



Los equinodermos (Echinodermata) de bahía Chamela, Jalisco, México

The echinoderms (Echinodermata) from bahía Chamela, Jalisco, Mexico

Eduardo Ríos-Jara¹✉, Cristian Moisés Galván-Villa¹, Fabián Alejandro Rodríguez-Zaragoza¹, Ernesto López-Urriarte¹, Dafne Bastida-Izaguirre¹ y Francisco Alonso Solís-Marín²

¹Laboratorio de Ecosistemas Marinos y Acuicultura. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Carretera a Nogales km 15.5. Las Agujas Nextipac, CP 45110, Zapopan, Jalisco, México.

²Laboratorio de Sistemática y Ecología de Equinodermos, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 70-305, CP 04510, México, D.F., México.

✉ eriosjara@gmail.com

Resumen. Cuarenta especies de equinodermos fueron recolectadas en las zonas intermareal y submareal somero de 14 sitios de bahía Chamela. Destacan 7 nuevos registros para la costa de Jalisco. Los análisis de escalonamiento multidimensional no métrico y el índice de similitud de Jaccard permitieron identificar grupos y entidades aisladas de acuerdo a la contribución y frecuencia de las especies de 4 clases de equinodermos en los sitios de la bahía y en otras localidades del Pacífico tropical mexicano (PTM). La mayor similitud se presentó con las localidades del golfo de California. Los índices de distinción taxonómica promedio (Δ^+) y su variación (Λ^+) fueron utilizados para analizar la diversidad de equinodermos en los niveles de especie, género, familia, orden y clase para cada sitio de la bahía y para distintas localidades del PTM de acuerdo al número de jerarquías taxonómicas de alto orden y la variabilidad en su diversidad taxonómica. La riqueza de especies de Chamela representa el 20% de la diversidad total de equinodermos de las zonas intermareal y submareal somero del PTM, lo que indica su importancia en la contribución a la diversidad taxonómica de la región.

Palabras clave: lista taxonómica, riqueza, Pacífico oriental, similitud, distinción taxonómica.

Abstract. Forty species of echinoderms were collected in the intertidal and shallow subtidal zones of 14 sites of bahía Chamela. Of particular importance are 7 new records of species for the coast of Jalisco. A non-metric multidimensional scaling analysis and the Jaccard's similarity index identified different groups and isolated entities according to the contribution and the frequency of species of 4 classes of echinoderms in the bay and in other localities of the Mexican Tropical Pacific (MTP). The highest similarity of species was with the localities of the Gulf of California. The indices of average taxonomic distinctness (Δ^+) and the variation in the taxonomic distinctness (Λ^+) were estimated to analyze the diversity of echinoderms at the taxonomic levels of species, genus, family, order and class for each site within the bay and for some localities of the MTP according to the number of higher taxonomic hierarchies and the variability of its taxonomic diversity. The species richness of bahía Chamela represents 20% of the total diversity of echinoderms of the intertidal and shallow subtidal zones of the MTP; this is an indicator of its importance to the contribution of the taxonomic diversity of this region.

Key words: taxonomic list, species richness, Eastern Pacific, similarity, taxonomic distinctness.

Introducción

Los equinodermos son un componente importante de la biomasa béntica y de la productividad secundaria marina. Muchas especies son abundantes en las comunidades someras de arrecifes rocosos y coralinos, y también en los fondos arenosos y mixtos de los mares tropicales donde tienen un papel determinante en la estructura y el funcionamiento del ecosistema (Alvarado y Chiriboga, 2008). Al funcionar como consumidores primarios, secundarios

e incluso depredadores, están muy ligados a los procesos de bioerosión, reclutamiento coralino y transferencia de energía en zonas arrecifales (Zamorano y Leyte-Morales, 2005). Recientemente, Schneider et al. (2011) han comprobado la eficiencia de algunas especies de pepinos de mar en la disolución y reciclaje de la mayor parte de CaCO_3 en los arrecifes de coral, siendo importantes en la reducción del impacto en los arrecifes por el proceso de acidificación de los océanos.

El estudio de los equinodermos del Pacífico mexicano ha sido muy importante para determinar la diversidad de la fauna marina de nuestro país (Honey-Escandón et al.,

2008). Además, la elaboración de listas faunísticas de equinodermos ha contribuido a las evaluaciones de zonas con prioridad para su protección (Solís-Marín, 1997). El Pacífico central de México, así como el golfo de California, presentan una considerable diversidad de equinodermos. Los primeros estudios de la fauna de equinodermos del Pacífico mexicano fueron realizados por Verrill (1871) con material recolectado desde Baja California hasta la costa de Panamá. Durante el siglo pasado, diferentes expediciones generaron publicaciones sobre todas las clases de equinodermos de la región entre las que destacan las publicadas por la Dra. M. E. Caso-Muñoz sobre los equinodermos del Pacífico mexicano (e.g. Caso, 1961, 1978, 1992). En la parte central del Pacífico mexicano, los trabajos de Nepote (1998) y Ríos-Jara et al. (2008a, 2008b) se refieren a las especies de la bahía de Banderas y la isla Isabel, Nayarit. En Jalisco, se han registrado 38 especies (Honey-Escandón et al., 2008); en la bahía de Chamela existen 2 inventarios: el de Solís-Marín et al. (2008), quienes registraron 30 especies distribuidas únicamente en isla Cocinas y el de López-Uriarte et al. (2009) quienes encontraron 16 especies en la localidad de Punta La Rosada, ubicada en el extremo norte de la bahía. Adicionalmente, Nuño-Hermosillo et al. (2006) estudiaron algunos aspectos biológicos y de la pesquería de una población del pepino de mar *Isostichopus fuscus* (Ludwig, 1875) de la bahía.

La bahía Chamela tiene particular importancia pues constituye el primer santuario marino decretado con esta categoría en México, el cual además ha sido incorporado al Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Este decreto incluye 8 islas y 4 islotes que abarcan una superficie de 84 ha. Sin embargo, no existe una evaluación integral de su estado actual y por lo tanto carecen de un programa de conservación y de manejo. Tampoco existe un inventario completo de las especies marinas y terrestres que contribuya a establecer criterios de conservación y manejo de los ecosistemas costeros y de sus recursos. A pesar de que la región Mismaloya-bahía Chamela es considerada como prioritaria para su conservación (CONABIO Ecorregión Nivel-I CCA: Pacífico Transicional Mexicano), el conocimiento sobre la fauna de equinodermos en esa zona es limitado.

El presente trabajo describe la composición taxonómica de los equinodermos de los ambientes intermareal y submareal somero (< 15 m de profundidad) de 14 localidades de la bahía Chamela, incluyendo sus principales islas e islotes. Además, se presenta un análisis comparativo de la composición específica respecto a otras localidades del Pacífico mexicano y se señalan nuevos registros y ampliaciones de los ámbitos de distribución de varias especies. Este análisis se complementa mediante la estimación de los índices de distinción taxonómica promedio y la variación

de la distinción taxonómica de estas mismas localidades, con el fin de evaluar la variabilidad en la composición y en la distribución de las especies en toda esta provincia biogeográfica.

Materiales y métodos

Área de estudio. La bahía de Chamela se encuentra ubicada en la parte central de la costa de Jalisco. Se extiende desde los islotes Los Anegados, en el extremo norte de la bahía hasta Punta Chamela al sur, equivalente a una longitud en línea recta de aproximadamente 9 km. La morfología costera de la bahía es de tipo mixto e incluye cabos con promontorios rocosos entre los que se intercalan playas rocosas y arenosas de configuración arqueada con 2 islas principales que sobresalen por sus dimensiones, Pajarera y Cocinas, las cuales se encuentran equidistantes de los 2 extremos de la bahía. Adicionalmente, se ubican distribuidas a lo largo de la bahía las islas de San Agustín, San Pedro, San Andrés, El Mamut, La Colorada, Los Anegados, El Novillo, la Mosca y La Negrita (Fig. 1). La plataforma de la bahía es somera y se extiende hasta las islas; la batimetría indica que existe una pendiente suave y constante. Entre Punta Pérula e isla Pajarera, la profundidad máxima es de 20 m; entre las islas Cocinas y La Colorada la profundidad llega a los 19 m, aunque disminuye de manera gradual hacia la playa (Ortiz-Pérez, 1992).

El clima de la bahía Chamela es cálido subhúmedo con lluvias principalmente en verano. La temperatura superficial del mar es mayor entre junio y septiembre (26.0-30.6° C) y menor entre febrero y mayo (22.8-26.6° C); con una diferencia de 8° C entre el valor máximo (julio= 30.6°C) y el mínimo (febrero= 22.8°C) (Silva-Segundo et al., 2006). La bahía presenta un ciclo de mareas mixto semi-diurno con 2 pleamares y 2 bajamares desiguales por día. Las aguas costeras son relativamente productivas y están influenciadas por 3 corrientes principales: 1) la contra-corriente Norecuatorial con aguas cálidas del sur entre los meses de junio a septiembre, 2) la corriente del golfo de California (octubre-enero) y 3) la corriente de California (febrero-mayo); las 2 últimas provenientes del norte con aguas más frías (Wirtky, 1966). Por lo tanto, existe una marcada estacionalidad con 3 temporadas principales durante el año: 1) temporada cálido-húmeda de junio a septiembre con aguas tibias (26.0-30.6° C), 2) temporada cálido-seca de octubre a enero cuando las aguas se mantienen cálidas (26.0-32.3° C) y la lluvia es escasa o ausente y 3) temporada templado-seca de febrero a mayo, cuando la temperatura superficial del mar disminuye (22.8-26.6° C) y se presenta poca lluvia (López-Uriarte y Ríos-Jara, 2009).

