

Taxonomía y biogeografía ecológica de los equinoideos irregulares (Echinoidea: Irregularia) de México

Alejandra Martínez-Melo^{1, 2}, Francisco Alonso Solís-Marín², Blanca Estela Buitrón-Sánchez³ & Alfredo Laguarda-Figueras²

1. Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología (PCML), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México, D. F. 04510, México; a.mtz.melo@gmail.com
2. Laboratorio de Sistemática y Ecología de Equinodermos, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML), UNAM. Apdo. Post. 70-305, México, D. F. 04510, México; fasolis@cmarl.unam.mx
3. Departamento de Paleontología, Instituto de Geología (IG), UNAM, Cd. Universitaria, Delegación Coyoacán, México, D. F. 04510, México; blancab@servidor.unam.mx

Recibido 04-VI-2014. Corregido 09-X-2014. Aceptado 04-XI-2014.

Abstract: Taxonomy and ecological biogeography of the irregular Echinoids (Echinoidea: Irregularia) from Mexico. Mexico owns 643 species of echinoderms, almost 10% of the known echinoderm species in the planet. Its geographic location -between the oceanic influences of the Western Central Atlantic and the Eastern Central Pacific- largely explains its enormous biological and ecological diversity. Research on echinoderms in Mexico began in the late nineteenth century; however, there are no reviews on its irregular echinoids. This work reviews the taxonomic and geographic information of irregular echinoids from Mexico, housed in four collections: 1) Colección Nacional de Equinodermos “Ma. Elena Caso Muñoz” from the Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); 2) Invertebrate Zoology Collection, Smithsonian Museum of Natural History, Washington, D.C., United States of America (USA); 3) Invertebrate Collection, Museum of Comparative Zoology, University of Harvard, Boston, Massachusetts, USA and 4) Invertebrate Zoology, Peabody Museum, Yale University, New Haven, Connecticut, USA. Specimens were reidentified and classified; geographic distribution data were subjected to a parsimony analysis of endemisms (PAE) using the ecological regionalization of North America proposed by Wilkinson et al. (2010). A total of six orders, 17 families, 35 genera and 68 species are reported, distributed in 34 ecoregions, 11 from the Atlantic coast and 23 from the Pacific coast. Nine biogeographic regions were delimited, four in the Atlantic coast and five in the Pacific coast. The biogeographic analysis suggests that the oceanic currents and sediments are the environmental factors that determine the distribution of irregular echinoids in the Mexican Atlantic coast; on the other hand, oceanic currents and depth are the environmental factors that determine the distribution of irregular echinoids in the Mexican Pacific coast. *Rev. Biol. Trop.* 63 (Suppl. 2): 59-75. Epub 2015 June 01.

Key words: Biodiversity, Gulf of Mexico, Mexican Tropical Pacific, Gulf of California, marine provinces.

Los estudios sobre equinodermos de México se iniciaron en 1838, cuando se hicieron breves referencias sobre especímenes recolectados en localidades próximas a las costas mexicanas. Tal es el caso de los primeros trabajos de L. Agassiz y G. Valentin, quienes registraron a la galleta de mar *Mellita hexapora* (Gmelin, 1788) (ahora *Leodia sexiesperforata*) para las costas de Veracruz. Durante el siglo XIX y XX se destacaron las recolectas de equinodermos efectuadas en el territorio mexicano

por diversas expediciones extranjeras, tales como las del HMS Challenger, USS Albatross y Allan Hancock Foundation (Velero III y IV), entre otros (Durán, Laguarda-Figueras, Solís-Marín, Buitrón-Sánchez, Gust-Ahearn & Torres-Vega, 2005).

México alberga una significativa diversidad de equinodermos y hasta el momento se han reportado 643 especies que habitan el mar territorial, que suponen aproximadamente el 10% de las especies de equinodermos

existentes en el planeta (Solís-Marín et al., 2013). Al ubicarse en una zona tropical con influencia de faunas templadas del hemisferio norte, y entre dos masas de agua como lo son Atlántico centro-occidental y el Pacífico centro-oriental, ayudan a explicar la gran diversidad biológica y ecosistémica que posee. Su extensión oceánica comprende en el Pacífico mexicano, a los golfos de California y Tehuantepec, y las islas oceánicas de Guadalupe y el Archipiélago de Revillagigedo, mientras que en el Atlántico comprende al Golfo de México y al Mar Caribe.

Solís-Marín et al. (2013) reportaron 58 especies de equinoideos irregulares, analizando la fauna de equinodermos en diferentes regiones marinas de México, y donde se propone por primera vez al Golfo de México como la cuenca con mayor diversidad de equinodermos en el país; de este número, 96 especies son asteroideos. Los equinoideos se pueden encontrar en casi todos los hábitats marinos, desde las regiones polares hasta las ecuatoriales, y desde la zona intermareal hasta profundidades mayores a los 7 000 m. Algunas especies presentan una distribución cosmopolita, pero la mayoría están restringidas geográficamente (Smith, 1984).

Las barreras geográficas y los patrones de corrientes oceánicas actúan como moduladores primarios de la distribución de los equinoideos; sin embargo, el factor principal que define la distribución local de los equinoideos irregulares es el substrato (Kier & Grant, 1965; Ebert, 1971; Smith, 1984; Jangoux & Lawrence, 1989). Hay especies de equinoideos que viven en los primeros metros de profundidad, gracias a su adaptación a zonas de alta energía, evitando así la competencia con otras especies; por otro lado, existen muchos grupos que habitan únicamente aguas profundas, principalmente urequínidos y pourtalesidos (Smith, 1984).

Diversos autores han analizado las relaciones entre equinoideos de diferentes regiones para conocer los procesos evolutivos y de dispersión (Marsh & Marshall, 1983; Ghiold & Hoffman, 1986; Thandar, 1989; Ameziane & Roux, 1997; Solís-Marín, 1998). Maluf (1988)

realizó un trabajo sobre los equinodermos de la costa americana del Pacífico, en el que mencionó que la riqueza de especies depende principalmente de la heterogeneidad del ambiente. En este sentido, la autora indicó que la costa de Baja California tiene una fauna muy distinta al resto de la costa pacífica americana y que el mayor número de endemismos aparece en Baja California y en la región de Costa Rica-Panamá. Para 1991, Maluf reportó 200 especies de equinodermos para las islas Galápagos, de las cuales 37 pertenecen a la Clase Echinoidea y al menos 30 de éstas se comparten con la biota mexicana. Al analizar todas las clases juntas, Maluf (1991) mencionó que la fauna de las islas Galápagos muestra la mayor similitud con las islas Revillagigedo y en igual medida al Pacífico Este y al Golfo de California, sin embargo, al analizar la clase Echinoidea las islas Revillagigedo presentaron mayor similitud con el Golfo de California. Para el Golfo de México y el Caribe mexicano, actualmente no existen evaluaciones biogeográficas como la anterior, con la excepción hecha por Solís-Marín (1998) en donde reportó que el género *Mellita* posee siete especies, todas restringidas al Continente Americano, cuatro de ellas habitan en la costa pacífica y dos en la costa atlántica, explicando que los intervalos de distribución de las especies de la familia Mellitidae son relativamente estáticos, de ahí que la explicación de la amplia distribución actual a través de eventos de dispersión, es poco probable.

Recientemente comenzaron una serie de estudios sobre la biogeografía de equinodermos en aguas mexicanas entre los que podemos citar el de Caballero-Ochoa (2011), quien realizó un análisis biogeográfico de la clase Holothuroidea en el Pacífico mexicano, encontrando que la provincia Cortés es la más biodiversa. Ese trabajo menciona que la provincia Panámica en México y hasta Costa Rica es, tal vez, un área transicional que no se ha nombrado desde el punto de vista biogeográfico.

Martín (2012) analizó la biogeografía de la clase Asteroidea en la costa del Atlántico en México y utiliza como unidades geográficas operativas las propuestas por Wilkinson et al.

(2010). El cladograma obtenido del análisis de parsimonia de endemismos reconoce tres principales grupos (Mar Caribe, Zona nerítica de Veracruz y la Zona nerítica exterior de Campeche y Yucatán), además de encontrar OGU's 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 conocer la biogeografía de la clase Ophiuroidea en la costa del Pacífico Mexicano utilizando OGU's de 1° de latitud, delimitando así seis regiones, mencionando que existe una continuidad dentro de ellas debido quizás al flujo de la corriente de California, la corriente ecuatorial del norte, la contracorriente ecuatorial y la corriente costera de Costa Rica.

