



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL
ESTRUCTURA COMUNITARIA DE EQUINODERMOS DEL
GOLFO DE MÉXICO Y MAR CARIBE

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN MANEJO DE ZONA COSTERA

PRESENTA:

BIÓL. VICENTE ENRIQUE GÜEMEZ PÉREZ

DIRECTOR:

DRA. CARMEN AMELIA VILLEGAS SÁNCHEZ

CO-DIRECTOR:

DR. HORACIO PÉREZ ESPAÑA

CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, DICIEMBRE 2015

Dedicatoria

A mi directora y asesora de tesis la Dra. Carmen Amelia Villegas Sánchez por haberme dirigido y aconsejado durante la elaboración de este trabajo y por la paciencia que me tuvo, muchas gracias.

A mi Co-director y asesor de tesis del Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías de la Universidad Veracruzana el Dr. Horacio Pérez España por haberme dirigido y aconsejado durante la elaboración de este trabajo, y por la paciencia que me tuvo muchas gracias.

Al proyecto de Conectividad y funcionamiento de comunidades arrecifales del Golfo de México y mar Caribe. SEP-CONACyT septiembre 2012 – Agosto 2015 por proporcionarnos los datos de inventario de Equinodermos para el análisis.

A la DGEST por haberme seleccionado dentro del Programa de Capacitación Estudiantil de los Programas de Posgrado Habilitado por la Dirección General de Educación Superior Tecnológica, a partir de la convocatoria septiembre 2013 - 2014 del Posgrado de Manejo de Zona Costera.

Al CONACYT por haberme seleccionado dentro del Programa Estudiantil de Posgrado, a partir de la convocatoria septiembre 2014 - 2015 hasta la conclusión del Posgrado de Manejo de Zona Costera.

Agradezco a la Universidad Veracruzana, Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías por aceptarme en mi estancia y contribuir a mi formación de este trabajo.

A mi esposa y mis padres por estar al pendiente de mí, por sus consejos, motivación y apoyo. Gracias.

A mis compañeros y amigos de la maestría de esta segunda generación: Ángela, Nayeli, Víctor y Carlos en general por brindarme su amistad y consejos, gracias.

A mi amigo Eloy Gayosso Soto y familia por sus consejos, asesorías y motivación de la maestría. Gracias.

Al Dr. Leopoldo Cutz Pool por sus asesorías brindadas en este trabajo, Gracias.

A mis revisores en el Instituto Tecnológico de Chetumal, al M. C. Héctor Ortiz León, y al M. C. José M. Castro Pérez, por sus asesorías brindadas en este trabajo, Gracias.

Agradezco a los profesores de la maestría que contribuyeron a mi formación como maestro en manejo de zona costera. Gracias.

Y por último a mi casa de estudios de Quintana Roo, el Instituto Tecnológico de Chetumal, por ser orgullosamente parte de ella... por siempre Mapaches

I. Índice general

Índice general.....	I
Índice de tablas.....	II
Índice de figuras.....	III
Resumen.....	IV
1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. ANTECEDENTES.....	12
3. JUSTIFICACION.....	15
4. HIPÓTESIS.....	16
5. OBJETIVOS.....	17
5.1 Objetivos general.....	17
5.2 Objetivos específicos.....	17
6. ÁREA DE ESTUDIO.....	18
6.1 Banco de Campeche (BC)	18
6.1.1 Arrecife Triangulo (T).....	18
6.1.2 Cayo Arenas (CA)	18
6.1.3 Arrecife Alacranes (A).....	18
6.2 Caribe Mexicano (CM).....	18
6.2.1 Puerto Morelos (PM).....	18
6.2.2 Isla de Cozumel (IC).....	18
7. METODOLOGÍA.....	20
7.1 Campo.....	20
7.2 Gabinete.....	20
7.2.1 Parámetros ecológico.....	20
7.2.2 prueba de de diferencias.....	22
7.2.3 Índice de similitud.....	22
8. RESULTADOS.....	25
8.1 Curvas de acumulación de especie.....	25
8.1.1 Curva de acumulación de especie por región.....	25
8.1.2 Curva de acumulación de especie del Banco de Campeche...	26
8.1.3 Curva de acumulación de especie del Caribe mexicano.....	27
8.2 Descripción de la comunidad.....	28
8.3 Diversidad Alfa.....	34
8.3.1 Nivel región.....	34
8.3.2 Nivel arrecife.....	34
8.3.3 Nivel arrecife/ profundidad.....	35
8.4 Prueba de determinación de diferencias para regiones y arrecifes.....	36
8.4.1 Prueba U de Mann- Whitney- Wilcoxon para regiones.....	36
8.4.2 Prueba de Kruskal Wallis por arrecifes.....	36
8.5 Análisis de similitud.....	37
8.5.1 Nivel arrecife.....	37
8.6 ANOSIM.....	39
8.6.1 Nivel región.....	39
8.6.1 Nivel arrecife.....	39
8.7 Contribución de las especies SIMPER.....	41
8.7.1 Contribución de las especies por región.....	41
8.7.2 Contribución de las especies por arrecife.....	42
9. DISCUSIÓN.....	46
10. CONCLUSIONES.....	50
11. LITERATURA CITADA.....	52