Trabajo de campo. Se establecieron 14 sitios de muestreo dentro de la bahía, incluyendo las 2 islas de mayor tamaño

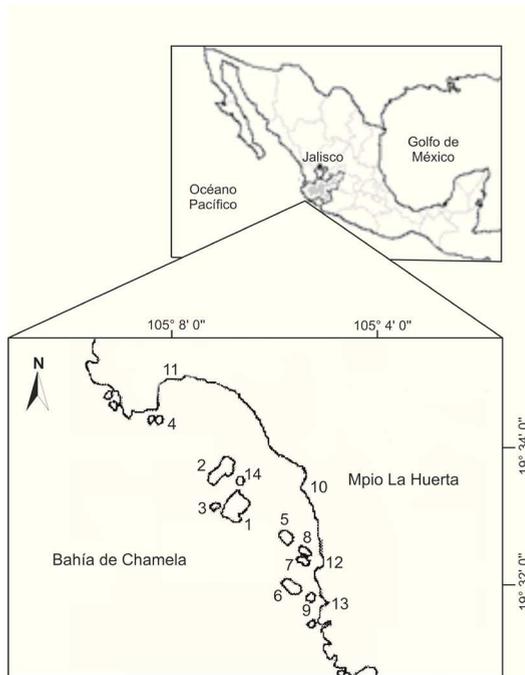


Figura 1. Localización de bahía Chamela y de los sitios de muestreo: 1, isla Cocinas; 2, isla Pajarera; 3, islote El Mamut; 4, islotes Los Anegados; 5, isla La Colorada; 6, isla San Andrés; 7, isla San Pedro; 8, isla San Agustín; 9, isla Negra; 10, La Rosada; 11, Punta Pérula; 12, Chamela; 13, playa Negritos; 14, El Novillo.

(Cocinas y Pajarera), otras 8 menores (San Andrés, El Mamut, San Pedro, La Negrita, La Colorada, San Agustín, El Novillo y Los Anegados) y 4 sitios en el litoral de la bahía (Chamela, playa Negritos, La Rosada y Punta Pérula) (Cuadro 1). En algunos sitios se realizaron muestreos en las zonas protegida y expuesta como en el caso de Cocinas y Pajarera. Además, con la finalidad de tener bien representada la estacionalidad, el trabajo de campo se llevó a cabo en las 3 diferentes épocas entre 2007 y 2010: 1) templado-seca (noviembre-abril), 2) cálido-seca (mayo-junio) y 3) cálido-lluviosa (julio-octubre). En total se realizaron 67 muestreos, 13 en el ambiente intermareal y 54 en el submareal. En las 2 islas principales, Pajarera y Cocinas, se muestrearon los 2 ambientes en las 3 temporadas del año y en las demás localidades solamente en 1 o 2 temporadas. Es importante mencionar que debido a su conformación fisiográfica, no todas las localidades presentan una zona intermareal bien definida y accesible para los muestreos; es decir, en algunos casos la periferia de los islotes emerge del mar a manera de promontorios rocosos por lo que el intermareal es en realidad una pared rocosa casi vertical poco accesible por el fuerte embate del oleaje. De esta manera, el ambiente intermareal fue muestreado únicamente en las localidades de Punta Pérula, San Andrés, San Pedro, San Agustín, playa Negritos y Chamela.

Cuadro 1. Sitios de bahía Chamela y localidades del Pacífico mexicano utilizadas en los análisis de riqueza y similitud de especies de equinodermos. Se incluye el código y ubicación geográfica de cada sitio y el código de cada localidad y la referencia bibliográfica

<i>Sitios de bahía Chamela</i>	<i>Código</i>	<i>Coordenadas geográficas Latitud Norte – Longitud Oeste</i>
Isla Cocinas	IC	19°32'45.7" - 105°6'27.7"
Isla Pajarera	IP	19°33'27.7" - 105°7'0.6"
El Novillo	EN	19°32'22.6" - 105°6'31.1"
Punta Pérula	PP	19°34'53.5" - 105° 8'0.7"
San Andrés	SA	19°31'32.9" - 105°5'31.8"
El Mamut	EM	19°33'57.5" - 105°6'50.3"
San Pedro	SP	19°32'1" - 105°5'17.9"
La Rosada	LR	19°33'9.2" - 105°5'27.06"
La Negrita	LN	19°31'19.9" - 105°5'5.8"
Los Anegados	LA	19°34'35.8" - 105°7'59.7"
La Colorada	CO	19°32'23.9" - 105°5'31.9"
Playa Negritos	PN	19°31'36.6" - 105°5'0.1"
San Agustín	AG	19°32'8.4" - 105°5'15.5"
Chamela	CH	19°31'50.4" - 105°4'59.1"
<i>Localidades y estados del Pacífico mexicano</i>	<i>Código</i>	<i>Referencia</i>
Bahía Loreto, BCS	BLo	Holguín-Quiñones et al., 2000
La Paz, BCS	LPa	Solís-Marín et al., 1997
Cabo Pulmo, BCS	CPu	Cintra-Buenrostro et al., 1998
Isla Isabel, Nayarit	IIs	Ríos-Jara et al., 2008a
Bahía Chamela, Jalisco	BCh	Presente estudio
Barra de Navidad, Jalisco	BNa	Rodríguez-Cajiga, 1993
La Entrega, Oaxaca	LEn	Zamorano y Leyte-Morales, 2005

La búsqueda y la recolección de especímenes se realizaron a lo largo de transectos en banda de 50 m de longitud x 5 m de ancho en los ambientes intermareal y submareal, y mediante la extracción directa de rocas en bolsas de plástico, las cuales posteriormente fueron revisadas en el laboratorio. El muestreo en el ambiente submareal (5-15 m de profundidad) se llevó a cabo en todos los sitios mediante recorridos con equipo SCUBA. En cada ocasión se obtuvo información del hábitat y tipo de sustrato (e.g. sobre rocas, en arena bajo rocas, en sustrato rocoso-arenoso, en pozas de marea o sobre otros organismos) en que se encontraban los organismos. En la mayoría de los casos, las especies de equinodermos fueron determinadas *in situ* y únicamente se recolectaron suficientes ejemplares para corroborar su identidad taxonómica. Los organismos se anestesiaron con agua de mar y mentol, después fueron fijados en una solución de formaldehído y agua de mar al 10%, y posteriormente preservados en solución de alcohol al 70% (preparado con agua destilada) con su respectiva etiqueta. La determinación taxonómica se realizó en el Laboratorio de Ecosistemas Marinos y Acuicultura (LEMA) de la Universidad de Guadalajara, utilizando los trabajos de Deichmann (1941), Caso (1978, 1992), Cutress (1996), Hickman (1998), Laguarda-Figueras et al. (2009) y Solís-Marín et al. (2009). La validación taxonómica de algunas especies se realizó en la Colección Nacional de Equinodermos (ICML-UNAM). Se estableció una colección de referencia con toda la información curatorial, la cual fue depositada en el LEMA.

Análisis de datos. El esfuerzo de muestreo y los valores de riqueza de especies fueron evaluados con curvas de acumulación basadas en el número de especies por sitio de muestreo. La riqueza esperada fue estimada con Chao 2, Jackknife 1 y Jackknife 2 con 10 000 aleatorizaciones sin reemplazo utilizando EstimateS 8 (Colwell, 2006). La composición específica observada en los sitios muestreados de bahía Chamela y la de las otras localidades del Pacífico mexicano (La Paz [Solís-Marín et al., 1997], Cabo Pulmo [Cintra-Buenrostro et al., 1998], bahía Loreto [Holguín-Quiñones et al., 2000], Baja California Sur; isla Isabel [Ríos-Jara et al., 2008a], Nayarit; Barra de Navidad [Rodríguez-Cajiga, 1993], Jalisco y La Entrega [Zamorano y Leyte-Morales, 2005], Oaxaca) se comparó en nivel de clases y con el total de especies de equinodermos registrados (Cuadro 1). Estas localidades fueron seleccionadas por ser representativas del gradiente latitudinal de la región e incluyen bahías con influencia subtropical y tropical a lo largo del Pacífico de México en las cuales se han realizado inventarios de equinodermos. La similitud de especies se estimó con el índice de Jaccard (Magurran, 2004), usando matrices de presencia-ausencia de todas las localidades.

Para ello se usó un análisis de escalonamiento multidimensional no métrico (NMDS) y un análisis de clasificación. Para este último, los dendrogramas se construyeron con el método de agrupamiento de pares con la media aritmética no ponderada (UPGMA); la identificación de grupos se hizo con la prueba de perfiles de similitud (SIMPROF) basada en promedio en 1 000 permutaciones y 999 simulaciones con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (Clarke y Gorley, 2006). Sin embargo, cuando SIMPROF no pudo sub-dividir el dendrograma en conglomerados con una estructura interna significativa, se hicieron cortes en diferentes niveles de similitud para identificar los grupos. Posteriormente, se hizo una superposición de los conglomerados obtenidos en las ordenaciones NMDS y se mencionaron las especies que contribuyeron mayormente a la formación de los mismos, o bien, se comentaron aquellas que tuvieron una mayor contribución a la similitud entre sitios dentro de un mismo grupo. El NMDS y el análisis de clasificación se hicieron con el programa PRIMER v6 (Clarke y Gorley, 2006).

Se estimó la distinción taxonómica promedio (Δ^+) y su variación (Λ^+) para cada sitio de muestreo dentro de la bahía y para cada localidad del Pacífico mexicano. Se elaboró una matriz de agregación con 5 niveles taxonómicos (especie, género, familia, orden y clase), tomados de la clasificación para equinodermos propuesta por Honey-Escandón et al. (2008). Posteriormente, se siguió la propuesta de Warwick y Clarke (1995), donde los niveles taxonómicos fueron ponderados de la siguiente manera: w1, especies dentro del mismo género; w2, especies dentro de la misma familia pero en diferente género; w3, especies dentro del mismo orden pero en diferente familia y así sucesivamente. Se calcularon Δ^+ y Λ^+ que miden el grado en el cual las especies están relacionadas taxonómicamente unas con otras y el grado por el cual los taxa están alta o pobremente representados (Clarke y Warwick, 1999), éstos se obtuvieron con PRIMER v6 (Clarke y Gorley, 2006).