El presente trabajo actualiza la lista de los equinoideos irregulares recientes reportados para México en diversas colecciones nacionales e internacionales y reidentifica los ejemplares reportados para corroborar su identidad taxonómica.

Por otro lado, con la información taxonómica actualizada y las coordenadas de recolecta de las especies de equinoideos irregulares de México, se realizó un análisis PAE para generar una hipótesis comprobable de relación de áreas de endemismo de equinoideos irregulares y así describir la distribución de los equinoideos irregulares recientes de México con base en los factores ecológicos de los mares mexicanos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Revisión taxonómica: Se localizaron los registros de la Cohorte Irregularia Latreille, 1825 (*sensu* Smith, 1984) albergados en: 1) Colección Nacional de Equinodermos "Ma. Elena Caso Muñoz" del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML), de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); 2) Invertebrate Zoology Collection, Smithsonian Museum of Natural History, Washington, D.C., Estados Unidos de América (EUA); 3) Invertebrate Collection, Museum of Comparative Zoology, University of Harvard, Boston,

Massachusetts, EUA y 4) Invertebrate Zoology, Peabody Museum, Yale University, New Haven, Connecticut, EUA. Dichos ejemplares se reidentificaron y clasificaron bajo el criterio de Kroh y Smith (2010). Estas especies se ubicaron dentro de las regiones que se obtuvieron del análisis biogeográfico de este trabajo (Fig. 6, A-I) y se integraron en el listado.

Análisis biogeográfico: Se construyeron dos matrices de datos, una para la costa Atlántica y otra para la costa del Pacífico, ya que no comparten especies entre sí. Las especies se colocan en las columnas y las regiones en los renglones; la entrada es "1" si la especie está presente en dicha región o "0" si está ausente (matriz presencia / ausencia); se emplea un área hipotética codificada con ceros para determinar la raíz del cladograma (ROOT). Estas matrices se sometieron a un Análisis de Parsimonia de Endemismos (PAE) en el programa WinClada con NONA por búsqueda Heurística múltiple TBR + TBR (milt * max *).

Las especies integradas en las matrices fueron las resultantes de la revisión taxonómica. Se delimitaron las Unidades Geográficas Operativas (OGU's por las siglas de Operative Geographic Units) con base en la clasificación de unidades geográficas de la Cooperación Ambiental (Wilkinson et al., 2010) debido a que esta regionalización fue propuesta en tres niveles: I) grandes masas y corrientes de agua, grandes mares encerrados y regiones donde la temperatura de la superficie del mar o de la capa de hielo es similar, II) la división entre la zona nerítica y la oceánica, determinada por una fisiografía a mayor escala (plataforma continental, talud y planicie abisal, así como las grandes fosas o trincheras, cordilleras submarinas y estrechos) y III) las diferencias al interior de la zona nerítica, basadas en variables más significativas a escala local, como las características de la masa de agua, formación del fondo marino a relieve regional y tipo de comunidades biológicas (Wilkinson et al., 2010) (Fig. 1 y 2). Esta regionalización, a diferencia de otras propuestas, considera aspectos ambientales a nivel local que definen

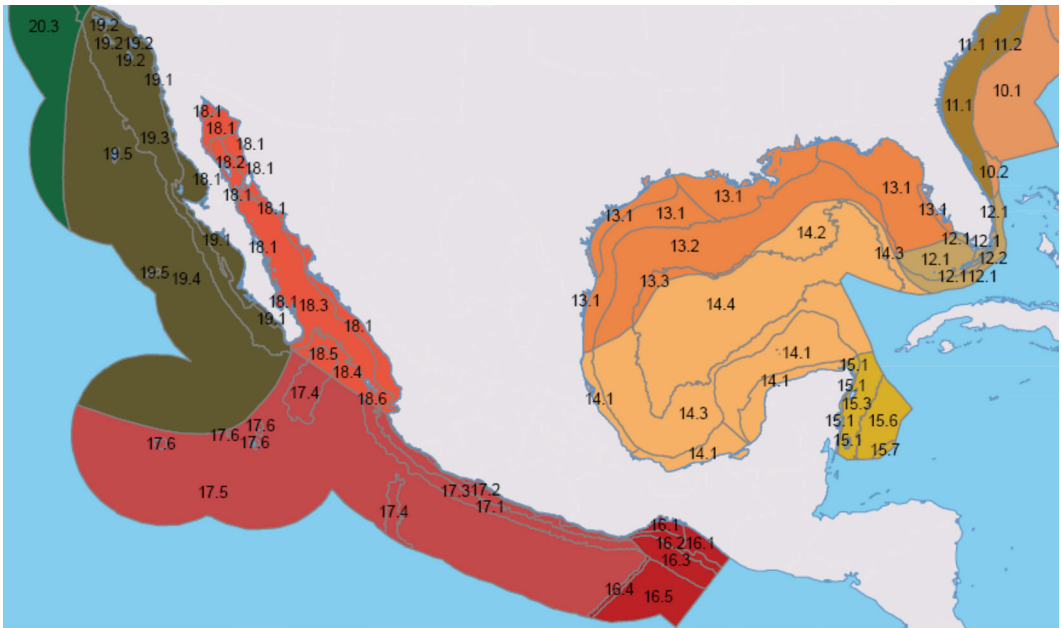


Fig. 1. Regionalización de aguas a los niveles I y II (Wilkinson, 2010).
Fig. 1. Regionalization of waters at levels I and II (Wilkinson, 2010).

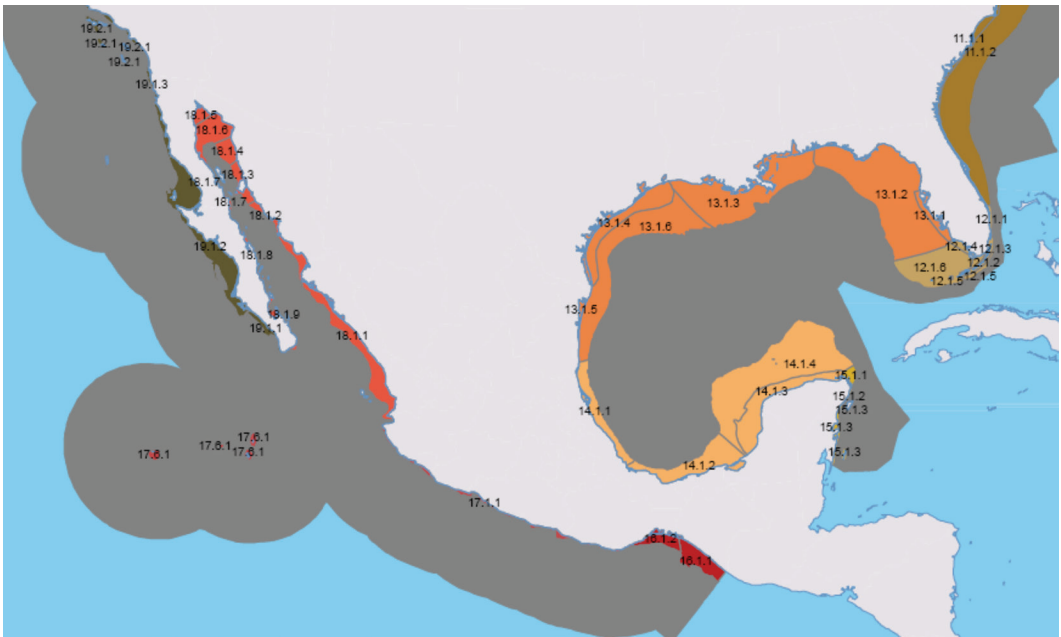


Fig. 2. Regionalización de aguas al nivel III (Wilkinson, 2010).
Fig. 2. Regionalization of water to level III (Wilkinson, 2010).

la distribución de los equinoideos irregulares, por lo que se concluyó que esta regionalización nos brindaría un análisis más detallado.

