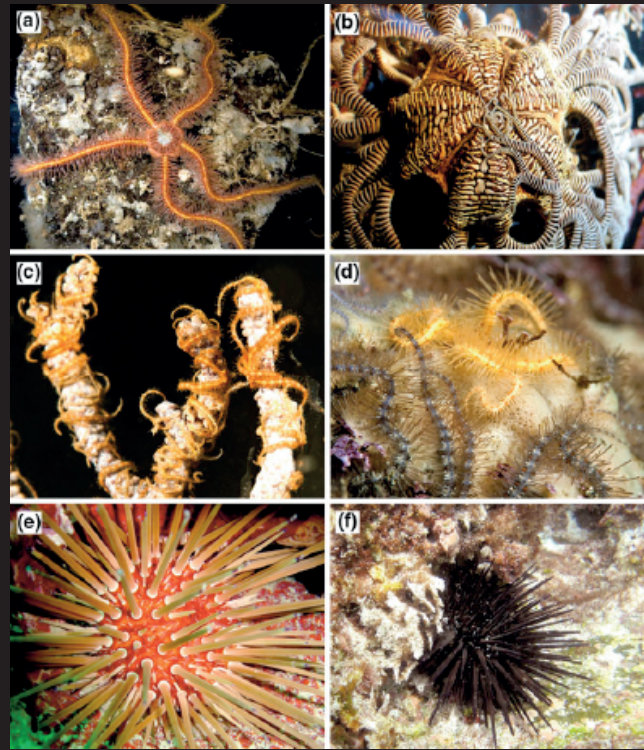


Figura 3. a *Ophiothrix galapagensis* Lütken y Mortensen, 1899, Golfo de California, central. b *Astrodictyum panamense* (Verrill, 1867), Golfo de California, central. c *Ophiothela mirabilis* Verrill, 1867, Guerrero, Pacífico mexicano. d *Ophiothrix spiculata* Le Conte, 1851, Guerrero, Pacífico mexicano. 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 ofiuroideos 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

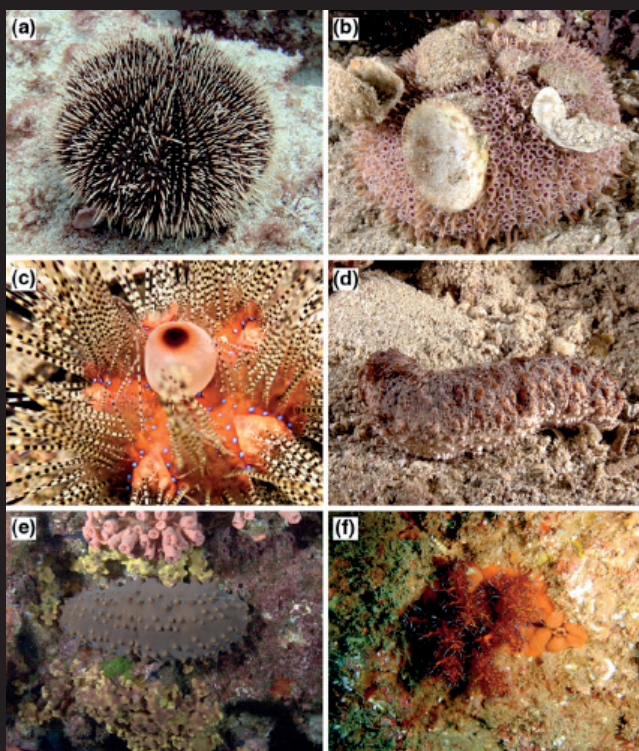


Figura 4. a *Tripneustes depressus* A. Agassiz, 1863, Jalisco, Pacífico mexicano. b *Toxopneustes roseus* (A. Agassiz, 1863), Jalisco, Pacífico mexicano. c *Astropyga pulvinata* (Lamarck, 1816), Guerrero, Pacífico mexicano. d *Holothuria pluricuriosa* Jaeger, 1833, Golfo de California. e *Isostichopus 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).