Resultados

Riqueza de especies. Se registró un total de 1 707 ejemplares de equinodermos pertenecientes a 40 especies, 30 géneros, 19 familias y 8 órdenes (Cuadros 2, 3). La mayor riqueza de especies correspondió a la clase Holothuroidea con 18 especies. Todas se encontraron en el ambiente submareal y sólo 12 en el intermareal. Destacan 7 nuevos registros para la costa de Jalisco, entre los que se incluye un erizo de mar (*Arbacia incisa* [A. Agassiz, 1863]) y 6 pepinos de mar (*Holothuria inornata* [Semper, 1868], *Labidodemas maccullochi* [Deichmann, 1937], *Neocucumis veleronis* [Deichmann, 1941], *Neopentamera anexigua* [Deichmann, 1941], *Pachythyone lugubris*

Cuadro 2. Lista taxonómica, sitios y ambientes donde fueron registradas las especies de equinodermos de bahía Chamela, Jalisco. Clasificación según Honey-Escandón et al. (2008). Códigos de sitios en el Cuadro 1. Ambientes: I= intermareal, S= submareal somero, *especie recolectada (ejemplares depositados en la colección del LEMA)

	IC	IP	EN	PP	SA	EM	SP	LR	LN	LA	CO	PN	AG	CH
CLASE ASTEROIDEA														
ORDEN Valvatida														
FAMILIA Oreasteridae														
<i>Pentaceraster cumingi</i> (Gray, 1840) S*		X				X					X			
FAMILIA Ophidiasteridae														
<i>Pharia pyramidatus</i> (Gray, 1840) S*			X								X			
<i>Phataria unifascialis</i> (Gray, 1840) S*	X	X						X		X	X			
CLASE OPHIUROIDEA														
ORDEN Ophiurida														
FAMILIA Ophiocomidae														
<i>Ophiocoma aethiops</i> (Lütken, 1859) S*	X	X			X	X	X	X		X	X			
<i>Ophiocoma alexandri</i> (Lyman, 1860) S*	X	X	X		X		X	X		X	X			
FAMILIA Ophionereididae														
<i>Ophionereis annulata</i> (Le Conte, 1851) S*	X	X				X	X		X	X	X			
FAMILIA Ophiodermatidae														
<i>Ophioderma panamense</i> Lütken, 1859 S*		X												
<i>Ophioderma variegatum</i> (Lütken, 1859) S*								X	X					
FAMILIA Ophiactidae Matsumoto, 1915														
<i>Ophiactis savignyi</i> (Müller y Troschel, 1842) I,S*	X	X		X	X		X	X			X	X		
<i>Ophiactis simplex</i> (Le Conte, 1851) I, S*	X	X		X	X	X	X	X	X		X	X		X
<i>Hemipholis cf. gracilis</i> Verrill, 1867 S*	X	X		X			X							
FAMILIA Amphiuroidae														
<i>Ophiophragmus marginatus</i> (Lütken, 1859) S*	X						X							
FAMILIA Ophiotrichidae														
<i>Ophiotrix spiculata</i> (Le Conte, 1851) I,S*	X	X	X	X			X	X	X					
<i>Ophiotela mirabilis</i> (Verrill, 1867) S*	X	X							X		X			
CLASE ECHINOIDEA														
ORDEN Arbacioida														
FAMILIA Arbaciidae														
<i>Arbacia incisa</i> (A. Agassiz, 1863) S								X						
ORDEN Cidaroida														
FAMILIA Cidariidae														
<i>Eucidaris thouarsii</i> (Valenciennes, 1846) S*	X	X	X		X		X	X		X	X			
<i>Hesperocidaris asteriscus</i> (Clark, 1948) I,S*	X			X	X		X				X			X
ORDEN Diadematoida														
FAMILIA Diadematidae														
<i>Diadema mexicanum</i> (A. Agassiz, 1863) S	X	X	X					X	X	X	X			
<i>Centrostephanus coronatus</i> (Verrill, 1867) S*	X		X			X				X				
ORDEN Echinoida														
FAMILIA Echinometridae														
<i>Echinometra vanbrunti</i> (A. Agassiz, 1863) S*	X							X		X	X			
FAMILIA Toxopneustidae														
<i>Tripneustes depressus</i> (A. Agassiz, 1863) S*							X							
<i>Toxopneustes roseus</i> (A. Agassiz, 1863) S*	X	X	X					X	X	X	X			X
CLASE HOLOTHUROIDEA														
ORDEN Dendrochirotrida														
FAMILIA Psolidae														
<i>Lissothuria ornata</i> Verrill, 1867 I,S*	X	X		X		X				X				
FAMILIA Sclerodactylidae														

Cuadro 2. Continúa

	IC	IP	EN	PP	SA	EM	SP	LR	LN	LA	CO	PN	AG	CH
<i>Neothyone gibbosa</i> (Deichmann, 1941) I, S*	X	X		X	X		X			X	X		X	
<i>Neothyone gibber</i> (Selenka, 1867) I, S*	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Pachythyone lugubris</i> (Deichmann, 1939) S*	X											X		
<i>Pachythyone pseudolugubris</i> (Deichmann, 1941) I, S*		X					X						X	
<i>Neopentamera anexigua</i> (Deichmann, 1941) S*	X	X				X						X		
FAMILIA Phylloporidae														
<i>Pentamera chierchia</i> (Ludwig, 1887) I, S*	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
FAMILIA Cucumariidae														
<i>Cucumaria flamma</i> (Solís-Marín y Laguarda-Figueras, 1999) S*			X			X	X							
<i>Neocucumis veleronis</i> (Deichmann, 1941) S*		X			X			X		X				
<i>Pseudocnus californicus</i> (Semper, 1868) I, S*	X		X	X	X	X		X		X	X			
ORDEN Aspidochirotida														
FAMILIA Holothuriidae														
<i>Labidodemas maccullochi</i> (Deichmann, 1937) S*									X					
<i>Holothuria rigida</i> (Selenka, 1867) S*					X			X						
<i>Holothuria inornata</i> (Semper, 1868) S*	X						X			X				
<i>Holothuria lubrica</i> Selenka, 1867 I, S*	X				X									
<i>Holothuria arenicola</i> Semper, 1868 I, S*	X		X	X			X	X	X	X	X			
<i>Holothuria impatiens</i> (Forskål, 1775) S*								X		X				
<i>Holothuria hilla</i> Lesson, 1830 S*	X				X		X							
FAMILIA Stichopodidae														
<i>Isostichopus fuscus</i> (Ludwig, 1874) S*								X						
Total de especies	27	21	11	11	14	10	19	20	11	18	19	6	4	5

Cuadro 3. Números de especies, géneros, familias y órdenes de cada clase de equinodermos recolectados en bahía Chamela

	Especies	Géneros	Familias	Órdenes
Asteroidea	3	3	2	1
Ophiuroidea	11	8	6	1
Echinoidea	8	8	5	4
Holothuroidea	18	11	6	2
Total	40	30	19	8

[Deichmann, 1939] y *P. pseudolugubris* [Deichmann, 1941]).

El esfuerzo de muestreo realizado en bahía Chamela permitió registrar cerca del 90% de la riqueza de especies de la bahía. Las curvas de acumulación de especies presentaron una tendencia asintótica, alcanzando un valor máximo de 44 y 45 especies de acuerdo con los estimadores Jackknife 2 y 1, respectivamente (Fig. 2). De esta manera, con base en los estimadores no paramétricos, el valor de la riqueza observada (40 especies) se encuentra muy cercano al valor esperado, lo que indica una buena representatividad del muestreo.

Similitud de especies entre sitios de bahía Chamela. Los NMDS y los análisis de clasificación realizados con cada clase de equinodermos y con el total de especies mostraron

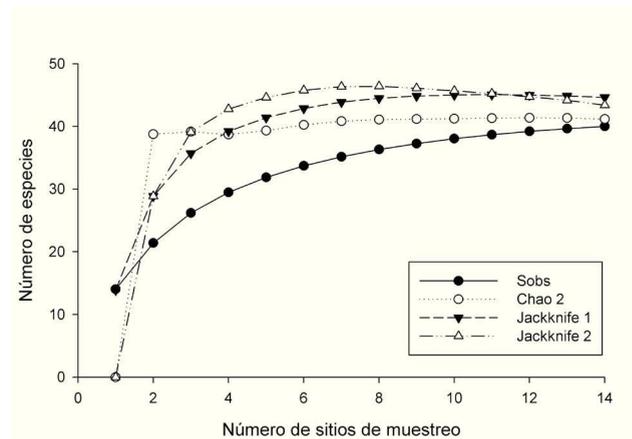


Figura 2. Curvas de acumulación de especies. Sobs= Riqueza observada. Estimadores no paramétricos: Chao 2, Jackknife 1 y Jackknife 2.

la formación de distintos grupos de sitios, en su mayoría con bajas similitudes (< 40%). Asimismo, algunos sitios fueron identificados como entidades aisladas por tener especies no compartidas con los demás sitios o porque tienen un número pequeño de especies (Fig. 3). En los análisis de clasificación, la prueba SIMPROF identificó