Las OGU's en las que se registraron equinoideos irregulares se ingresaron con la misma numeración y nombres con los que fueron publicadas:

- 13.1.5 Zona estuarina Laguna Madre.
- 14.1.1 Zona nerítica de Veracruz.
- 14.1.2 Zona nerítica de Tabasco.
- 14.1.3 Zona nerítica interior de Campeche y Yucatán.
- 14.1.4 Zona nerítica exterior de Campeche y Yucatán.
- 14.3 Talud del sur del Golfo de México.
- 14.4 Cuenca del Golfo de México.
- 15.1 Plataforma del Caribe mesoamericano.
- 15.1.1 Zona nerítica de Contoia.
- 15.1.2 Zona nerítica de Cancún.
- 15.1.3 Zona nerítica de Sian Ka'an.
- 15.3 Talud del Caribe mesoamericano.
- 16.1.1 Zona nerítica de Tehuantepec y Chiapas.
- 16.1.2 Zona nerítica de Tehuantepec y Oaxaca.
- 17.1.1 Zona nerítica del Pacífico transicional mexicano.
- 17.2 Talud del Pacífico transicional mexicano.
- 17.5 Planicies y montañas marinas del Pacífico transicional mexicano.
- 17.6.1 Zona nerítica de Revillagigedo.
- 18.1.1 Zona nerítica del mar de Cortés oriental.
- 18.1.2 Zona nerítica de Guaymas.
- 18.1.3 Zona nerítica de Tiburón.
- 18.1.4 Zona nerítica de Lobo.
- 18.1.5 Zona nerítica interior del Alto Golfo.
- 18.1.6 Zona nerítica exterior del Alto Golfo.
- 18.1.7 Zona nerítica de Baja California Norte.
- 18.1.8 Zona nerítica de Baja California Sur.
- 18.1.9 Zona nerítica de Los Cabos en el mar de Cortés.
- 18.2 Estrechos de las grandes islas del Golfo de California.
- 18.3 Talud y depresiones del Golfo de California.
- 18.6 Trinchera mesoamericana.
- 19.1.1 Zona nerítica de Los Cabos en el Pacífico.
- 19.1.2 Zona nerítica de El Vizcaíno.
- 19.1.3 Zona nerítica de Ensenada.
- 19.3 Margen continental de Baja California.
- 19.4 Planicies y montañas marinas del Pacífico sudcaliforniano

Ambas matrices, de la costa Atlántica y de la costa Pacífica (Cuadros 1 y 2), se sometieron a un análisis de parsimonia de endemismos (PAE) en el programa WinClada (Nixon, 1999) con NONA (Goloboff, 1999) por búsqueda heurística múltiple TBR + TBR (milt * max *). Se usó NONA porque es un software libre y

descargable, muy rápido que facilita la comparación de los análisis.

Al terminar la construcción de las matrices de datos, el análisis de la costa Atlántica incluyó 11 regiones y 29 especies, mientras que el de costa Pacífica incluyó 23 regiones y 39 especies.

CUADRO 1

Matriz de presencia/ausencia de especies por OGU utilizadas en el análisis PAE de la región del Atlántico Mexicano

TABLE 1
Matrix of presence/absence of species by OGU used in the region of the Atlantic Mexican PAE analysis

	13.1.5	14.1.1	14.1.2	14.1.3	14.1.4	14.3	14.4	15.1.1	15.1.2	15.1.3	15.3
<i>Echinoneus cyclostomus</i>								*	*	*	*
<i>Cassidulus caribaeorum</i>									*		*
<i>Conolampas sigsbei</i>					*						*
<i>Echinolampas depressa</i>					*						*
<i>Clypeaster chesheri</i>				*	*						
<i>Clypeaster prostratus</i>					*						
<i>Clypeaster ravene/ii</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
<i>Clypeaster rosaceus</i>				*	*				*		
<i>Clypeaster subdepressus</i>				*	*			*	*		
<i>Echinocyamus grandiporus</i>					*			*	*	*	
<i>Echinocyamus macrostomus</i>									*	*	*
<i>Encope aberrans</i>				*	*	*		*			
<i>Encope grandis</i>											
<i>Encope michelini</i>		*	*	*	*			*			
<i>Leodia sexiesperforata</i>								*	*	*	
<i>Mellita quinquiesperforata</i>	*	*	*			*					
<i>Aceste bellidifera</i>			*								
<i>Hypseleraster limicolus</i>		*	*		*						
<i>Moira atropos</i>		*	*								
<i>Schizaster floridiensis</i>									*		
<i>Agassizia excentrica</i>										*	
<i>Paleopneustes tholoformis</i>											*
<i>Palaeobrissus hilgardi</i>											*
<i>Brissopsis alta</i>	*	*	*			*					
<i>Brissopsis atlantica</i>	*	*	*		*	*					*
<i>Brissus unicolor</i>		*			*				*	*	
<i>Meoma venlicosa ventricosa</i>			*		*				*	*	
<i>Neopneustes micrasteroides</i>											*
<i>Plagiobrissus grand is</i>			*		*			*	*		
<i>Rhynobrissus cuneus</i>			*								
<i>Plethotaenia angularis</i>											*
<i>Plethotaenia spatangoides</i>			*		*						*
<i>Homo/ampasfragilis</i>										*	

Debido a que la distribución de los equinoideos irregulares se define principalmente por factores oceanográficos, este análisis permite conocer qué factores ecológicos son los que determinan mejor dicha distribución.

RESULTADOS

Taxonomía. Se revisaron 9897 ejemplares pertenecientes a 68 especies, 35 géneros,

17 familias y seis órdenes de equinoideos irregulares recolectados en aguas mexicanas (Cuadro 3); los órdenes más diversos fueron Spatangoida (31 especies), Clypeasteroida (26 especies) y Holasteroida (6 especies). De las 68 especies reportadas, 37 se distribuyen en el Océano Pacífico y 31 en el Océano Atlántico (Tabla 3), ninguna de ellas se encontró en ambas costas.

A continuación se presenta el listado de especies, con letra se muestran las regiones



CUADRO 2
Matriz de datos de presencia/ausencia para el análisis PAE de la región del Pacífico Mexicano

TABLE 2
Data matrix of presence/absence for PAE analysis of the Mexican Pacific region

	16.1.1	16.1.2	17.1.1	17.2	17.5	17.6.1	18.1.1	18.1.2	18.1.3	18.1.4	18.1.5	18.1.6	18.1.7	18.1.8	18.1.9	18.2	18.3	18.6	19.1.1	19.1.2	19.1.3	19.3	19.4	
<i>Rhyncholampas pacificus</i>			*			*																		
<i>Clypeaster europacificus</i>						*										*					*			
<i>Clypeaster ochrus</i>			*			*		*	*	*	*	*	*	*	*									
<i>Clypeaster rotundus</i>	*		*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*			
<i>Clypeaster speciosus</i>						*					*	*	*	*	*						*			
<i>Dendraster excentricus</i>						*								*							*			
<i>Dendraster terminalis</i>														*							*			
<i>Dendraster vixcainoensis</i>																					*			
<i>Encope micropora</i>	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Encope perspectiva</i>			*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Encope wetmorei</i>			*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Mellita grantii</i>						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Mellita kanakoffi</i>						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Mellita longissima</i>	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Mellita notabilis</i>	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Cystechinus gigameus</i>				*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Cystechinus loveni</i>				*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Urechinus reticulatus</i>						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Plexechinus cinctus</i>						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Cystoerepis setigera</i>					*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Pourtalesia tanneri</i>						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Brisaster latifrons</i>						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Brisaster townsendi</i>						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Moira clotho</i>						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Agassizia scrobiculata</i>			*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Brisopsis columbaris</i>						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Brisopsis pacifica</i>						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Brisus latecarinatus</i>						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Brisus obesus</i>						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Meomia ventricosa grandis</i>			*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Metalia nobilis</i>						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Metalia spatagus</i>						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Plagiobrisus pacificus</i>						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Spatangus californicus</i>						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Lovenia cordiformis</i>						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

CUADRO 3

Diversidad de familias, géneros y especies de los seis órdenes de equinoideos irregulares reportados para México

TABLE 3

Diversity of families, genera and species of the six orders of irregular Echinoids reported for Mexico

Órdenes	Familias	Géneros	Especies	Ejemplares
Echinoneoidea	1	1	1	41
Cassiduloidea	1	2	2	1384
Echinolampadoidea	1	2	2	48
Clypeasteroidea	4	6	26	5570
Holasteroidea	3	5	6	36
Spatangoida	7	19	31	2818
	17	35	68	9897

biogeográficas en las que se reportan (Fig. 6, A-I) y con superíndices se mencionan las colecciones donde se encontraron ejemplares de dicha especie.

Orden Echinoneoidea H. L. Clark, 1925

Familia Echinoneidae L. Agassiz & Desor, 1847

Echinoneus cyclostomus Leske, 1778; B, D ^{1, 2, 3}.

Orden Cassiduloidea Claus, 1880

Familia Cassidulidae L. Agassiz & Desor, 1847

Cassidulus caribaeorum Lamarck, 1801; D ¹.

Rhyncholampas pacificus (A. Agassiz, 1863); G, H ^{1, 2, 3, 4}.

Orden Echinolampadoidea Kroh & Smith, 2010

Familia Echinolampadidae Gray, 1851

Conolampas sigsbei (A. Agassiz, 1878); B, D ^{1, 2, 3}.