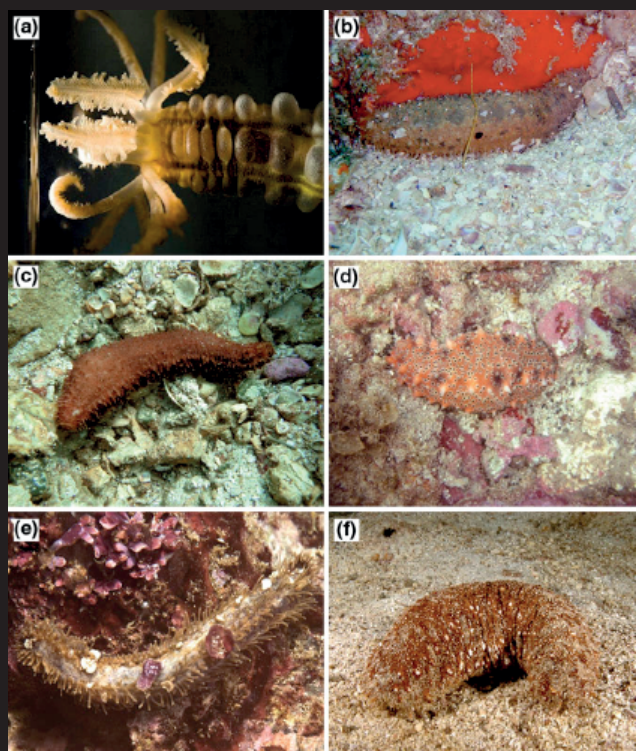


Figura 5. a *Euapta godeffroyi* (Semper, 1868), Golfo de California, central. b *Holothuria arenicola* Semper, 1868, Jalisco, Pacífico mexicano. c *Labidodemas maculochi* (Deichmann, 1958), Jalisco, Pacífico mexicano. d *Holothuria kefersteinii* Selenka, 1867, Golfo de California, sur. e *Pentamera chierchia* (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, Amphiuridae, 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 la 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. (Selenothuria) 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 *Eupta 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 ofiuroides *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 ofiuroides 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 podría 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 Luján *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 citadino 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*, *Pentacaster 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.

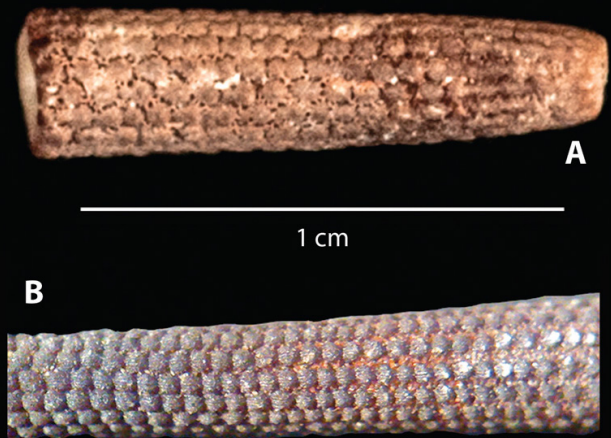


Figura 6. *Eucidaris thouarsii*. A. Espina primaria de un espécimen arqueológico; B. Espina primaria de un espécimen no arqueológico.

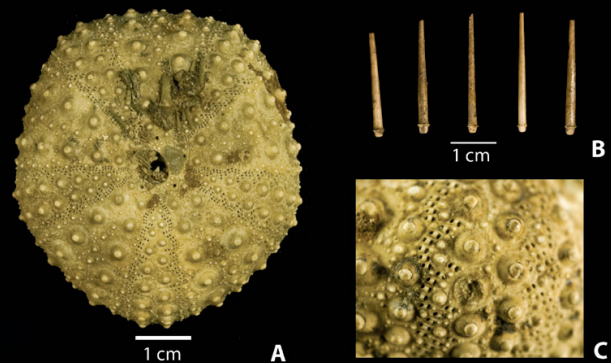


Figura 7. *Echinometra vanbrunti* (espécimen arqueológico). A. Testa completa; B. Espinas primarias; C. Detalles de arco poros ambulacrales.

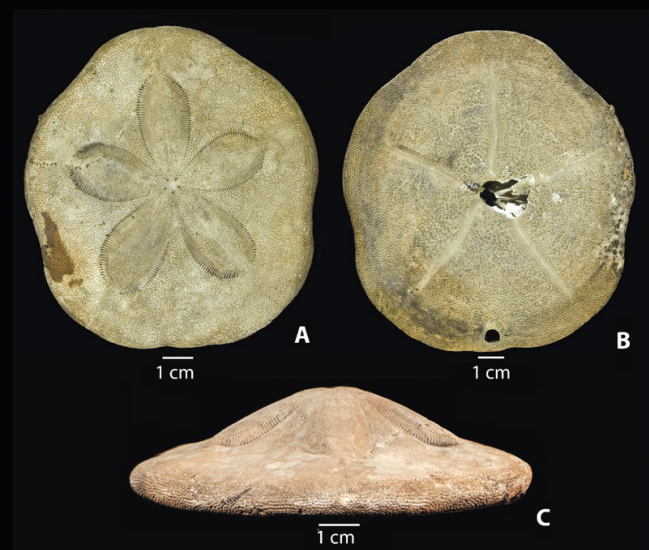


Figura 8. *Clypeaster speciosus* (espécimen arqueológico). A. Vista aboral; B. Vista oral; C. Vista lateral.