II. Índice de tablas

Tabla 1. Clases, Órdenes, Familias y especies que se registraron durante todo el estudio.....	29
Tabla 2. Número de individuos muestreados por especie y por arrecife.....	31
Tabla 3. Porcentaje global de cada especie.....	32
Tabla 4. Valores de riqueza (S), abundancia (N), equidad (J') y diversidad (H') para las regiones. BC= Banco de Campeche; CM= Caribe mexicano.....	33
Tabla 5. Valores de riqueza (S), abundancia (N), equidad (J') y diversidad (H') para las regiones.....	34
Tabla 6. Valores de riqueza (S), abundancia (N), equidad (J') y diversidad (H') para los arrecifes. T= Triángulos; A= Alacranes; CA=Cayo Arenas; IC= Isla de Cozumel; PM= Puerto Mórelos	34
Tabla 7. Valores de riqueza (S), abundancia (N), equidad (J') y diversidad (H') para los arrecifes estudiados y sus profundidades.....	35
Tabla 8. Valores de diferencia entre los arrecifes.....	36
Tabla 9. Valores de similitud entre arrecifes usando el índice de similitud de Bray Curtis. A Alacranes, CA Cayo Arenas, IC Isla de Cozumel, PM Puerto Morelos, T Triángulos.....	37
Tabla 10. Niveles de significancia y valores del estadístico R de las distintas combinaciones de arrecifes.....	40
Tabla 11. Porcentaje de similitud (SIMPER) para la región del BC. La región del BC mostro un porcentaje de similitud 18.52 %.....	41
Tabla 12. Porcentaje de similitud (SIMPER) para la región del CM. La región del CM mostro un porcentaje de similitud 6.49 %.....	42
Tabla 13. Porcentaje de similitud (SIMPER) del arrecife A. El arrecife A mostro un porcentaje de similitud 2.12 %. A= Alacranes.....	43

Tabla 14. Porcentaje de similitud (SIMPER) del arrecife CA. El arrecife CA mostró un porcentaje de similitud 25.21 %. CA=Cayo Arenas.....43

Tabla 15. Porcentaje de similitud (SIMPER) del arrecife T. El arrecife T mostró un porcentaje de similitud 58.33 %. T= Triángulos.....44

Tabla 16. Porcentaje de similitud (SIMPER) del arrecife C. El arrecife C mostró un porcentaje de similitud 10.50 %. IC= Cozumel.....44

Tabla 17. Porcentaje de similitud (SIMPER) del arrecife PM. El arrecife PM mostró un porcentaje de similitud 6.20 %. PM= Puerto Mórellos.....45