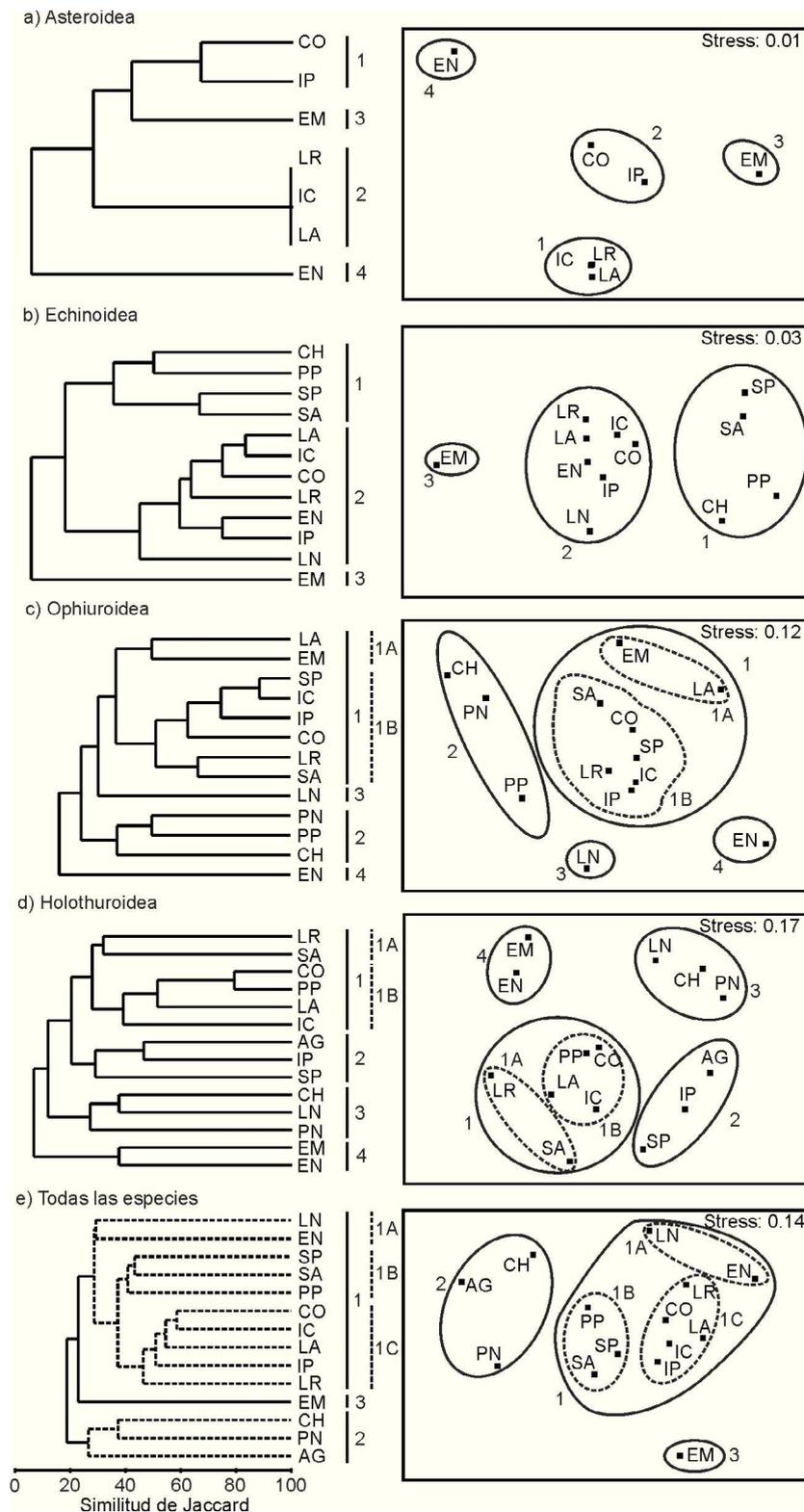


Figura 3. NMDS y análisis de clasificación que analizan la similitud de especies por familia y para todas las especies registradas en los sitios de muestreo de bahía Chamela. Las líneas segmentadas en los dendrogramas muestran los grupos identificados por la prueba SIMPROF que tienen una estructura interna significativa. Códigos de sitios en el Cuadro 1.

Cuadro 4. Especies de equinodermos registradas en bahía Chamela y en otras localidades del Pacífico mexicano. Códigos de las localidades en el Cuadro 1

	<i>BLo</i>	<i>LPa</i>	<i>CP</i>	<i>Ilsa</i>	<i>BCha</i>	<i>BNa</i>	<i>Len</i>
<i>Pentaceraster cumingi</i>	X	X	X	X	X		X
<i>Pharia pyramidatus</i>	X	X	X	X	X	X	
<i>Phataria unifascialis</i>	X	X	X	X	X		
<i>Ophiocoma aethiops</i>		X	X	X	X		X
<i>Ophiocoma alexandri</i>		X	X	X	X	X	X
<i>Ophionereis annulata</i>		X	X	X	X	X	
<i>Ophioderma panamense</i>		X		X	X		
<i>Ophioderma variegatum</i>		X			X		
<i>Ophiactis savignyi</i>		X			X	X	X
<i>Ophiactis simplex</i>		X	X		X		
<i>Hemipholis cf. gracilis</i>					X		
<i>Ophiophragmus cf. marginatus</i>					X		
<i>Ophiothrix spiculata</i>		X	X		X	X	X
<i>Ophiothela mirabilis</i>		X		X	X		
<i>Arbacia incisa</i>	X	X	X	X	X		
<i>Eucidaris thouarsii</i>	X	X	X	X	X	X	
<i>Hesperocidaris asteriscus</i>		X	X	X	X		X
<i>Diadema mexicanum</i>	X	X	X	X	X		X
<i>Centrostephanus coronatus</i>	X	X	X	X	X	X	
<i>Echinometra vanbrunti</i>	X	X	X	X	X	X	
<i>Tripneustes depressus</i>	X	X	X	X	X		
<i>Toxopneustes roseus</i>	X	X	X	X	X	X	
<i>Lissothuria ornata</i>					X		
<i>Neothyone gibbosa</i>		X	X		X		
<i>Neothyone gibber</i>					X		
<i>Pachythyone lugubris</i>					X		
<i>Pachythyone pseudolugubris</i>					X		
<i>Neopentamera anexigua</i>					X		
<i>Pentamera chierchia</i>					X		
<i>Cucumaria flamma</i>					X		
<i>Neocucumis veleronis</i>		X			X		
<i>Pseudocnus californicus</i>		X			X		
<i>Labidodemas maccullochi</i>					X		
<i>Holothuria rigida</i>	X	X			X	X	
<i>Holothuria inornata</i>	X	X		X	X		
<i>Holothuria lubrica</i>		X	X	X	X	X	
<i>Holothuria arenicola</i>	X	X		X	X		
<i>Holothuria impatiens</i>		X	X	X	X		X
<i>Holothuria hilla</i>		X		X	X		
<i>Isostichopus fuscus</i>	X	X	X	X	X		
Total de especies	14	30	20	22	40	11	8

la formación de conglomerados y subgrupos en las clases Ophiuroidea y Holothuroidea, asimismo cuando se analizó el total de especies de equinodermos.

En la clase Asteroidea, la similitud entre sitios fue estimada por la presencia de 3 especies solamente, aún así, los resultados mostraron 2 grupos de sitios y 2 sitios aislados a un 60% de similitud. El grupo 1 asoció a isla

Pajarera y La Colorada, las cuales tienen el mayor número de registros de estrellas de mar, donde *Phataria unifascialis* (Gray, 1840) y *Pentaceraster cumingi* (Gray, 1840) inciden en ambos sitios. El grupo 2 correspondió a isla Cocinas, Los Anegados y La Rosada, caracterizados por tener 1 especie, *P. unifascialis*. Los sitios El Mamut (3) y El Novillo (4) se aislaron en este análisis debido a que se

Cuadro 5. Número y porcentaje de especies de equinodermos compartidas entre 7 localidades del Pacífico mexicano

	<i>La Paz</i>	<i>Cabo Pulmo</i>	<i>Isla Isabel</i>	<i>Bahía Chamela</i>	<i>Barra de Navidad</i>	<i>La Entrega</i>
Bahía Loreto	26 (28.88%)	17 (36.95%)	16 (38.09%)	13 (24.1%)	6 (17.64%)	2 (5.26%)
La Paz		31 (32.98%)	27 (29.03%)	29 (29.0%)	12 (13.33%)	11 (12.08%)
Cabo Pulmo			20 (42.55%)	20 (35.71%)	9 (22.5%)	7 (16.66%)
Isla Isabel				21 (42%)	8 (22.22%)	7 (18.91%)
Bahía Chamela					11 (26.19%)	7 (15.21%)
Barra de Navidad						3 (13.04%)

registró sólo a *P. cumingi* en el primero y a *Pharia pyramidatus* (Gray, 1840) en el segundo (Fig. 3a, Cuadro 2).

El análisis de la clase Echinoidea mostró 2 grupos de sitios y 1 sitio aislado a una similitud del 30% (Fig. 3b). El grupo 1 correspondió a isla San Pedro, isla San Andrés, Chamela y Punta Pérula, que son los sitios con menor riqueza de especies y donde se registró siempre a *Hesperocidaris asteriscus* (Clark, 1948). El grupo 2 asoció a La Rosada, Los Anegados, isla Cocinas, La Colorada, El Novillo, isla Pajarera y La Negrita, los cuales tuvieron la mayor riqueza de equinoideos y una incidencia alta de *Diadema mexicanum* (A. Agassiz, 1863), *Toxopneustes roseus* (A. Agassiz, 1863) y *Eucidaris thouarsii* (Valenciennes, 1846). El Mamut (3) fue el único sitio aislado debido a que *Centrostephanus coronatus* (Verrill, 1867) se registró únicamente en este islote (Fig. 3b, Cuadro 2).

En la clase Ophiuroidea, el NMDS y el análisis de clasificación mostraron la formación de 2 grupos de sitios y 2 sitios aislados a un 30% de similitud. El grupo 1 incluyó el mayor número de sitios por la alta incidencia de las especies *Ophiocoma aethiops* (Lütken, 1859), *O. alexandri* (Lyman, 1860), *Ophiactis simplex* (Le Conte, 1851), *O. savignyi* (Müller y Troschel, 1842) y *Ophionereis annulata* (Le Conte, 1851). Este grupo está dividido en 2 subgrupos (1A y 1B) a una similitud del 38% (Fig. 3c). El subgrupo 1A correspondió a El Mamut y Los Anegados con la menor riqueza de especies y el subgrupo 1B a San Andrés, La Colorada, San Pedro, La Rosada, isla Cocinas e isla Pajarera con la mayor riqueza. El grupo 2 reunió a los sitios playa Negritos, Punta Pérula y Chamela, todos ellos caracterizados por tener una riqueza baja de especies y el registro frecuente de *O. simplex*. Finalmente, los 2 sitios aislados fueron La Negrita (3) y El Novillo (4), el primero con sólo 2 especies de las cuales *Ophiothrix spiculata* (Le Conte, 1851) favorece a su disimilitud y el segundo sitio con 5 especies, entre las que destacan *Ophioderma variegatum* (Lütken, 1859), *Ophiothela mirabilis* (Verrill, 1867) y *O. spiculata* (Fig. 3c, Cuadro 2).

Con respecto a la clase Holothuroidea, los análisis de similitud mostraron la formación de 4 grupos a un 40% de similitud (Fig. 3d). El grupo 1 incluye 6 sitios y está caracterizado por una riqueza de holotúridos de moderada a alta

y por el registro frecuente de *Neothyone gibber* (Selenka, 1867), *Pentamera chierchia* (Ludwig, 1887), *Pseudocnus californicus* (Semper, 1868), *Holothuria arenicola* Semper, 1868 y *Neothyone gibbosa* (Deichmann, 1941). Este primer grupo se dividió en 2 subgrupos: el subgrupo 1A asoció a La Rosada y San Andrés debido a la incidencia de *Holothuria rigida* (Selenka, 1867) y *N. veleronis*; el subgrupo 1B agrupó a La Colorada, Punta Pérula, isla Cocinas y Los Anegados debido a *H. arenicola*, *N. gibbosa* y *Lissothuria ornata* que son especies compartidas en la mayoría de estos sitios. El grupo 2 integró a San Agustín, isla Pajarera y San Pedro, los cuales comparten a *N. gibber*, *N. gibbosa* y *P. chierchia*. El grupo 3 asoció a Chamela, La Negrita y playa Negritos con una baja riqueza y 2 especies compartidas (*N. gibber* y *P. chierchia*). El grupo 4, con sólo El Mamut y El Novillo, presentó pocas especies, entre las que coinciden *Cucumaria flamma* (Solís-Marín y Laguarda-Figuera, 1999), *P. chierchia* y *P. californicus* (Fig. 3d, Cuadro 2).