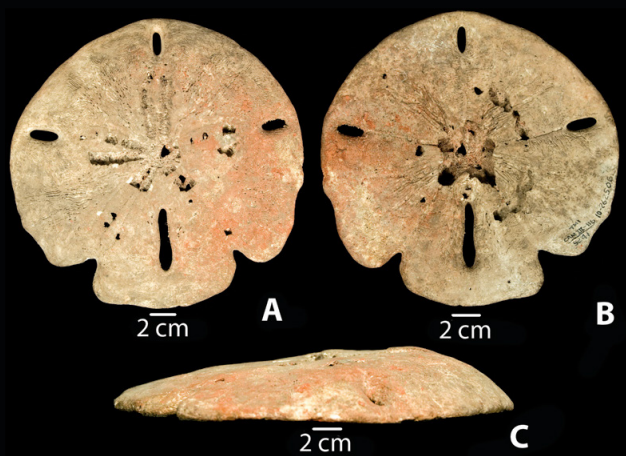


Figura 9. *Encope laevis* (especimen arqueológico). A. Vista aboral; B. Vista oral; C. Vista lateral.

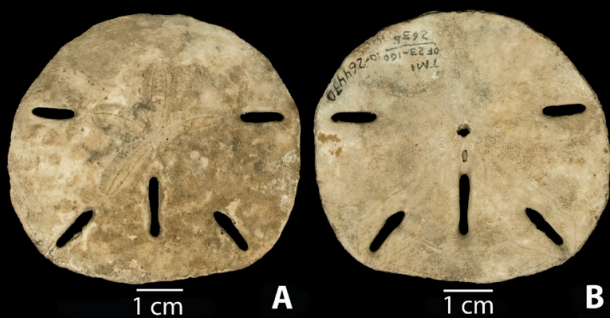


Figura 10. *Mellita quinquiesperforata* (especimen arqueológico). A. Vista aboral; B. Vista oral.

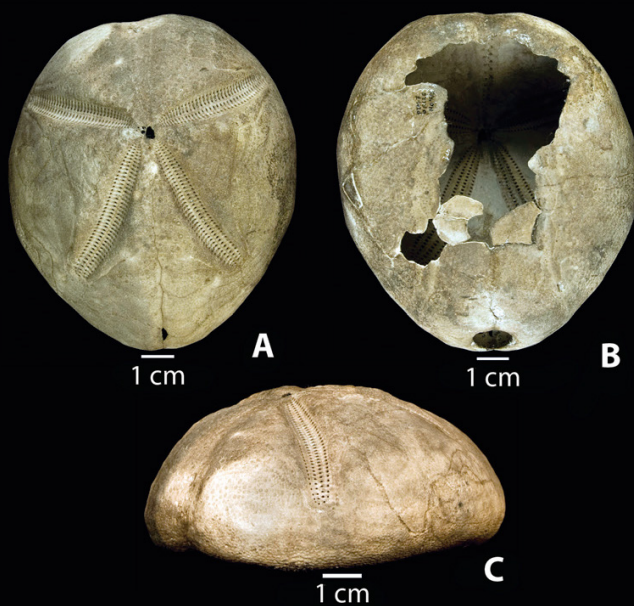


Figura 11. *Meoma ventricosa grandis* (especimen arqueológico). A. Vista aboral; B. Vista oral; C. Vista lateral.

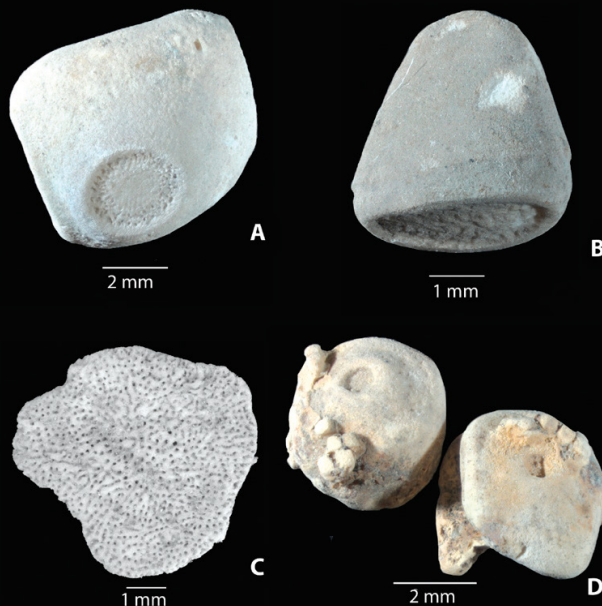


Figura 12. *Nidorellia armata* (especímenes arqueológicos). A. Placa marginal; B. Espina marginal; C. Placa madreporica; D. Placas abactinales.