III. Índice de figuras

Figura 1. Ubicación de los arrecifes estudiados. En cada uno de los nombres se marcan las abreviaciones de los arrecifes.....	19
Figura 2. Curvas de acumulación de especies del Banco de Campeche (A) y Caribe mexicano (B), utilizando Chao 1 y Bootstrap.....	25
Figura 3. Curvas de acumulación de especies de los arrecifes del Banco de Campeche utilizando Chao 1 y Bootstrap. Alacranes (A), Cayo Arenas (B) y Triángulos (C).....	26
Figura 4. Curvas de acumulación de especies de los arrecifes del Caribe mexicano utilizando Chao 1 y Bootstrap. Cozumel (A) y Puerto Morelos (B).....	27
Figura 5. Abundancia porcentual global de equinodermos por arrecife.....	30
Figura 6. Similitud entre arrecifes de acuerdo con su comunidad de equinodermos a través de un análisis nMDS. T= Triángulos; A= Alacranes; CA=Cayo Arenas; C= Cozumel; PM= Puerto Mórelos	38
Figura 7. Conectividad de los arrecifes de acuerdo de acuerdo a los valores de Shannon.....	38

IV. Resumen

Los equinodermos son organismos importantes en los sistemas arrecifales ya que actúan como recicladores de material orgánico (detritívoros) y son controladores biológicos de las poblaciones de algas (herbívoros). El estudio de los equinoideos en México se ha enfocado mayoritariamente a la generación de listados, y los trabajos sobre estructura, función, ciclos de vida y dispersión son escasos, sobre todo en el Golfo de México y Caribe mexicano. El objetivo de este trabajo fue examinar y comparar la estructura comunitaria así como la diversidad de los equinodermos en el Banco de Campeche y el Caribe mexicano. En la región del Banco de Campeche se muestrearon los arrecifes de Triángulos, Cayo Arenas y Alacranes, y en el Caribe mexicano fueron Puerto Morelos y Cozumel. En cada sitio se censaron los equinoideos mediante transectos de banda de 25 x 2 m a dos profundidades (< 8 m y ≥ 8 m), con un total de 12 transectos por sitio: seis para aguas someras y seis para aguas profundas. Se estimaron los valores de riqueza, abundancia de especies, índice de diversidad de Shannon (H') y equidad de Pielou (J'). Se realizaron prueba de Kruskal-Wallis para observar si existen diferencias significativas entre los arrecifes. Se utilizó el índice de Bray curtis para observar la similitud entre los sitios y los resultados modelaron en un plano mediante un escalamiento multidimensional no-métrico (nMDS). Se utilizó el SIMPER para medir la contribución a la diversidad de los diferentes niveles espaciales. Los resultados indicaron que el Caribe mexicano es más diverso, mientras que en el Banco de Campeche existe una mayor abundancia. Las especies *Diadema antillarum*, y *Echinometra viridis*, ambas pertenecientes al grupo de los erizos, representaron alrededor del 88% de la abundancia total. Los resultados de los índices de diversidad nos mostraron un patrón, el cual indica que la diversidad disminuye mientras los arrecifes se encuentran más alejados geográficamente del Caribe mexicano. En el análisis de similitud los arrecifes de Alacranes y Puerto Morelos, ubicados en el banco de Campeche y Caribe, respectivamente, presentaron la mayor similitud; lo cual indicaría una conectividad entre las regiones estudiadas. El análisis de ordenamiento (NMDS) mostró diferencias al agrupar los arrecifes por regiones. Esto demuestra que los grupos de equinodermos se diferencian tanto a un nivel regional como arrecifal si se relación la composición faunística que disminuye conforme a la distancia Caribe mexicano- Banco de Campeche. El presente trabajo es un estudio pionero en observar que existe una relación entre estas regiones. Cada uno de los arrecifes forma parte fundamental de un corredor biológico en el transporte larval, lo cual muy probablemente permite la conectividad entre estas regiones separadas por >500 km. Cabe destacar la necesidad de ampliar las investigaciones y hacer comparaciones con otros sistemas arrecifales como el arrecife Arcas, el Sistema Arrecifal Veracruzano y Tuxpan, para tener una mejor interpretación de la dispersión detallada de este grupo y sustentar lo ya observado con el presente trabajo.