Por último, el NMDS y el análisis de clasificación realizados con todas las especies de equinodermos evidenciaron la asociación de 2 grupos y la separación de un sitio aislado a un 25% de similitud (Fig. 3e). El grupo 1 se formó con 10 sitios a un nivel de similitud del 29% (SIMPROF, $\pi= 1.97$, $p= 0.069$). Estos sitios se caracterizaron por tener la mayor riqueza de especies del área de estudio y porque la mayoría comparten a *P. chierchia*, *N. gibber*, *E. thouarsii*, *H. arenicola*, *O. simplex* y *O. alexandri*. Este primer grupo se separó en 3 subgrupos: el subgrupo 1A correspondió a La Negrita y El Novillo en los cuales se registró al ofiúrido *O. spiculata*; el subgrupo 1B se formó por San Pedro, San Andrés y Punta Pérula donde *H. asteriscus* y *Holothuria hilla* Lesson, 1830 favorecieron la disimilitud con los otros sitios; el subgrupo 1C agrupó a La Colorada, isla Cocinas, Los Anegados, isla Pajarera y La Rosada, que son sitios con mayor riqueza de especies e importante presencia de *P. unifascialis*, *Echinometra vanbrunti* (A. Agassiz, 1863) y *O. annulata*. Por otro lado, el grupo 2 asoció a Chamela, playa Negritos y San Agustín a una similitud del 27% (SIMPROF, $\pi= 1.88$, $p= 0.864$), donde la presencia de *N. gibber* y *P. chierchia* incrementaron la similitud. El sitio aislado fue El Mamut con una riqueza moderada; la aparición de *P. cumingi* y *C. flamma*

Cuadro 6. Número de especies, géneros, familias y órdenes de cada clase de equinodermos registrados en 7 localidades del Pacífico mexicano. ¹Holguín-Quiñones et al., 2000; ²Solís-Marín et al., 1997; ³Cintra-Buenrostro et al., 1998; ⁴Ríos-Jara et al., 2008a; ⁵Presente trabajo; ⁶Rodríguez-Cajiga, 1993; ⁷Zamorano y Leyte-Morales, 2005

Clase		Bahía Loreto ¹	La Paz ²	Cabo Pulmo ³	Isla Isabel ⁴	Bahía Chamela ⁵	Barra de Navidad ⁶	La Entrega ⁷
Asteroidea	spp.	12	21	11	8	3	1	3
	Gén.	12	18	11	8	3	1	3
	Fam.	12	12	7	6	2	1	2
	Ord.	2	5	3	2	1	1	1
Ophiuroidea	spp.	-	18	8	5	11	4	7
	Gén.	-	11	6	4	8	4	4
	Fam.	-	7	5	4	6	4	4
	Ord.	-	2	1	1	1	1	1
Echinoidea	spp.	10	26	8	8	8	5	5
	Gén.	10	20	8	8	8	5	5
	Fam.	7	12	4	5	5	4	4
	Ord.	6	7	4	4	4	3	3
Holothuroidea	spp.	4	27	10	10	18	3	9
	Gén.	3	15	7	3	11	1	4
	Fam.	3	10	5	3	6	1	3
	Ord.	2	5	3	2	2	1	3
Totales	spp.	26	92	37	31	40	13	24
	Gén.	25	64	32	23	30	11	16
	Fam.	20	41	21	19	19	10	13
	Ord.	10	19	11	9	8	6	8

incrementaron la disimilitud con los demás sitios estudiados (Fig. 3e, Cuadro 2).

Similitud de especies entre localidades del Pacífico mexicano. El número de especies de equinodermos compartidas entre bahía Chamela y las demás localidades del Pacífico mexicano analizadas en este trabajo fue relativamente bajo, de entre 7 (15.21%) en el caso de La Entrega y 29 (29%) en el caso de La Paz (Cuadro 4). Sin embargo, los mayores porcentajes de coincidencia de especies se encontraron con isla Isabel (21 especies, 42%) y Cabo Pulmo (20 especies, 35.71%). Los análisis de similitud de las diferentes clases de equinodermos mostraron la formación de varios grupos de localidades las cuales se asociaron a niveles bajos (< 46%), excepto por la clase Echinoidea que identificó un grupo a una similitud alta (> 80%) (Fig. 4). En la mayoría de los casos la prueba SIMPROF encontró conglomerados con una estructura interna significativa, a excepción del análisis de la clase Ophiuroidea.

Primeramente, en el caso de la clase Asteroidea se encontraron 2 grupos y 2 localidades aisladas a un nivel de similitud del 38% (Fig. 4a). El grupo 1 integró a localidades del golfo de California como La Paz, Cabo Pulmo y bahía Loreto a un 45% de similitud (SIMPROF, $\pi=4.23$, $p=0.125$); estas localidades se caracterizan por tener una incidencia alta de estrellas de mar no registradas en

la mayoría de las demás localidades como *Acanthaster planci* (Linnaeus, 1758), *Astrometis sertulifera* (Xantus, 1860), *Echinaster tenuispina* Verrill, 1871, *Heliaster kubiniji* Xantus, 1860, *Mithrodia bradleyi* Verrill, 1867, *P. cumingi*, *P. pyramidatus* y *P. unifascialis*. El grupo 2 asoció a isla Isabel y bahía Chamela (SIMPROF, $\pi=0$, $p=1.0$), que comparten todas las especies registradas en la bahía Chamela. Las 2 localidades aisladas, Barra de Navidad (3) y La Entrega (4), se localizan en el centro-sur del Pacífico mexicano y cuentan con un sólo registro de *P. pyramidatus* la primera y de *Asterina miniata* (Brandt, 1835) la segunda; el índice de similitud con las demás localidades fue muy bajo (Fig. 4a, Cuadro 4).

El análisis de la clase Echinoidea evidenció la formación de un grupo en un nivel de similitud alto (89%), así como el aislamiento de 4 localidades (Fig. 4b). Se asociaron en este único grupo 1, isla Isabel, Cabo Pulmo y bahía Chamela (SIMPROF, $\pi=0$, $p=1.0$), las cuales presentan una incidencia importante de *Arbacia incisa* (A. Agassiz, 1863), *C. coronatus*, *D. mexicanum*, *Echinometra vanbrunti* (A. Agassiz, 1863), *E. thourarsii*, *H. asteriscus*, *T. roseus* y *Tripneustes depressus* (A. Agassiz, 1863). La Paz (2) y bahía Loreto (3) fueron 2 de las localidades aisladas, caracterizadas por una mayor riqueza de equinoideos. Las otras 2 localidades aisladas fueron Barra

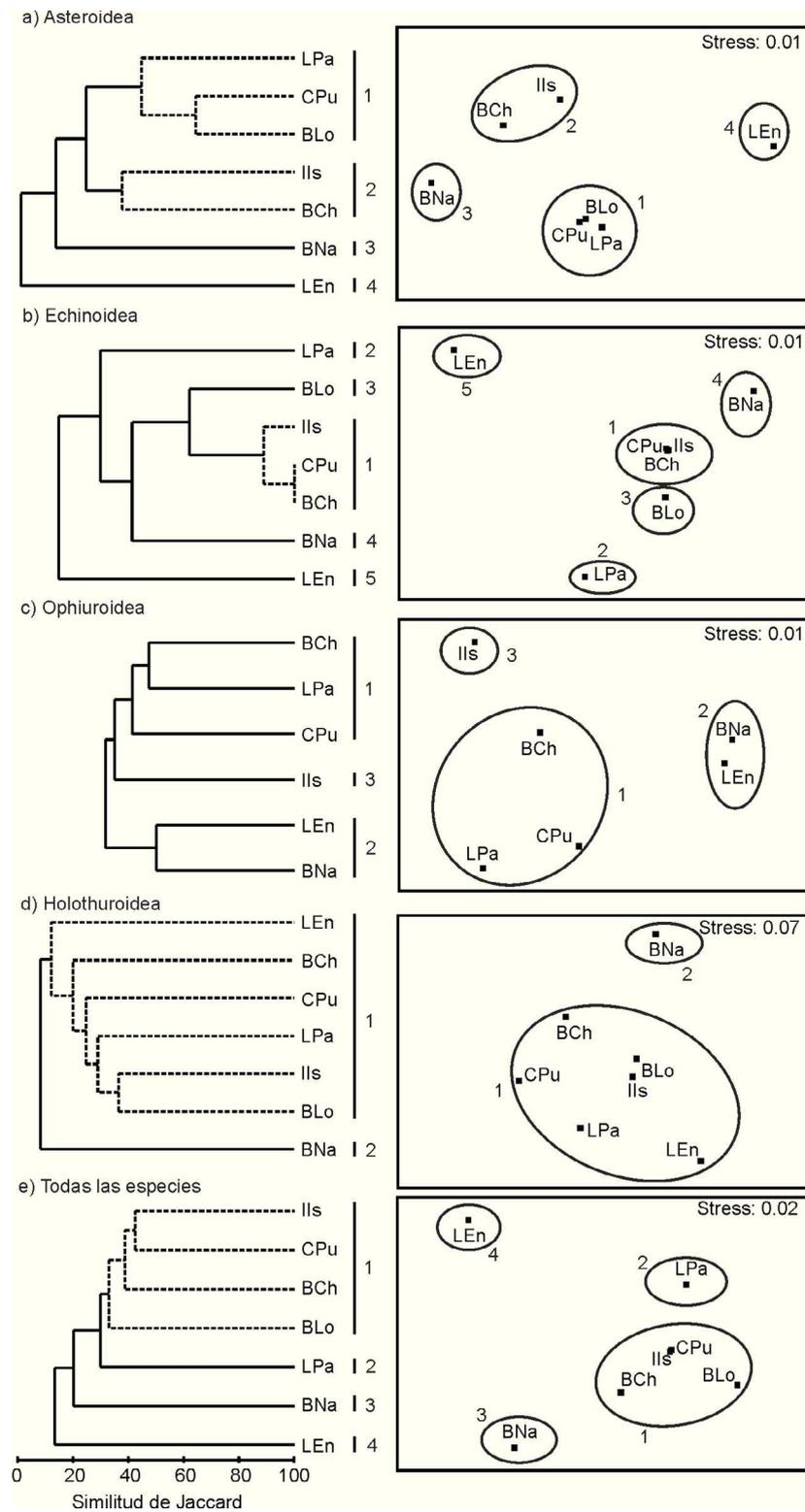


Figura 4. NMDS y análisis de clasificación que analizan la similitud de especies por clase y para todas las especies registradas en las localidades del Pacífico central mexicano. Las líneas segmentadas en los dendrogramas muestran los grupos identificados por la prueba SIMPROF que tienen una estructura interna significativa. Códigos de sitios en el Cuadro 1.

de Navidad (4) y La Entrega (5) con pocas especies de equinoideos, todas presentes en la mayoría de las demás localidades (Fig. 4b, Cuadro 4).