Echinolampas depressa Gray, 1851; B, D ^{1, 2, 3}.

Orden Clypeasteroidea L. Agassiz, 1835

Familia Clypeasteridae L. Agassiz, 1835

Clypeaster chesheri Serafy, 1970; B ¹.

Clypeaster europacificus H. L. Clark, 1914; E, G, H ^{1, 2, 3}.

Clypeaster ochrus H. L. Clark, 1914; E, G, H ^{1, 2, 3}.

Clypeaster prostratus (Ravenel, 1845); B ¹.

Clypeaster ravenelii (A. Agassiz, 1869); A, B, C, D ^{1, 2, 3}.

Clypeaster rosaceus (Linnaeus, 1758); B, D ^{1, 2}.

Clypeaster rotundus (A. Agassiz, 1863); E, G, I ^{1, 2, 3}.

Clypeaster speciosus Verrill, 1870; E, H ^{1, 2, 3, 4}.

Clypeaster subdepressus (Gray, 1825); B, D ^{1, 2}.

Familia Fibulariidae Gray, 1855

Echinocyamus grandiporus Mortensen, 1907; B, D ².

Echinocyamus macrostomus Mortensen, 1907; D ².

Familia Dendrasteridae Lambert, 1900

Dendraster excentricus (Eschscholtz, 1829); E, G ^{1, 2, 3}.

Dendraster terminalis (Grant & Hertlein, 1938); E ³.

Dendraster vizcainoensis Grant & Hertlein, 1938; G ^{1, 2}.

Familia Mellitidae Stephanini, 1912

Encope aberrans Martens, 1867; A, B¹.

Encope grandis L. Agassiz, 1841; E, H^{1, 2, 3, 4}.

Encope michelini L. Agassiz, 1841; A, B^{1, 2, 3}.

Encope micropora L. Agassiz, 1841; E, G, H^{1, 2, 3, 4}.

Encope perspectiva L. Agassiz, 1841; E, G, H^{1, 2, 3}.

Encope wetmorei A. H. Clark, 1946; E, G^{1, 2, 3}.

Leodia sexiesperforata (Leske, 1778); B, D¹.

Mellita grantii Mortensen, 1948; G, J^{1, 2}.

Mellita kanakoffi Durham, 1961; G¹.

Mellita longifissa Michelin, 1858; G, I^{1, 2, 3}.

Mellita notabilis H. L. Clark, 1947; I^{1, 2}.

Mellita quinquiesperforata (Leske, 1778); B^{1, 2}.

Orden Holasteroidea Durham & Melville, 1957

Familia Urechinidae Duncan, 1889

Cystechinus giganteus A. Agassiz, 1898; I^{2, 3}.

Cystechinus loveni (A. Agassiz, 1898); F^{2, 3}.

Urechinus reticulatus H. L. Clark, 1913; F².

Familia Plexechinidae Mooi & David, 1996

Plexechinus cinctus A. Agassiz, 1898; I³.

Familia Pourtalesiidae A. Agassiz, 1881

Cystocrepis setigera (A. Agassiz, 1898); F, G^{2, 3}.

Pourtalesia tanneri A. Agassiz, 1898; I^{2, 3}.

Orden Spatangoida L. Agassiz, 1840

Familia Schizasteridae Lambert, 1905

Aceste bellidifera Thomson, 1877; A¹.

Brisaster latifrons (A. Agassiz, 1898); H, I^{2, 3}.

Brisaster townsendi (A. Agassiz, 1898); I^{1, 2, 3}.

Hypselaster limicolus (A. Agassiz, 1878); A, B^{1, 2}.

Moira atropos (Lamarck, 1816); A¹.

Moira clotho (Michelin, 1855); E^{1, 2, 3}.

Schizaster floridiensis Kier & Grant, 1965; D¹.

Familia Prenasteridae Lambert, 1905

Agassizia excentrica A. Agassiz, 1869; D².

Agassizia scrobiculata Valenciennes, 1846; E, F, G, I^{1, 2, 3}.

Familia Paleopneustidae A. Agassiz, 1904

Paleopneustes tholoformis Chesher, 1968; D².

Familia Palaeotropidae Lambert, 1896

Palaeobrissus hilgardi A. Agassiz, 1883; D².

Familia Brissidae Gray, 1855

Brissopsis alta Mortensen, 1907; A^{1, 2}.

Brissopsis atlantica Mortensen, 1907; A, B, D^{1, 2}.

Brissopsis columbaris A. Agassiz, 1898; E, I^{1, 2}.

Brissopsis pacifica (A. Agassiz, 1898); E, F, G^{1, 2, 3}.

Brissus latecarinatus (Leske, 1778); E³.

Brissus obesus Verrill, 1867; E, G^{1, 2, 3, 4}.

Brissus unicolor (Leske, 1778); A, B, D^{1, 2}.

Meoma ventricosa grandis Gray, 1851; E, F, H, I^{1, 2, 3}.

Meoma ventricosa ventricosa (Lamarck, 1816); A, B, D^{1,2}.

Metalia nobilis Verrill, 1867; E¹.

Metalia spatagus (Linnaeus, 1758); E^{2,3}.

Neopneustes micrasteroides (Duncan, 1889); D².

Plagiobrissus grandis (Gmelin, 1788); A, B, D^{1,2}.

Plagiobrissus pacificus H. L. Clark, 1940; E¹.

Rhynobrissus cuneus Cooke, 1957; A¹.

Familia Spatangidae Gray, 1825

Plethotaenia angularis Chesher, 1968; D².

Plethotaenia spatangoides (A. Agassiz, 1883); A, B, D^{1,2}.

Spatangus californicus H. L. Clark, 1917; F^{1,2}.

Familia Loveniidae Lambert, 1905

Homolampas fragilis (A. Agassiz, 1869); D².

Lovenia cordiformis A. Agassiz, 1872; E, F, G, H^{1,2,3}.

Biogeografía. Las OGU's con mayor riqueza específica fueron la 14.1.4.-Zona nerítica exterior de Campeche y Yucatán en el Atlántico (S = 16), 18.1.1.-Zona nerítica del mar de Cortés oriental (S = 15) y 18.1.9.-Zona nerítica de Los Cabos en el mar de Cortés en el Pacífico (S = 15); las menos ricas fueron la 14.4.-Cuenca del Golfo de México en el Atlántico (S = 1) y 19.4.-Planicies y montañas marinas del Pacífico sudcaliforniano (S = 1) (Fig. 3).

El PAE de la costa Atlántica resultó en un cladograma (Fig. 4) en el que se pueden distinguir cuatro biorregiones (Fig. 6). El PAE de la costa Pacífica obtuvo 10 cladogramas

igual de parsimoniosos, con los cuales se construyó un cladograma consenso por *Majority Fools* (Figs. 5 y 6), en el que se distinguen cinco biorregiones:

Costa Occidental del Golfo de México (de Tamaulipas a Tabasco) [14.1.1, 14.1.2, 13.1.5, 14.3]: La costa sur del golfo tiene una plataforma compuesta de un sustrato calcáreo somero, es considerablemente estrecha hacia la parte occidental (Solís et al., 2013). El fondo del Golfo Sur está formado por una mezcla de arenas calcáreas, limo y arcilla, principalmente (Pica, Ponce y Barrón, 1991; Wilkinson et al., 2010). En esta región habitan clypeasteroides

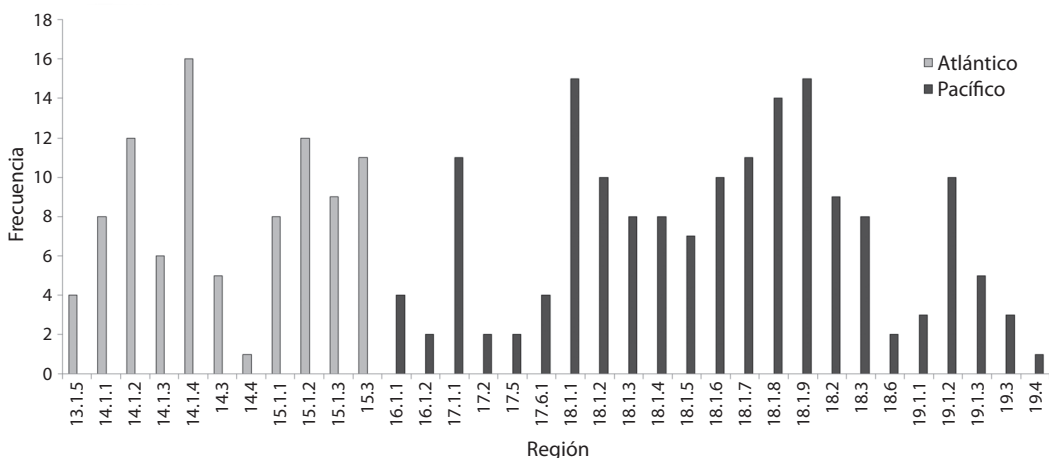


Fig. 3. Riqueza específica de las OGU's incluidas en el PAE.