Palabras claves:

Sistemas arrecifales, equinoideos, diversidad y abundancia

1. Introducción

El termino *Echinodermata* (Brugiere, 1791) proviene del griego *echinos*: espinoso y *dermatos*: piel; además, Equinodermata es un phylum que se encuentra dividido en cinco clases: *Crinoidea* (lirios de mar), *Asteroidea* (estrella de mar), *Ophiuroidea* (estrellas frágiles), *Echinoidea* (erizos de mar) y *Holothuroidea* (pepino de mar); (Calva, 2003). Los equinodermos en general se caracterizan por tener una simetría **pentarradial**, y ser **deuterostomados** (Solís et al. 2014), además de poseer placas calcáreas de carbonato de calcio que pueden ser articuladas o formando un caparazón sobre el cual se desarrollan espinas. Son organismos **dioicos**, con una alta frecuencia de especies hermafroditas, poseen un sistema circulatorio abierto, carecen de corazón cuentan con un sistema excretor poco desarrollado y son organismos exclusivamente marinos que se localizan en todos los mares del mundo (desde las aguas someras hasta zonas de grandes profundidades) (Pérez, 2005).

La clase *Equinoidea* (erizos de mar) agrupa organismos carentes de brazos, su movilidad es gracias a la acción coordinada entre sus podios y sus espinas móviles; tienen un cuerpo cubierto de espinas y constituido por numerosas placas calcáreas unidas que forman un caparazón rígido; son de forma globosa o discoidal; tienen un sistema digestivo y reproductor completo; son organismos bentónicos de lento desplazamiento; frecuentemente están congregados en densas poblaciones (Calva, 2003).

La clase *Holothuridea* (pepinos de mar) está formada por organismos de cuerpo vermiforme (cilíndrica en forma de gusano) y blando, su cavidad oral está rodeada por una serie de pequeños tentáculos que los ayudan en la alimentación, y en la parte extrema cuentan con un ano. La movilidad de los pepinos de mar es por arrastre a través de la contracción de los músculos de su pared corporal, por lo que son considerados bentónicos. Tienen una simetría bilateral. Son tolerantes a altos niveles de radiactividad y su mecanismos alimenticios es de tipo **dentrivoro**. El mayor número de equinodermos abisales están representado por los pepinos de mar (Calva; 2003). Estos organismos se han adaptado a las grandes presiones y su éxito de supervivencia está relacionado a su forma de alimentación.

La clase *Asteroidea* (estrellas de mar) es una de las más diversas dentro del phylum *Echinodermata* (Pawson, 2007), son organismo bentónicos, con cuerpos aplanados formados por un disco central con cinco brazos o más, la estructura superior

del cuerpo puede ser lisa, granular o espinosa, y está cubierta con placas superpuestas; se desplazan gracias a la actividad de los miles de podios ubicados en el centro en la parte inferior. Las estrellas de mar tienen la capacidad de regenerar brazos dañados y presentar una reproducción sexual y asexual. Se distribuyen en todos los mares del mundo (Serrato et al. 2011).

La clase *Ofiuroidea* (estrellas falsas) es la de mayor representación y la mejor registrada en todas las latitudes del mundo. Son organismos que utilizan la flexibilidad de sus cinco brazos que salen de un disco central para desplazarse, aunque también intervienen los **podios** localizados en parte central inferior del cuerpo. Las estrellas falsas son de cuerpo pequeño con largos brazos, carecen de un sistema anal por lo que su tubo digestivo es incompleto. Se localizan desde la zona intermareal hasta las aguas oceánicas con mayor profundidad. Los ofiuroideos y los asteroideos son grupos hermanos evolutivamente hablando (Pérez et al. 2005).

La clase *Crinoidea* (lirios de mar) son organismos que se fijan en un sitio y se extienden en un cuerpo cilíndrico de estructura calcárea con un aspecto ramificado en sus brazos; en la parte extrema superior cuentan con una serie de brazos a manera de tentáculos. Poseen espinas, tiene una simetría pentarradial y se localizan desde la zona intermareal hasta profundidades abisales, aunque son más frecuentes por encima de los 100 m.