El NMDS y el análisis de clasificación de la clase Ophiuroidea identificó 2 grupos y una localidad aislada (isla Isabel) a un 39% de similitud (Fig. 4c). El grupo 1 se formó por bahía Chamela, La Paz y Cabo Pulmo, localidades que poseen la mayor riqueza y coincidencia de especies de ofiuros. En el grupo 2 se asoció Barra de Navidad y La Entrega con un número de especies bajo, donde *O. savigni*, *O. alexandri* y *O. spiculata* incrementan la similitud. La isla Isabel (3) se mantuvo aislada debido a que presenta pocas especies compartidas con el resto de las localidades (Fig. 4c, Cuadro 4).

En la clase Holothuroidea se identificó un grupo y una localidad aislada (Barra de Navidad) a un nivel de similitud del 12%. El único grupo 1 integró a Cabo Pulmo, La Paz, bahía Loreto, isla Isabel, bahía Chamela y La Entrega (SIMPROF, $\pi = 2.5$, $p = 0.156$), las cuales comparten las especies *I. fuscus*, *Euapta godeffroyi* (Semper, 1868), *H. arenicola*, *Holothuria impatiens* (Forsk., 1775) y *H. lubrica* Selenka, 1867. La entidad aislada correspondió a Barra de Navidad, ya que tiene la menor riqueza de especies de holoturoideos (Fig. 4d, Cuadro 4).

Cuando se compararon todas las especies, el análisis mostró una baja similitud (< 40%) en la composición de especies de equinodermos de bahía Chamela respecto a las registradas en las demás localidades. En este caso, el NMDS y el análisis de clasificación identificaron un grupo y 3 localidades aisladas (Fig. 4e). Es importante mencionar que el dendrograma tuvo una relación en escalera o encadenamiento, lo que sugiere que las relaciones podrían no ser altamente significativas entre las localidades. Sin embargo, en el grupo 1 la prueba SIMPROF encontró una estructura interna significativa a un 33% de similitud ($\pi = 2.39$, $p = 0.106$), por lo que se considera que la forma del dendrograma no afecta los resultados descritos en este trabajo. Este grupo incorporó a isla Isabel, Cabo Pulmo, bahía Chamela y bahía Loreto; en estas localidades la similitud fue favorecida por la coincidencia de *P. cumingi*, *P. pyramidatus*, *P. unifascialis*, *A. incisa*, *C. coronatus*, *D. mexicanum*, *E. vanbrunti*, *T. roseus*, *T. depressus* y *I. fuscus*. Por otro lado, las localidades de La Paz (2), Barra de Navidad (3) y La Entrega (4) fueron entidades aisladas. La Paz presentó la mayor riqueza de equinodermos, lo que genera disimilitudes altas entre las localidades analizadas. Particularmente, bahía Chamela y La Paz comparten 29 especies equivalente a un 29% de similitud en las especies de equinodermos. En contraste, Barra de Navidad y La Entrega tienen menor riqueza de especies, posiblemente por un esfuerzo bajo de muestreo, que favorece disimilitudes altas con respecto a las demás localidades, en especial

con bahía Chamela con la que comparten solamente 11 y 7 especies y tienen una similitud de 26.19% y 15.21%, respectivamente (Cuadros 4, 5).

Diversidad taxonómica de los sitios de bahía Chamela. El modelo de Δ^+ construido a nivel de los sitios de bahía Chamela, mostró que la mayoría de ellos presentaron valores dentro de los intervalos de confianza ($p > 0.05\%$), excepto por San Agustín, playa Negritos, San Andrés y San Pedro que fueron estadísticamente diferentes (Fig. 5). De manera similar, las estimaciones de Λ^+ estuvieron dentro del intervalo de confianza del 95% ($p > 0.05$), a excepción de playa Negritos (Fig. 5b).

Diversidad taxonómica de las localidades del Pacífico mexicano. El análisis de la representatividad de las especies de equinodermos entre localidades del Pacífico mexicano demuestra que en todos los casos los valores de Δ^+ caen dentro del canal de probabilidad al 95%, excepto por bahía Chamela y La Paz (Fig. 5c, Cuadro 6). Las estimaciones de Λ^+ mostraron una tendencia similar a Δ^+ , con excepción de La Entrega que se ubicó fuera del canal de confianza (Fig. 5d).

Discusión

La bahía Chamela ha sido reconocida por su alta biodiversidad marina (CONANP, 2008; López-Urriarte et al., 2009) debido principalmente a la geomorfología del litoral, la dinámica de las corrientes superficiales locales y la heterogeneidad del fondo marino. En la bahía se presentan islas, islotes, morros y arrecifes rocosos, agregaciones de corales, playas rocosas y arenosas que incrementan la disponibilidad de hábitats marinos y por lo tanto, la variedad de microambientes bénticos (Nuño-Hermosillo et al., 2006; López-Urriarte et al., 2009). Además, existe una marcada variación estacional a lo largo del ciclo anual en el que se reconocen temporadas cálidas, templadas, secas y lluviosas con cambios notables en la productividad primaria y secundaria (Silva-Segundo et al., 2008).

Los sitios de muestreo en la bahía se encuentran en un área somera de hasta 18 m de profundidad, caracterizada por la presencia de sustratos principalmente de arena y roca. Los sustratos rocosos son muy variados y de acuerdo con Nuño-Hermosillo et al. (2006), pueden clasificarse según la forma y tamaño de las rocas. Esta variedad de sustratos rocosos favorece la presencia de numerosas especies de equinodermos y contrasta con la riqueza observada en áreas adyacentes con mayores profundidades (> 13 m) en las que se intercalan fondos suaves o mixtos, en ocasiones con escasa presencia de equinodermos. En estas áreas más profundas y homogéneas con arenas de grano fino y medio, encontramos con mayor frecuencia al pepino de mar *I. fuscus*.

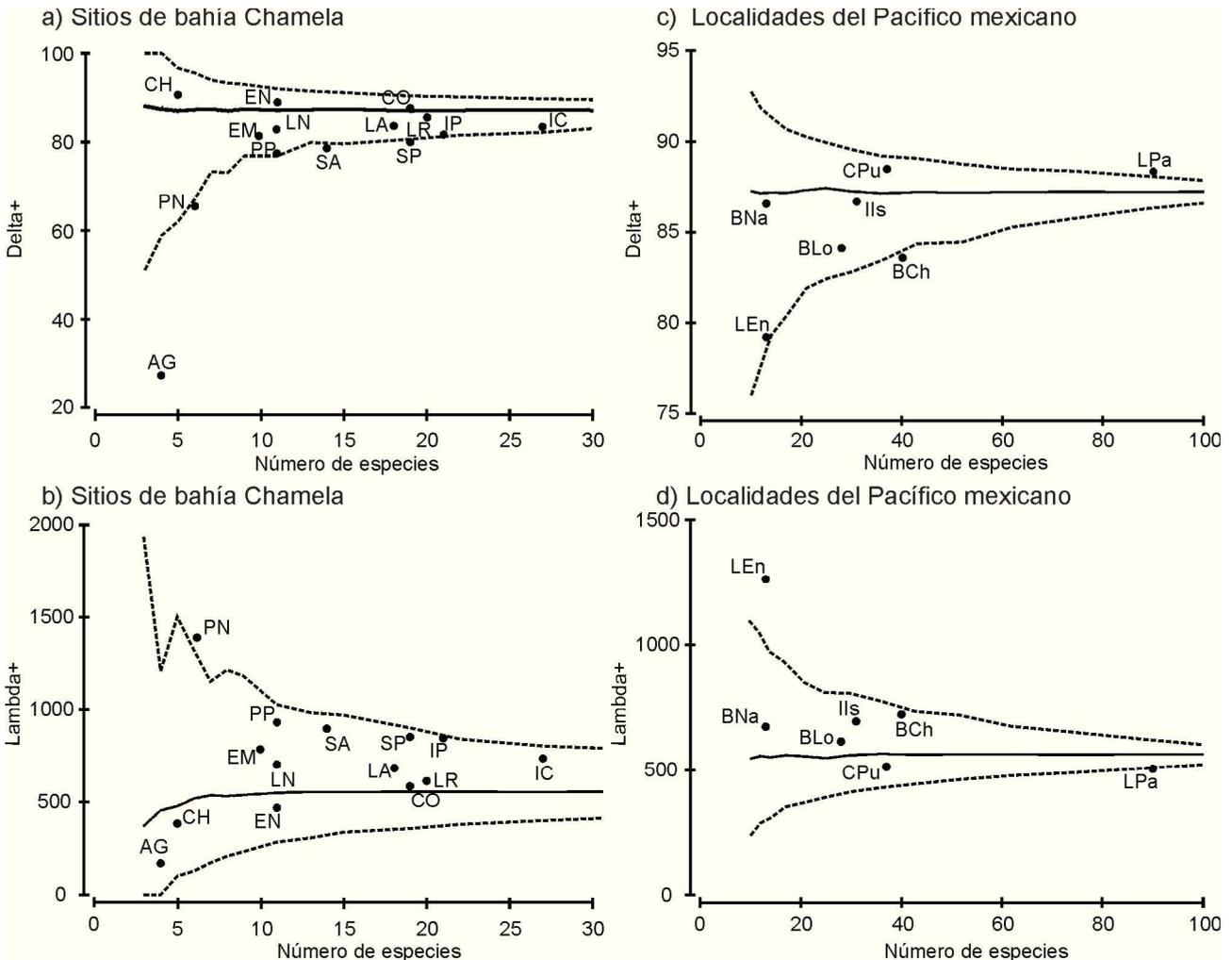


Figura 5. Estimaciones de la distinción taxonómica promedio (Δ^+) y de su variación (Λ^+) para los grupos de equinodermos de los sitios muestreados de bahía Chamela (a y b) y para algunas localidades del Pacífico mexicano (c y d). Los intervalos de confianza al 95% se muestran en líneas segmentadas y Δ^+ y Λ^+ se muestra en una línea continua. Códigos de sitios de bahía Chamela y de las localidades del Pacífico mexicano en el Cuadro 1.