Fig. 3. Specific richness of OGU's included in the PAE.

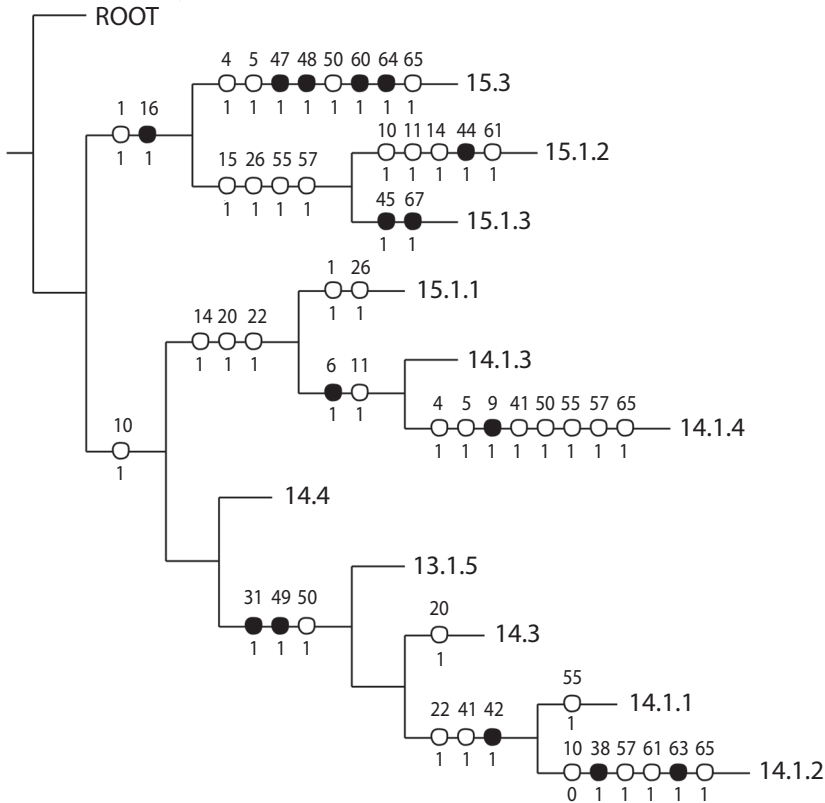
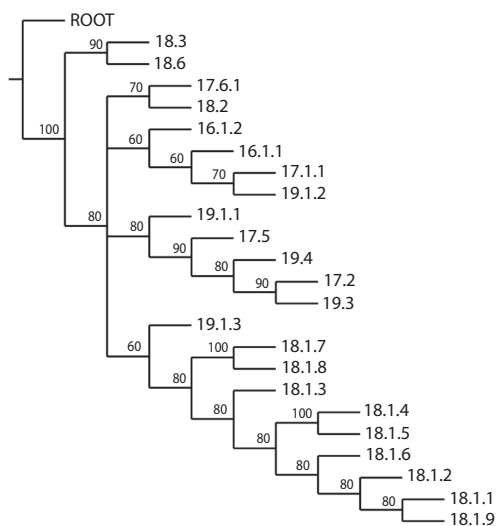


Fig. 4. Cladograma de las regiones marinas de la costa Atlántica de México (L = 57, Ci = 0.56 y Ri = 0.33). = no-homoplasias (sinapomorfias o autapomorfias), = homoplasias (convergencia o paralelismo). Los números sobre los puntos indican el número de carácter (especie) y los números debajo de los círculos indican el estado de carácter (0 ausencia ó 1 presencia).
Fig. 4. Cladogram of the marine regions of Mexico Atlantic coast (L = 57, Ci = 0.56 and Ri = 0.33). = non-homoplasies (synapomorphies or autapomorphias), = homoplasies (convergence or parallelism). Numbers on the points indicate the number of character (species) and the numbers below the circles indicate the status of character (0 presence or 1 absence).



(*Clypeaster*, *Encope* y *Mellita*) y spatangoides (Schizasteridae, Brissidae y Spatangidae).

Plataforma del Sur del Golfo de México [14.1.3, 14.1.4, 15.1.1]: se delimita principalmente por la corriente del Lazo y se diferencia por los aportes de agua y materiales terrígenos de los ríos que desembocan en el Golfo de México (Wilkinson et al., 2010). En esta región se reporta a *Echinoneus cyclostomus*, *Conolampas sigsbei*, *Echinolampas sigsbei*, clypeasteroides de los géneros *Clypeaster*,

Fig. 5. Cladograma consenso de las regiones marinas de la costa Pacífica de México (L = 81, Ci = 0.44 y Ri = 0.63).
Fig. 5. Cladogram consensus of the marine regions of the Pacific coast of Mexico (L = 81, Ci = 0.44 y Ri = 0.63).

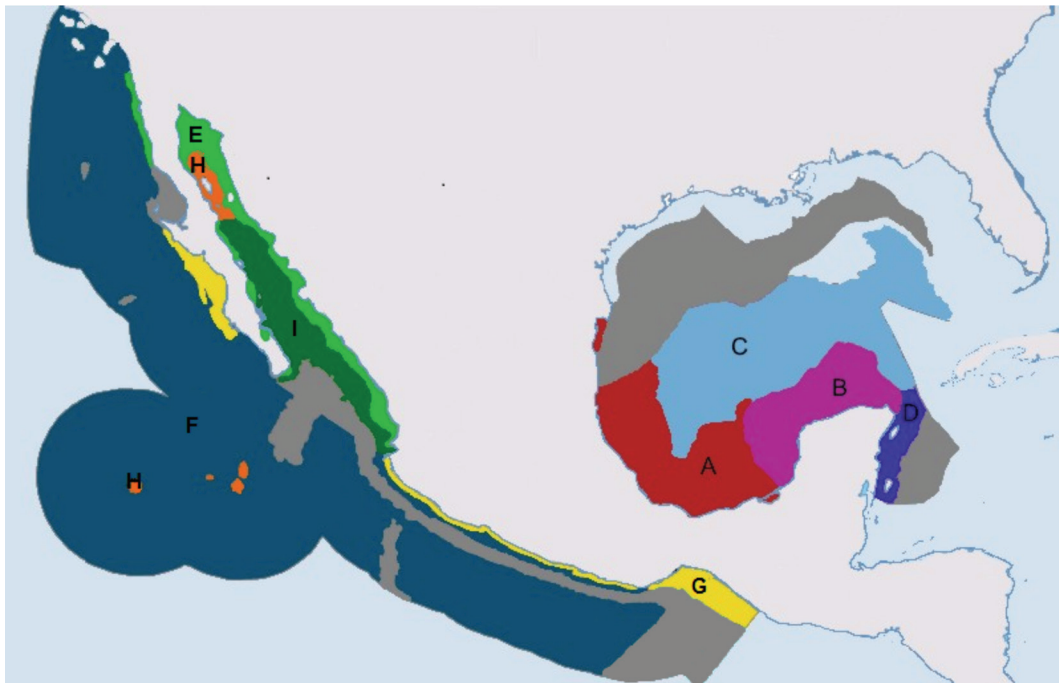


Fig. 6. Asociación principal obtenida en el Análisis de Parsimonia de Endemismos para los mares mexicanos. A: Costa Occidental del Golfo de México (de Tamaulipas a Tabasco); B: Plataforma del Sur del Golfo de México; C: Cuenca del Golfo de México; D: Zona nerítica y talud del Caribe mesoamericano; E: Zona nerítica del mar de Cortés; F: Talud del Pacífico transicional mexicano; G: Plataforma del Pacífico transicional mexicano; H: Islas Revillagigedo y del mar Cortés; I: Trincherá Mesoamericana. Las regiones en gris son las que no registraron ninguna especie.

Fig. 6. Principal Association obtained from parsimony analysis of endemic Mexican seas. A: West coast of the Gulf of Mexico (from Tamaulipas to Tabasco); B: platform South of the Gulf of Mexico; C: basin of the Gulf of Mexico; D: neritic zone and slope of the Mesoamerican Caribbean; E: neritic zone of the sea of Cortés; F: The transitional Mexican Pacific slope; H: islands Revillagigedo and the sea of Cortés; I: Mesoamerican trench. Gray regions are those not recorded any kind.