En México, se han registrado aproximadamente 600 especies de equinodermos en ambos litorales, este registro representa alrededor del 10% de las 6500 especies existentes en el mundo (Solís et al. 1998). La clase *Crinoidea* es la menos representada con 29 especies (4% para México), la clase *Ophiuroidea* presenta la mayor riqueza con 197 especies (31%); la clase *Asteroidea* es la segunda mejor representada con 185 especies (29%) y la clase *Echinoidea* es la tercera más rica con 119 especies (19%). Finalmente, de la clase *Holothuroidea* se han reportado 113 especies (17%) (Solís et al. 2014).

Las especies que se registran con mayor frecuencia en los litorales del golfo de México pertenecen a los *Crinoideos* (González et al. 2005). En el golfo de México existe una mayor diversidad de especies de equinodermos en comparación con el Pacífico

(González et al. 2005). Existe evidencia que la gran mayoría de las investigaciones han sido realizadas en aguas someras y en sistemas arrecifales, pero se cree que si las exploraciones se ampliaran a ambientes con mayor profundidad el número de registros aumentaría (Alvarado et al. 2008).

Existen pocas investigaciones y trabajos realizados para las especies del Caribe mexicano, en comparación con las investigaciones y registros de especies para el golfo de México y golfo de California (Figueras et al. 2005). Considerando las características de las aguas del Caribe mexicano, como la gran extensión del sistema arrecifal mesoamericano (incluyendo Belice, Honduras y Guatemala), que es un ambiente excelente para el desarrollo y alimentación de las poblaciones de equinodermos (Alvarado et al. 2008) y que presenta temperaturas cálidas, es posible que el número de registros de especies de equinodermos en la zonas sea mayor (Figueras et al. 2005).

Los equinodermos son importantes componentes de la fauna arrecifal (Solís et al. 2007); su importancia ecológica radica en que durante su alimentación o ramoneo (proceso de alimentación de algas y pasto marino), algunos organismos herbívoros, como es el caso de los erizos de mar, evitan el crecimiento de macro algas sobre el coral muerto y en cavidades de los mismos, llamándosele a este proceso pastoreo (Calva, 2003). Las especies de erizos *Echinometra viridis* y *Diadema antillarum* son especies que probablemente compiten por el alimento, y son capaces de ocasionar diferentes tipos de impacto sobre la abundancia de las macroalgas (Calva, 2003). De esta manera, estas dos especies son importantes en los hábitats arrecifales, ya que mantienen las poblaciones de algas, evitando su proliferación y la asfixia y muerte de los corales. Por su actividad de pastoreo *Echinometra viridis* y *Diadema antillarum* son considerados controladores biológicos y su pesca y extracción afectan de manera directa a los ecosistemas coralinos. Los pepinos de mar son organismos que constantemente remueven gran cantidad de sedimentos marinos por lo que son importantes para las comunidad bentónica (Calva, 2003). Por otra parte, también durante el proceso de alimentación, algunos equinoideos remueven una gran proporción de carbonato de calcio del exterior de la corteza de los corales, a lo que se le denomina proceso de bioerosion (Calva, 2003). Un ejemplo de este tipo de organismos es la estrella de mar *Acanthaster planci*. Este proceso de bioerosión puede ocasionar que los lugares que ocupaban corales, de los que se alimenta esta

estrella de mar, sean tomados rápidamente por algas y otros corales no formadores de arrecife (Solís-Marín et al. 2007).

Existen factores antropogénicos que han afectado de manera significativa a ciertas especies de equinodermos; por ejemplo la pesca del pepino de mar en el pacífico, donde existen registros de captura desde 1991 donde se extrajeron alrededor de 1000 toneladas de la especie *Isostichopus fuscus* (Reyes, 2008). A pesar de los esfuerzos de regular su extracción, aun existe la pesca ilegal. Actualmente se encuentran en la lista de especies protegidas cinco especies de pepino de mar (NOM- 058- ecol- 2001) (Solís et al. 2014). En el 2012 en el Diario Oficial de la Federación se estableció la veda permanente de extracción del pepino de mar en la península de Yucatán, exceptuando la zona entre la isla Arenas, Campeche y Progreso, donde se estableció una veda temporal del 2012 al 2013 para la recuperación de las poblaciones. En la actualidad varias estrella de mar son explotadas como artículos de artesanías o “souvenir”; y no existe regulación para evitar su extracción (Solís et al. 2014).