Respecto a la composición específica de los equinodermos de la bahía, es importante reconocer que la determinación a nivel de especie de los ejemplares del género *Hemipholis* no fue confirmada debido a la talla tan pequeña (posiblemente juveniles) de los ejemplares (0.6 mm diámetro máximo del disco). En el Pacífico mexicano existen registros de 2 especies del género *Hemipholis*: *H. cordifera* (Bosc, 1802), registrada como *H. elongata* para el estado de Sonora (Solís-Marín et al., 2005) y *H. gracilis* Verrill, 1867, para la zona profunda del golfo de California, Sonora, Sinaloa, Baja California Sur y Jalisco (Maluf, 1988; Solís-Marín et al., 2005; Hendler, 2011). Sin embargo, al considerar la revisión de Hendler (2011), es posible que el individuo de *H. cordifera* de Sonora esté mal determinado, ya que su distribución geográfica corres-

ponde al Atlántico, desde Carolina del Norte, EUA, hasta Uruguay; por lo tanto, los organismos encontrados en bahía Chamela probablemente corresponden a *H. gracilis*, especie previamente registrada en Jalisco y que tiene una amplia distribución en la región Pacífico oriental tropical, desde Sonora hasta el norte de Perú (Hendler, 2011).

La revisión de trabajos previos en bahía Chamela indica que habían sido registradas 30 especies de equinodermos en 2 sitios de la bahía, isla Cocinas (Solís-Marín et al., 2009) y La Rosada (López-Urriarte et al., 2009). La isla Cocinas es una de las 2 islas de mayor tamaño y con mayor extensión en su línea litoral, por lo que presenta mayor variedad de hábitats en la zona submareal adyacente además de playas rocosas y arenosas. En esta isla se han encontrado especies potencialmente nuevas para la ciencia, lo que la convierte

en un sitio prioritario para la conservación de la fauna marina (Solís-Marín et al., 2009). Por otro lado, La Rosada es un sitio aparentemente poco perturbado, ubicado en la parte central de la línea de costa de la bahía; su playa es de tipo arenoso y tiene acceso restringido debido a que los terrenos contiguos son propiedad privada. De acuerdo con López-Urriarte et al. (2009), la zona submareal adyacente a esta playa es poco visitada por los buzos y pescadores locales por lo que son abundantes diferentes especies de gorgonáceos, peces y caracoles de mayor talla que permiten suponer que la zona se encuentra bien conservada. Aún cuando el presente estudio incrementa el inventario de equinodermos a 40 especies, incluyendo 7 registros nuevos para la costa de Jalisco, es necesario aumentar el esfuerzo de muestreo e implementar nuevas metodologías, ya que seguramente el uso de transectos en banda durante el día fue un factor limitante en el presente estudio debido a que muchas especies suelen tener hábitos nocturnos y cripticos; por lo que se recomiendan las técnicas de búsqueda directa y los muestreos nocturnos.

Los análisis de ordenamiento y clasificación mostraron, en la mayoría de los casos, bajas similitudes (< 40%) entre los sitios de la bahía, lo que sugiere que existe poca coincidencia en los grupos de especies de equinodermos. Aún así, los sitios con mayor riqueza (>18 especies) se agruparon frecuentemente demostrando cierta similitud en la composición de especies. Entre éstos, destacan las 2 islas de mayor extensión, Cocinas y Pajarera, junto con La Rosada y el islote La Colorada, localizados todos hacia el centro de la bahía y caracterizados por tener una considerable heterogeneidad de sustratos incluyendo fondos rocosos, arenosos y parches de corales pétreos de los géneros *Pocillopora* y *Porites*. Estos sitios tienen particular interés ya que algunas especies sólo se encontraron ahí, como estrella quebradiza *O. panamense* en isla Pajarera, el erizo *A. incisa* y los pepinos de mar *L. maccullochi* e *I. fuscus* en La Rosada. Los islotes El Novillo y El Mamut son hábitats particulares con riqueza intermedia que se separaron frecuentemente del resto de los sitios de la bahía. Éstos están localizados en un canal de corriente entre las 2 islas principales, el primero en una zona más protegida caracterizada por una barra de coral mono-específica de *Pocillopora damicornis* (Linnaeus, 1758). La barra incluye colonias vivas y muertas donde se registraron frecuentemente la estrella de mar *P. pyramidatus*, los erizos *E. thourarsii*, *D. mexicanum*, *C. coronatus* y agregaciones del pepino de mar *P. californicus*.

Es importante destacar que la riqueza de especies de bahía Chamela es superior a la encontrada en áreas más amplias del Pacífico mexicano, tal como la costa de Oaxaca donde se han registrado 30 especies (Zamora y Leyte-Morales, 2005; Benítez-Villalobos et al., 2008) y

similar a otras localidades insulares como el archipiélago de Revillagigedo donde se tienen registradas 44 especies (Honey-Escandón et al., 2008). La baja similitud de riqueza con Barra de Navidad, ubicada en la costa sur de Jalisco, puede deberse a que ésta es una localidad adyacente a una laguna costera afectada por el patrón de mareas y el aporte de agua dulce de los ríos que desembocan en la laguna (Rodríguez-Cajiga, 1993), las cuales son condiciones poco favorables para el desarrollo de la mayoría de especies de equinodermos. En el sur del Pacífico mexicano particularmente en el litoral de Oaxaca, se observa una menor riqueza de equinodermos debido al deterioro que presentan los arrecifes por las actividades humanas, principalmente el turismo (Zamora y Leyte-Morales, 2005; Benítez-Villalobos et al., 2008). Las diferencias en la riqueza de equinodermos entre las localidades del Pacífico mexicano podrían ser resultado de las distintas técnicas y esfuerzos de muestreo utilizados. Además, la extensión de las zonas estudiadas es diferente, ya que incluye bahías de tamaño diverso, islas e islotes, así como localidades costeras con características propias. Es bien conocido que la riqueza de especies es dependiente del área y tiempo muestreado (Rosenzweig, 1995), por lo que se sugiere tomar con precaución los resultados aquí mencionados.

El análisis de la distinción taxonómica de los sitios de la bahía permitió tener una visión más amplia de la riqueza respecto a las distintas categorías taxonómicas que constituyen los grupos de equinodermos. En general, isla Cocinas presentó no sólo la mayor riqueza de especies sino también una importante distinción taxonómica, seguida por isla Pajarera, La Rosada, La Colorada y Los Anegados. Todos estos sitios presentan una mayor variedad de jerarquías taxonómicas de alto orden y menor variabilidad en su diversidad taxonómica, lo que sugiere que son los sitios que aumentan la diversidad taxonómica de bahía Chamela y por lo tanto los que contribuyen de forma importante a la diversidad taxonómica de toda la región. El estudio de los distintos sitios a lo largo de la bahía resultó de gran relevancia para complementar el inventario taxonómico, lo cual es primordial para establecer estrategias de conservación y aprovechamiento de estos ecosistemas.

Finalmente, de acuerdo con el análisis de la diversidad taxonómica de las localidades del Pacífico mexicano, La Paz presenta la mayor riqueza de especies y la variación taxonómica promedio más alta, mientras que en Cabo Pulmo, isla Isabel, bahía Loreto y bahía Chamela se registró una riqueza intermedia más afin, y aunque presentan menos especies que La Paz, están mejor representadas respecto a las especies más comunes y mejor distribuidas de la región. Las estimaciones de Λ^+ mostraron una tendencia similar a Δ^+ , con excepción de La Entrega que se ubicó fuera del canal de confianza, lo que indica una

contribución baja a la diversidad taxonómica de la región. Este análisis permite reconocer la importancia de bahía Chamela al aporte de la diversidad de equinodermos de la región Pacífico tropical mexicano. La bahía tiene representada al menos el 20% de las especies de equinodermos comúnmente encontrados en aguas someras de esta región, por lo que puede considerarse como una de las localidades con mayor riqueza de especies del Pacífico oriental tropical (Maluf y Brusca, 2005; Solís-Marín et al., 2005) incluyendo las islas Galápagos (Hickman, 1998) y algunos países de Centroamérica como El Salvador y Nicaragua (Alvarado et al., 2010).

Actualmente, existen diferentes propuestas de desarrollo turístico para bahía Chamela además de una importante actividad pesquera de tipo artesanal. Precisamente, la pesquería de equinodermos se encuentra en desarrollo en México, siendo los erizos y los pepinos de mar los principales recursos debido a su demanda internacional, especialmente en el Oriente (Andrew et al., 2002; Herrero-Perezrul y Chávez, 2005; Jurado-Molina et al., 2009; Chávez et al., 2011). En bahía Chamela algunas de estas especies están bien representadas, por ejemplo el pepino de mar *I. fuscus*, que a finales del siglo pasado representó una pesquería de relevancia en la costa de Jalisco (Nuño-Hermosillo et al., 2006). Sin embargo, debido a su sobreexplotación, en la actualidad está en la categoría de protección especial (NOM-ECOL-059-SEMARNAP-2010).

Agradecimientos

A Brenda E. Hernández-Aguñaga y Arizbeth Alonso-Domínguez, por su apoyo en el trabajo de campo y laboratorio. A Alicia Durán-González, Alejandra Hernández-Herrejón y Alejandra Martínez-Melo del Laboratorio de Equinodermos (ICMYL-UNAM), por su ayuda en la determinación de las especies de ofiuros y erizos de mar. A Jorge Vega, jefe de la Estación de Biología Chamela (IBUNAM) por su apoyo y facilidades otorgadas durante el trabajo de campo en bahía Chamela. Este estudio es resultado de las investigaciones del cuerpo académico Ecosistemas Marinos y Pesquerías (UDU-CA-046) de la Universidad de Guadalajara.

Literatura citada

- Alvarado, J. J. y A. Chiriboga. 2008. Distribución y abundancia de equinodermos en las aguas someras de la Isla del Coco, Costa Rica (Pacífico Oriental). *Revista de Biología Tropical* 56:99-111.
- Alvarado, J. J., F. A. Solís-Marín y C. G. Ahearn. 2010.