Echinocyamus, *Encope* y *Leodia*, y spatangoides de los géneros *Hypselaster*, *Brissopsis*, *Brissus*, *Meoma*, *Plagiobrissus* y *Plethotaenia*.

Cuenca del Golfo de México [14.4]: se define principalmente por el tipo de sedimento y la profundidad de la planicie abisal de Sigsbee (aproximadamente 3600 m) (Pica, Ponce & Barrón, 1991); solo registra la especie *Clypeaster ravenelii*.

Zona nerítica y talud del Caribe mesoamericano [15.1.2, 15.1.3, 15.3]: es un mar tropical pobre en nutrientes, situado principalmente sobre sedimentos mixtos, con componentes terrígenos. El flujo principal de la corriente del Caribe pasa alrededor de la parte sur de la ecorregión hacia el canal de Yucatán, a través

del cual entra al Golfo de México (Pica, Ponce & Barrón, 1991). En esta región se encuentran los géneros *Echinoneus*, *Cassidulus*, *Conolampas*, *Echinolampas*, clypeasteroides de los géneros *Clypeaster*, *Echinocyamus* y *Leodia*, y spatangoides de las familias Schizasteridae, Prenasteridae, Paleopneustidae, Palaeotropidae, Brissidae, y Spatangidae.

Zona nerítica del mar de Cortés [18.1.1, 18.1.2, 18.1.3, 18.1.4, 18.1.5, 18.1.6, 18.1.7, 18.1.8, 18.1.9, 19.1.3]: se ubica dentro del Golfo de California, que es un mar largo estrecho, parcialmente cerrado y que se extiende a lo largo de más de 9° de latitud. Sus costas varían desde limosas hasta arenosas y rocosas, en su mayor parte con arenas de

tamaño mediano (Zárate, 1991). En esta región se registran clypeasteroides de los géneros *Clypeaster*, *Dendraster*, *Encope* y *Mellita*, además de spatangoides de los géneros *Moira*, *Agassizia*, *Brissopsis*, *Brissus*, *Meoma*, *Metalia*, *Plagiobrissus* y *Lovenia*.

Talud del Pacífico transicional mexicano [17.2, 17.5, 19.1.1, 19.3, 19.4]: es una región de productividad elevada, con aguas cálidas y una fauna marina distinta a la que sostienen las corrientes de California y Humboldt. La trinchera mesoamericana tiene una profundidad de entre 4 000 y 5 000 m. La planicie abisal tiene una profundidad de 3 500 a 4 000 m; está marcada por numerosos montes submarinos y por varias fracturas. Esta región comprende un sistema de dorsales en el que están creando nuevo suelo marino (Flamand, 1991; Pacheco, 1991a; Torres, 1991; Zárate, 1991; Wilkinson et al., 2010). Esta región cuenta con registros del Orden Holasteroidea (géneros *Cystechinus* y *Urechinus*) y del Orden Spatangoida (*Agassizia*, *Brissopsis*, *Spatangus* y *Lovenia*).

Plataforma del Pacífico transicional mexicano [16.1.1, 16.1.2, 17.1.1, 19.1.2]: incluye la parte mexicana del Pacífico centroamericano y recibe influencia de la corriente de Costa Rica. Se trata de una región de productividad superficial elevada que experimenta una alta variabilidad estacional debido a los afloramientos y que está fuertemente influenciada por la descarga de agua dulce proveniente de lagunas costeras y de sistemas fluviales presentes en las zonas costeras de Chiapas, así como por los vientos provenientes del Golfo de México (Flamand, 1991; Pacheco, 1991a; Pacheco, 1991b; Wilkinson et al., 2010). Cuenta con registros del género cassiduloide *Rhyncholampas*, de clypeasteroides de los géneros *Clypeaster*, *Dendraster*, *Encope* y *Mellita*, el género holasteroide *Cystocrepis*, y los géneros spatangoides *Agassizia*, *Brissopsis*, *Brissus* y *Lovenia*.

Islas Revillagigedo y del mar de Cortés [17.6.1, 18.2]: comprende aguas someras afectadas estacionalmente por la influencia del extremo sur de la corriente de California, que lo transforma estacionalmente en mar subtropical y la corriente costera de Costa Rica, que fluye

a lo largo de la costa de América Central y del territorio continental mexicano para encontrarse con la corriente de California en la porción más septentrional de la ecorregión (Pacheco, 1991a; Torres, 1991). En esta región se ubica un sistema de dorsales (fosas *rift*) que están creando nuevo suelo marino, como en el archipiélago de Revillagigedo (Flamand, 1991; Wilkinson et al., 2010). En esta zona se registran el género de cassiduloide *Rhyncholampas*, los géneros de clypeasteroides *Clypeaster*, *Encope* y *Mellita* y los géneros de spatangoides *Brisaster*, *Meoma* y *Lovenia*.

Trinchera Mesoamericana [18.3, 18.6]: se encuentra en la boca del Golfo de California. Esta región se caracteriza por sus cuencas profundas de más de 3000m, por una elevada productividad y por una estructura termohalina muy complicada caracterizada por frentes, remolinos e intrusiones que pueden estar vinculados a la confluencia de tres corrientes distintas. (Cid de León, 1991; Tovilla, 1991; Wilkinson et al., 2010). En ella podemos encontrar a *Clypeaster rotundus*, los géneros de holasteroides *Cystechinus*, *Plexechinus* y *Pourtalesia*, así como a los géneros de spatangoides *Brisaster*, *Agassizia*, *Brissopsis* y *Meoma*.

De las regiones biogeográficas obtenidas, la de mayor riqueza específica es la E) Zona nerítica del mar de Cortés (S = 24) y la de menor riqueza específica es la C) Cuenca del Golfo de México (S = 1) (Fig. 7).

DISCUSIÓN

La revisión de los ejemplares en colecciones biológicas fue fundamental, ya que se llevó a cabo la reidentificación de 1 356 ejemplares de la Colección Nacional de Equinodermos (ICML-UNAM) catalogados como *Clypeaster europacificus* y reidentificados como *C. rotundus*; aunque tienen diferencias conspicuas (posición del ano y redondez de la testa).

En el NMNH, Smithsonian, tienen registros de *Echinocyamus macrostomus* y *E. grandiporus* para México. La mejor manera de distinguir estas especies es revisando el tamaño relativo de los poros oculares y genitales. *E.*

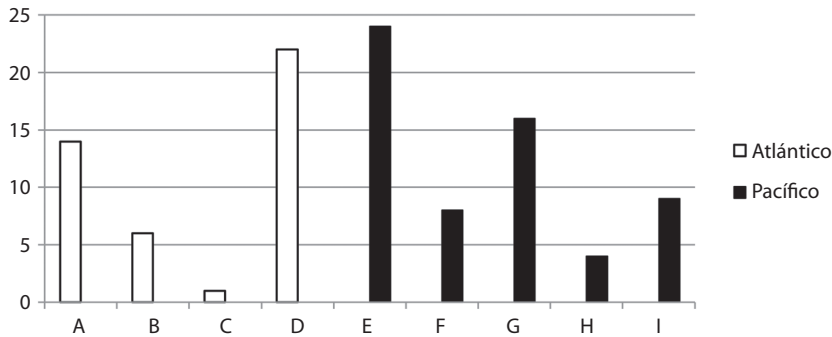


Fig. 7. Riqueza específica de las regiones biogeográficas obtenidas del PAE. A, S = 14; B, S = 6; C, S = 22; D, S = 22; E, S = 24; F, S = 8; G, S = 16; H, S = 4; I, S = 9.

Fig. 7. Specific richness of the biogeographical regions obtained from the PAE. A, S = 14; B, S = 6; C, S = 22; D, S = 22; E, S = 24; F, S = 8; G, S = 16; H, S = 4; I, S = 9.

grandiporus tiene poros oculares tan largos como los genitales, apreciándose un anillo de nueve poros de igual tamaño, mientras que *E. macrostomus* tiene poros oculares mucho más pequeños que los genitales. Es esencial reconocer esta diferencia, ya que ambas especies habitan la misma región geográfica y pueden confundirse.

Existen tres especies del género *Dendraster*: *D. excentricus*, *D. vizcainoensis* y *D. terminalis*; todas ellas habitan en la costa Pacífica de la Península de Baja California. La característica más significativa que distingue a *D. terminalis* son los canales alimenticios de la superficie oral que no siguen hasta la superficie aboral. Mientras que aquella que distingue a *D. excentricus* de *D. vizcainoensis* es el tamaño de los tubérculos en la superficie aboral, que en la zona interporifera de *D. vizcainoensis* son particularmente grandes. Se reporta por primera vez la existencia de la especie *D. excentricus* dentro del Golfo de California (USNM 8989).