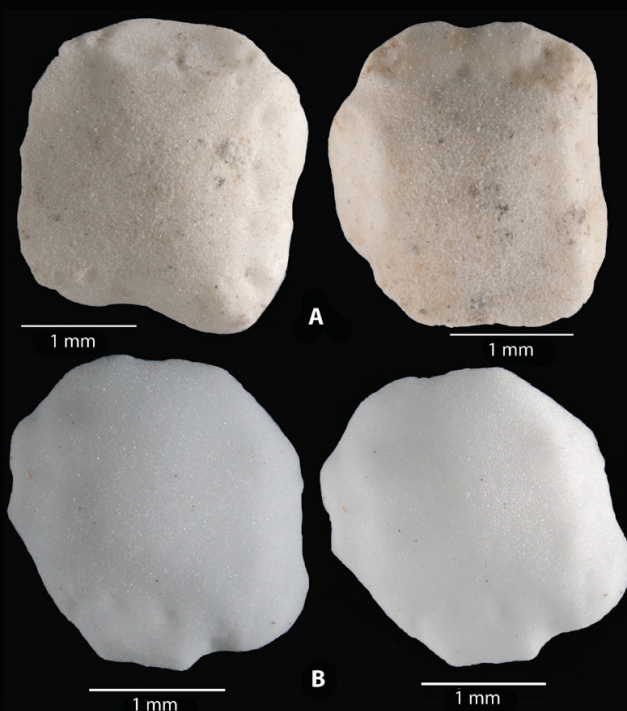
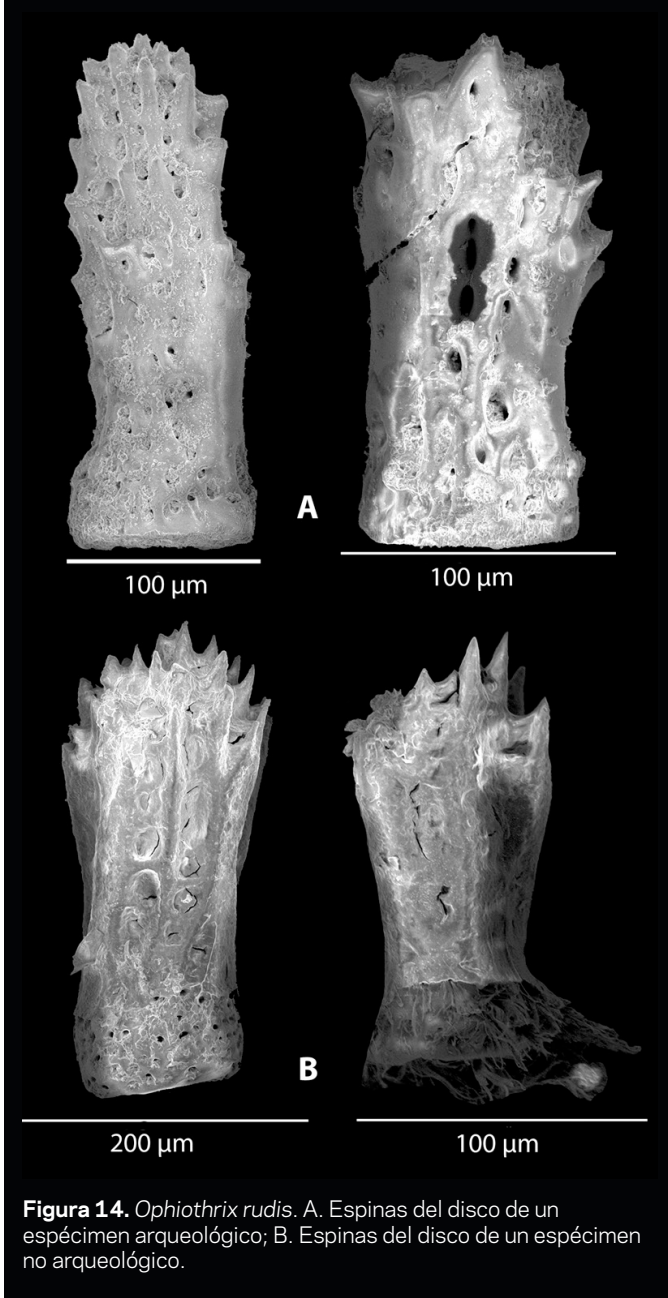


Figura 13. *Phataria unifascialis*. A. Especimen arqueológico, placas carinales; B. Especimen no arqueológico, placas carinales.



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*, *Phataria 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-Figueras, 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-Figueras. 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-Figueras, 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-Figueras. 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-Figueras, 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 Aurióles-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 Méxic.* 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-Urbe 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.