- Echinoderm (Echinodermata) diversity in the Pacific coast of Central America. *Marine Biodiversity* 40:45-56.
- Andrew, N. L., Y. Agatsuma, E. Ballesteros, A. G. Bazhin, E. P. Creaser, D. K. A. Barnes, L. W. Botsford, A. Bradbury, A. Campbell, J. D. Dixon, S. Einarsson, P. K. Gerring, K. Hebert, M. Hunter, S. B. Hur, C. R. Johnson, M. A. Juinio-Menez, P. Kalvass, R. J. Miller, C. A. Moreno, J. S. Palleiro, D. Rivas, S. M. L. Robinson, S. C. Schroeter, R. S. Steneck, R. L. Vadas, D. A. Woodby y Z. Xiaoqi. 2002. Status and management of world sea urchin fisheries. *Oceanography and Marine Biology* 40:343-425.
- Benítez-Villalobos, F., E. Castillo-Lorenzano y G. S. González-Espinosa. 2008. Listado taxonómico de los equinodermos (Echinodermata: Asterozoa y Echinozoa) de la costa de Oaxaca en el Pacífico sur mexicano. *Revista de Biología Tropical* 56:75-81.
- Caso, M. E. 1961. Los equinodermos de México. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 338 p.
- Caso, M. E. 1978. Los equinoideos del Pacífico de México. Parte 1. Órdenes Cidariozoa y Aulodonta; Parte 2. México. 244 p.
- Caso, M. E. 1992. Los Equinodermos, Asterozoos, Ofiurozoos y Equinoideos de La Bahía de Mazatlán, Sinaloa. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM* 11:1-214.
- Chávez, E. A., M. L. Salgado-Rogel y J. Palleiro-Nayar. 2011. Stock Assessment of the warty sea cucumber fishery (*Parastichopus parvimensis*) of NW Baja California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports* 52:136-147.
- Cintra-Buenrostro, C. E., H. Reyes-Bonilla y O. Arizpe-Covarrubias. 1998. Los equinodermos (Echinodermata) del arrecife de Cabo Pulmo, Pacífico de México. *Revista de Biología Tropical* 46:341-344.
- Clarke, K. R. y R. M. Warwick. 1999. The taxonomic distinctness measure of biodiversity: weighting of step lengths between hierarchical levels. *Marine Ecology Progress Series* 184:21-29.
- Clarke, K. R. y R. N. Gorley. 2006. Primer v6: user manual and tutorial. Primer-E. Plymouth, UK.
- Colwell, R. K. 2006. EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples. <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/>; last access: 05.IX.2011.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 2008. Programa de conservación y manejo del Santuario Islas de Bahía Chamela. CONANP, México. 149 p.
- Cutress, B. M. 1996. Changes in dermal ossicles during somatic growth in Caribbean littoral sea cucumbers (Echinodermata: Holothurozoa: Aspidochirota). *Bulletin of Marine Science* 58:44-116.
- Deichmann, E. 1941. The Holothurozoa collected by "Velero" III and IV during the years 1932 to 1938. Part 1. Dendrochirota. *Allan Hancock Pacific Expedition* 8:61-153.

- Hendler, G. 2011. New light on the nomenclature, taxonomy, and biology of *Hemipholis* species (Echinodermata: Ophiuroidea: Ophiactidae). *Zootaxa* 3048:44-52.
- Herrero-Perezrul, M. D. y E. A. Chávez. 2005. Optimum fishing strategies for *Isostichopus fuscus* (Echinodermata: Holothuroidea) in the Gulf of California, Mexico. *Revista de Biología Tropical* 53(Suppl 3):357-366.
- Hickman, C. P. 1998. A Field Guide to Sea Stars and Other Echinoderms of Galápagos. Sugar Spring, Lexington, Virginia. 83 p.
- Holguín-Quiñones, O. E., H. Wright-López y F. A. Solís-Marín. 2000. Asteroidea, Echinoidea y Holothuroidea en fondos someros de la Bahía de Loreto, Baja California Sur, México. *Revista de Biología Tropical* 48:749-757.
- Honey-Escandón, M., F. A. Solís-Marín y A. Laguarda-Figueras. 2008. Equinodermos (Echinodermata) del Pacífico Mexicano. *Revista de Biología Tropical* 56(Suppl. 3):57-73.
- Jurado-Molina, J., J. S. Palleiro-Nayar y N. L. Gutiérrez. 2009. Developing a Bayesian framework for stock assessment and decision analysis of the red sea urchin fishery in Baja California, Mexico. *Ciencias Marinas* 35:183-193.
- Laguarda-Figueras, A., L. A. Hernández-Herrejón, F. A. Solís-Marín y A. Durán-González. 2009. México: Ofiuroides del Caribe mexicano y Golfo de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad: Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. 249 p.
- López-Uriarte, E. y E. Ríos-Jara. 2009. Reproductive biology of *Octopus hubbsorum* (Mollusca: Cephalopoda) along the central Mexican Pacific coast. *Bulletin of Marine Science* 84:109-121.
- López-Uriarte, E., E. Ríos-Jara, C. M. Galván-Villa, E. Juárez-Carrillo, I. Enciso-Padilla, E. G. Robles-Jarero y M. Pérez-Peña. 2009. Macroinvertebrados bénticos del litoral somero de Punta La Rosada, Bahía Chamela, Jalisco. *Scientia-CUCBA* 11:57-68.
- Magurran, E. A. 2004. Measuring biological diversity. Blackwell Publishing. London. 248 p.
- Maluf, L. Y. 1988. Composition and distribution of the Central Eastern Pacific Echinoderms. Natural History Museum of Los Angeles County, Technical Report No. 2. 242 p.
- Maluf, L. Y. y R. C. Brusca. 2005. Echinodermata. In *Listado y distribución de la macrofauna del Golfo de California, México*. Parte. 1. Invertebrados, M. E. Hendrickx, R. C. Brusca and L. T. Findley. Museo Desierto Arizona-Sonora, Tucson. p. 327-343.
- Nepote-González, A. C. 1998. Holoturias (Echinodermata: Holothuroidea) de las Islas Marietas, Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit, México. Tesis. CUCBA, Universidad de Guadalajara. 80 p.
- Nuño-Hermosillo, A., J. L. Gómez-Márquez, E. Espino-Barr y E. Ríos-Jara. 2006. Aspectos biológico-pesqueros de la población del pepino de mar *Isostichopus fuscus* en Chamela, Jalisco, México. In *Recursos marinos y acuícolas de la Región de Jalisco, Colima y Michoacán*, M. C. Jiménez-Quiroz, E. Espino-Barr y R. M. Guzmán-Barrera (eds.). CRIP-Manzanillo, Instituto Nacional de la Pesca. p. 463-473.
- Ortiz-Pérez, M. 1992. El litoral y el mar adyacente. In *Enciclopedia temática de Jalisco, Tomo I (Geografía)*. Gobierno del Estado de Jalisco. Guadalajara. p. 71-85.
- Ríos-Jara, E., C. M. Galván-Villa y F. C. Solís-Marín. 2008a. Equinodermos del Parque Nacional Isla Isabel, Nayarit, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 79:131-141.
- Ríos-Jara, E., E. López-Uriarte, M. Pérez-Peña, I. Enciso-Padilla, J. L. Arreola-Robles, A. Hermosillo-González y C. M. Galván-Villa. 2008b. Listados taxonómicos de la biota marina del Parque Nacional Isla Isabel (invertebrados, peces y macroalgas). Laboratorio de Ecosistemas Marinos y Acuicultura Departamento de Ecología, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA). Universidad de Guadalajara. 194 p.
- Rodríguez-Cajiga, S. 1993. Macrofauna de la Laguna Barra de Navidad, Jalisco. In *Biodiversidad Marina y Costera de México*, S. I. Salazar-Vallejo y N. E. González (eds.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Centro de Investigaciones de Quintana Roo. México. p. 499-508.
- Rosenzweig, M. L. 1995. Species diversity in space and time. Cambridge University Press. Reino Unido. 436 p.
- Schneider, K., J. Silverman, E. Woolsey, H. Eriksson, M. Byrney y K. Caldeira. 2011. Potential influence of sea cucumbers on coral reef CaCO₃ budget: A case study at One Tree Reef. *Journal of Geophysical Research Biogeosciences* 116, G04032, doi: 10.1029/2011JG001755.
- Silva-Segundo, C. A., R. Funes-Rodríguez, M. Hernández-Rivas, E. Ríos-Jara, E. G. Robles-Jarero y A. Hinojosa-Medina. 2008. Asociaciones de larvas de peces en relación a cambios ambientales en Bahía Chamela, Jalisco y Santiago-Manzanillo, Colima (2001-2002). *Hidrobiológica* 18:89-103.
- Solís-Marín, F. A., M. D. Herrero-Pérezrul, A. Laguarda-Figueras y J. Torres-Vega. 1993. Asteroideos y Equinoideos de México (Echinodermata). In *Biodiversidad Marina y Costera de México*, S. I. Salazar-Vallejo y N. E. González (eds.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Centro de Investigaciones de Quintana Roo. México. p. 91-105.
- Solís-Marín, F. A., H. Reyes-Bonilla, M. D. Herrero-Pérezrul, O. Arizpe-Covarrubias y A. Laguarda-Figueras. 1997. Sistemática y distribución de los equinodermos de la bahía de La Paz. *Ciencias Marinas* 23:249-263.
- Solís-Marín, F. A., A. Laguarda-Figueras, A. Durán-González, C. Gust-Ahearn y J. Torres-Vega. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical* 53(Suppl. 3):123-137.

- Solis-Marín, F. A., A. R. Mariscal-Borbolla, M. S. Hernández-Leal y A. Laguarda-Figueras. 2008. Diversity of echinoderms at Isla Cocinas, Bahía de Chamela, at the Mexican Central Pacific. *In* Abstracts of the Fifth North American Echinoderm Conference, Turner, R. L. and J. B. McClintock (eds.). Melbourne, Florida. p. 165.
- Solis-Marín, F. A., J. A. Arriaga-Ochoa, A. Laguarda-Figueras, S. C. Frontana-Uribe y A. Durán-González. 2009. Holoturoideos (Echinodermata: Holothuroidea) del Golfo de California. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad e Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. 177 p.
- Verrill, A. E. 1871. Notes on the Radiata in the Museum of Yale College, with descriptions of new genera and species. Additional observations on echinoderms, chiefly from the Pacific Coast of America. *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences* 1:568-593.
- Warwick, R. M. y K. R. Clarke. 1995. New biodiversity measures reveal a decrease in taxonomic distinctness with increasing stress. *Marine Ecology Progress Series* 129: 301-305.
- Zamorano, P. y G. E. Leyte-Morales. 2005. Cambios en la diversidad de equinodermos asociados al arrecife coralino de La Entrega, Oaxaca, México. *Ciencia y Mar* 9:19-28.