En México se encuentran las especies *Meoma ventricosa ventricosa* en la costa atlántica y *M. ventricosa grandis* en la costa pacífica. Existen diferencias en caracteres morfológicos que podrían elevar estas subespecies al rango de especies (Solís-Marín et al., 1997, Torres-Martínez, Solís-Marín y Laguarda-Figueras, 2008), sin embargo es necesario hacer un

estudio más profundo a fin de establecer claramente los límites entre ellas.

Serafy (1979) reportó a "*Rhynobrissus*" *micrasteroides* para aguas mexicanas pero esa especie fue designada como la especie tipo del género *Neopneustes* (*N. micrasteroides*). Martínez-Melo et al. (2014) reportan a *Rhynobrissus cuneus* en la costa de Veracruz, único reporte afuera de su localidad tipo, en Carolina del Norte, EUA.

De las regiones biogeográficas obtenidas, la de mayor riqueza específica fue la E: Zona nerítica del mar de Cortés, y la de menor riqueza específica fue la C: Cuenca del Golfo de México; es probable que éstas diferencias en riqueza específica entre las dos zonas se deba a la diferencia en el esfuerzo de recolecta llevado a cabo en cada una de las zonas y la diversidad de ambientes presentes en cada una de ellas.

La recolecta de organismos en la cuenca del Golfo de México requiere de embarcaciones mayores que soporten la navegación en aguas lejanas y profundas. Al revisar los mapas de recolectas por campañas oceanográficas en las aguas mexicanas del Golfo de México (Laguarda-Figueras et al., 2005), podemos observar que en la parte central de la cuenca no se ha hecho un esfuerzo de captura tan fuerte como en las otras regiones del golfo (menores de 1300 m de profundidad). Por el otro lado, el Golfo de California es un sistema

subtropical con un intervalo de productividad primaria alto, entre dos o hasta tres veces más productivo que aquellos del Océano Atlántico o Pacífico, ubicados en las mismas latitudes (Torres, 1991). En la costa bajacaliforniana predominan las playas rocosas y acantilados, mientras que en la zona continental prevalecen las zonas areno-lodosas. En la costa oriental de Baja California se encuentran las bahías La Paz y Concepción, ambas de playas arenosas y pendiente suave, mientras que en la costa continental encontramos litoral rocoso desde Bahía Kino hasta el sur de la Bahía de Guaymas, Sonora; desde esta última localidad hasta el estado de Nayarit dominan las playas arenosas (Tapia-Ramírez, 2012).

Comparado con el listado previo de equinoideos del Golfo de México (Durán et al., 2005) en este trabajo se aumentan los reportes de las especies *Rhynobrissus cuneus* y a *Aceste bellidifera* para la biorregión A: Costa Occidental del Golfo de México (de Tamaulipas a Tabasco) y *Leodia sexiesperforata* y *Clypeaster prostratus* para la biorregión B: Plataforma del Sur del Golfo de México.

Al comparar con el reporte previo para el Caribe Mexicano (Laguarda et al., 2005), en este trabajo se aumentan los reportes de *Conolampas sigsbei*, *Agassizia excentrica*, *Schizaster floridiensis*, *Paleobrissus hilgardi*, *Echinocyamus macrostomus*, *Plethotaenia spatangoides*, *Neopneustes micrasteroides*, *Palaeopneustes tholoformis*, *Homolampas fragilis* y *Plethotaenia angularis* para la biorregión D: Zona nerítica y talud del Caribe mesoamericano.

Se agregan los registros de *Urechinus reticulatus* y *Cystechinus loveni* en la biorregión F: Talud del Pacífico transicional mexicano; *Brisssus obesus*, *Cystocrepis setigera*, *Dendraster mexicanus* y *D. vizcainoensis* en la biorregión G: Plataforma del Pacífico transicional mexicano y, por último, *Clypeaster speciosus*, *Mellita grantii* y *Brisaster latifrons* en la biorregión H: Islas Revillagigedo y del mar Cortés, comparando con el listado de equinoideos del Pacífico Mexicano (Honey et al., 2008),

Se agregan los reportes de *Cystechinus giganteus*, *Plexechinus cinctus* y *Pourtalesia*

tanneri para el Golfo de California, además de los ya mencionados en trabajos previos (Solís et al., 2005; Tapia-Ramírez, 2012).

Existen otros trabajos que han utilizado la regionalización de Wilkinson et al. (2010) para describir la distribución de los equinodermos en el Golfo de México (Martín-Cao Romero, 2012) y en el Pacífico mexicano (Garcés-Solchaga, 2014). En el trabajo de Martín-Cao Romero (2012) se reconocen tres regiones principales en la distribución de los asteroideos dentro del Golfo de México: Mar Caribe, Zona nerítica de Veracruz y la Zona nerítica exterior de Campeche y Yucatán; esas regiones concuerdan con las bioregiones A: Costa Occidental del Golfo de México (de Tamaulipas a Tabasco), B: Plataforma del Sur del Golfo de México y D: Zona nerítica y talud del Caribe mesoamericano obtenidas en este trabajo.

Lo anterior quizá se deba a que ambas clases de equinodermos dependan en mismo grado del tipo de sedimento en el cual se desarrollan. Como ya se mencionó, la distribución local de los equinoideos irregulares depende principalmente de las características del sustrato (Kier & Grant, 1965; Ebert, 1971; Jangoux & Lawrence, 1989; Smith, 1984). También se ha visto una fuerte relación entre la distribución de los asteroideos y el tipo de sedimento; por ejemplo, *Luidia clathrata* y *Luidia lawrencei* se distribuyen desde Florida hasta Centroamérica, sin embargo *L. clathrata* se encuentra en sedimento fino, mientras que *L. lawrencei* habita sedimento grueso (Lawrence et al., 2013).

Garcés-Solchaga (2014) delimita seis regiones para el Pacífico mexicano con base en los registros de la Clase Ophiuroidea; en dicho análisis menciona que las corrientes oceánicas podrían ser el factor que da continuidad y conectividad a estas regiones; sin embargo en este trabajo no encontramos continuidad en las regiones del Pacífico. La evidencia más clara es la región H: Islas Revillagigedo y del Mar de Cortés; en caso de que las corrientes fueran de los principales factores para explicar la distribución de los organismos en la zona, las Islas del Mar de Cortés se agruparían con la biorregión E: Zona Nerítica del Mar de Cortés,

lo cual no sucede (Fig. 6). Lo anterior, ayuda a reforzar la idea de que el factor ambiental más importante que limita la distribución de los equinoideos irregulares es el tipo de sedimento.

Esta es la primera vez que se utilizan a los equinoideos dentro del modelo de Wilkinson et al. (2010) para describir las comunidades de este grupo y su distribución en las aguas territoriales mexicanas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a A. Baldinger (Museum of Comparative Zoology, University of Harvard), D. Pawson y P. Greenhall (National Museum of Natural History, Smithsonian Institution) por facilitar el acceso a las colecciones de equinodermos a su cargo. Agradecemos también a A. Durán González (Colección Nacional de Equinodermos, ICML, UNAM), por la labor técnica desarrollada para la realización del presente trabajo. A T. Álvarez del Castillo por su apoyo en la revisión de estilo. A CONABIO (proyecto HA018) por el financiamiento para la revisión de ejemplares en el extranjero.

RESUMEN

La localización geográfica de México, entre las influencias oceánicas del Atlántico centro-occidental y del Pacífico centro-oriental, explica en gran medida su enorme diversidad biológica y ecosistémica. Las investigaciones sobre equinodermos en México comenzaron a mitades del siglo XIX, si bien aún no existe un trabajo sobre los equinoideos irregulares que habitan sus aguas. En este trabajo se presenta por primera vez una revisión taxonómica de los equinoideos irregulares de México. En este sentido, se usaron los ejemplares de equinoideos irregulares para México albergados en cuatro colecciones: 1) Colección Nacional de Equinodermos "Ma. Elena Caso Muñoz", del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); 2) Invertebrate Zoology Collection, Smithsonian Museum of Natural History, Washington, D.C., United States of America (USA); 3) Invertebrate Collection, Museum of Comparative Zoology, University of Harvard, Boston, Massachusetts, USA and 4) Invertebrate Zoology, Peabody Museum, Yale University, New Haven, Connecticut, USA. Los organismos fueron reidentificados, se corroboró la identidad taxonómica de las especies y se ubicaron taxonómicamente. Además, se realizó un análisis de biogeografía ecológica tomando en cuenta el listado de especies obtenido y la regionalización

ecológica de Norteamérica. Se presenta un total de 69 especies incluidas en 6 órdenes, 17 familias, y 36 géneros distribuidas en 34 ecorregiones biogeográficas; 11 de la costa Atlántica y 23 de la costa Pacífica. Se delimitan cuatro regiones biogeográficas Atlánticas y cinco Pacíficas. En la costa Atlántica, los factores ambientales que determinan la distribución de los equinoideos irregulares son, principalmente los sedimentos y las corrientes oceánicas, mientras que en la costa Pacífica son principalmente la profundidad y las corrientes oceánicas.

Palabras clave: Biodiversidad, Golfo de México, Pacífico Tropical Mexicano, Golfo de California, Provincias marinas.

REFERENCIAS

- Ameziane, N., & Roux, M. (1997). Biodiversity and historical biogeography of stalked crinoids (Echinodermata) in the deep sea. *Biodiversity and Conservation*, 6, 1557-1570.
- Caballero-Ochoa, A. A. (2011). *Zoogeografía de holoturoideos (Echinodermata: Holothuroidea) del Pacífico mexicano* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Cid de León, A. S. (1991). Costa Occidental de Baja California, Oceanografía geológica (parte). In De la Lanza-Espino (Comp), *Oceanografía de mares mexicanos* (pp. 252-265). México: A.G.T. Editor.
- Durán-González, A., Laguarda-Figueras, A., Solís-Marín, F. A., Buitrón-Sánchez, B. E., Gust-Ahearn, C., & Torres-Vega, J. (2005). Equinodermos (Echinodermata) de las aguas mexicanas del Golfo de México. *Revista de Biología Tropical*, 53(Supl. 3), 53-68.
- Ebert, T. A. (1971). A preliminary quantitative survey of the echinoid fauna of Kealahou and Honaunau Bays, Hawaii. *Pacific Science*, 25(1), 112-131.
- Flamand, C. L. (1991). Pacífico Tropical Mexicano, Cabo Corrientes a la Frontera con Guatemala. Oceanografía Geológica. In De la Lanza-Espino (Ed.), *Oceanografía de mares mexicanos* (pp. 117-149). México: A.G.T. Editor.
- Garcés-Solchaga, P. J. (2014). *Biogeografía de ofiuroideos (Echinodermata: Ophiuroidea) del Pacífico mexicano* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Ghiold, J., & Hoffman, A. (1986). Biogeography and biogeographic history of clypeasteroid echinoids. *Journal of Biogeography*, 13, 183-206.
- Goloboff, P. (1999). *NONA*. Ver. 2. Tucumán, Argentina: Publicado por el autor.
- Jangoux, M., & Lawrence, J. M. (1989). *Echinoderm Studies* 3. A. Rotterdam: Balkema.

- Kier, P. M., & Grant, R. E. (1965). Echinoid distribution and habits, Key Largo Coral Reef Preserve, Florida. *Smithsonian Miscellaneous Collections*, 149, 1-68.
- Kroh, A., & Smith, A. B. (2010). The phylogeny and classification of post-Paleozoic echinoids. *Journal of Systematic Palaeontology*, 8, 147-212.
- Laguarda-Figueras, A., Solís Marín, F. A., Durán-González, A., Gust-Ahearn, C., Buitrón-Sánchez, B. E., & Torres-Vega, J. (2005). Echinodermos (Echinodermata) del Caribe Mexicano. *Revista de Biología Tropical*, 53(Supl. 3), 109-122.
- Lawrence, J. M., Durán-González, A., Solís-Marín, F. A., Herrera, J., & Ventura C. R. (2013). Distribution of *Luidia clathrata* and *Luidia lawrencei* (Echinodermata: Asteroidea) along the coast of the western Atlantic Ocean, the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea. *Cahiers de Biologie Marine*, 54, 525-529.
- Maluf, L. Y. (1988). Biogeography of the central eastern Pacific shelf echinoderms. *Proceedings of the 6th International Echinoderm Conference*, 23, 28.
- Maluf, L. Y. (1991). Echinoderm fauna of the Galapagos Islands. In M. J. James (Ed.), *Galápagos Marine Invertebrates. Taxonomy, Biogeography, and Evolution in Darwin's Islands*. (pp. 345-367) New York, USA: Plenum Press.
- Marsh L. M., & Marshall, J. I. (1983). Some aspects of the zoogeography of Northwestern Australian echinoderms (other than holothurians). *Bulletin of Marine Science*, 33, 671-678.
- 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). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Martínez-Melo, A., Solís-Marín, F. A., & Laguarda-Figueras, A. (2014). New record of the irregular sea urchin *Rhynobrissus cuneus* (Echinoidea: Brissidae). *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 617-620.
- Nixon, K. C. (1999). *Winclada (BETA) ver. 0.9.9*. Ithaca, USA.
- Pacheco, P. (1991a). Pacífico Tropical Mexicano. Cabo Corrientes a la Frontera con Guatemala. Oceanografía física (parte). In De la Lanza-Espino (Comp.), *Oceanografía de mares mexicanos* (pp. 151-169). México: A.G.T. Editor.
- Pacheco, P. (1991b). Pacífico Tropical Mexicano. Cabo Corrientes a la Frontera con Guatemala. Oceanografía química. In De la Lanza-Espino (Comp.), *Oceanografía de mares mexicanos* (pp. 177-207). México: A.G.T. Editor.
- Pica, Y., Ponce, M. G., & Barrón, M. E. (1991). Golfo de México y Mar Caribe Mexicano. Oceanografía Geológica. In De la Lanza-Espino (Comp.), *Oceanografía de mares mexicanos* (pp. 3-30). México: A.G.T. Editor.
- Serafy, D. K. (1979). *Memoirs of the Hourglass Cruises. V (III): Echinoids (Echinodermata: Echinoidea)*. St. Petersburg, Florida: Florida Department of Natural Resources.
- Smith, A. B. (1984). *Echinoid Palaeobiology. Special Topics in Palaeontology*. London, England: George Allen and Unwin.
- Solís-Marín, F. A. (1998). *Sistemática, Distribución y Morfología del Género Mellita L. Agassiz, 1841 (Echinodermata, Echinoidea, Clypeasteroidea)* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Solís-Marín, F. A., Reyes-Bonilla, H., Herrero-Pérezrul, M. D., Arizpe-Covarrubias, O., & Laguarda-Figueras, A. (1997). Sistemática y distribución de los equinodermos de Bahía de la Paz. *Ciencias Marinas*, 23, 249-263.
- Solís-Marín F. A., Honey-Escandón, M. B. I., Herrero-Pérezrul, M. D., Benítez-Villalobos, F., Díaz-Martínez, J. P., Buitrón-Sánchez, B. E., ... Durán-González, A. (2013). The echinoderms of Mexico: Biodiversity, distribution and current state of knowledge. In J. J. Alvarado & F. A. Solís-Marín (Eds.), *Echinoderm Research and diversity in Latin America* (pp. 11-65). Berlin: Springer-Verlag.
- Tapia-Ramírez, V. (2012). *Revisión taxonómica de equinoideos (Echinodermata: Echinoidea) del Golfo de California* (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Thandar, A. S. (1989). Zoogeography of the southern African echinoderm fauna. *South Africa Journal of Zoology*, 24, 311-318.
- Torres, R. (1991). Costa Occidental de Baja California. Oceanografía física (parte). In De la Lanza-Espino (Ed.), *Oceanografía de mares mexicanos* (pp. 267-280). México: A.G.T. Editor.
- Torres-Martínez, M. A., Solís-Marín, F. A., & A. Laguarda-Figueras. (2008). Poros filodiales en la identificación de dos subespecies de erizos de mar: *Meoma ventricosa grandis* (Pacífico) y *Meoma ventricosa ventricosa* (Atlántico). *Revista de Biología Tropical*, 56(Supl. 3), 13-17.
- Tovilla, C. (1991). Golfo de California. Oceanografía geológica. In De la Lanza-Espino (Ed.), *Oceanografía de mares mexicanos* (pp. 403-451). México: A.G.T. Editor.
- Wilkinson T., Wiken, E., Bezaury-Creel, J., Hourigan, T., Agardy, T., Herrmann, H., ... Padilla, M. (2010). *Ecorregiones marinas de América del Norte*. Montreal, Canadá: Comisión para la Cooperación Ambiental.
- Zárate, S. E. (1991). Costa Occidental de Baja California. Oceanografía física. In De la Lanza-Espino (Ed.), *Oceanografía de mares mexicanos* (pp. 248-252). México: A.G.T. Editor.