En el Atlántico mexicano existen tres grandes regiones con arrecifes coralinos: el Caribe, el Banco de Campeche y los arrecifes de Veracruz de gran importancia ecológica y económica. El presente estudio tiene como objetivo principal determinar y comparar la estructura comunitaria de los equinodermos de diferentes arrecifes del Caribe mexicano y el Banco de Campeche. Contribuirá a mejorar el conocimiento de la biodiversidad de este grupo de organismos y contribuirá a diferenciar la composición de especies entre las diferentes comunidades arrecifales. Finalmente, determinará las relaciones que guardan entre sí el número de especies a un nivel regional.

Es de vital importancia generar estudios ecológicos sobre las diferentes zonas arrecifales para mantener áreas protegidas y de conservación, esto nos permitirá entender que hay y como se relacionan la rica diversidad de especies de equinodermos que posee México en el Golfo y Caribe mexicano.

2. Antecedentes

En México los estudios de listados taxonómicos son los más relevantes. El último registro actualizado para México fue el desarrollado por Solís et al. (2014), en él se reportan 643 especies de equinodermos, la clase *Ophiuroidea* que es la más diversa con 197 especies, *Asteroidea* contiene 185 especies, *Echinoidea* 119 especies, *Holothuroidea* 113 especies y finalmente *Crinoidea* con 29 especies. Se considera que México posee endemismo de algunas especies de acuerdo con sus condiciones ambientales y ubicación geográfica de algunos sitios de registro (Solís et al. 2014).

Existen trabajos taxonómicos específicos para el océano pacífico; sus registros se basan en la Colección Nacional de Equinodermos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, reportan un total de 198 especies distribuidas en 111 géneros, 56 familias y 20 órdenes (Escandón et al. 2008). Los trabajos de registro para el golfo de California, se basan en la Colección Nacional de Equinodermos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, de la Universidad Nacional Autónoma de México, de los registros provenientes del National Museum of Natural History, de la Smithsonian Institution, Washington, D. C. Para el Golfo de California se han reportado 193 especies distribuidas en 108 géneros, 51 familias y 19 órdenes (Solís et al. 2005).

Para el Atlántico, Alvarado et al. 2008 elaboraron una lista de especies de equinodermos del Caribe Centroamericano, con un total de 253 especies, en 142 géneros, 63 familias y 27 órdenes. En 1995 se colectaron alrededor de 22 especies con recorridos desde Cartagena hasta el golfo de Urabá, a una profundidad de 30 a 380 m (Gonzales et al. 2002). En otra investigación de exploración a profundidad entre 200 y 550 m en el talud continental superior del Caribe colombiano, se colectaron 15 especies para el género *Holothuroideos* y 1 subespecie (Pérez et al. 2004).

Dentro de los trabajos taxonómicos para el Atlántico y golfo de México se puede mencionar el de González et al. (2005), quienes registraron un total de 206 especies, distribuidas en 160 géneros, 64 familias y 26 órdenes. Reportaron 31 nuevos registros, 16 para la clase *Asteroidea*, nueve para *Ophiuroidea*, uno para *Echinoidea* y cinco para *Holothuroidea*. Este estudio se llevó a cabo con registros de Tamaulipas, Veracruz,

Tabasco, Campeche, Yucatán y los registros de aguas profundas del Golfo mexicano. Para el Caribe mexicano, se cuenta con el listado elaborado por Figueras et al. (2005), quienes reportan un total de 178 especies distribuidas en 113 géneros, 51 familias y 22 órdenes. Para el 2006 reportan 30 nuevos registros: *Crinoidea* (3), *Asteroidea* (2), *Ophiuroidea* (11), *Echinoidea* (1), *Holothuroidea* (13). La colección y registro taxonómico actual contiene 924 especies, representadas en las cinco clases: *Crinoidea* (5), *Asteroidea* (18), *Ophiuroidea* (664), *Echinoidea* (184) y *Holothuroidea* (53); distribuidos en 15 ordenes, 22 familias, 30 géneros y 56 especies (Luna et al. 2006).

Existen pocos estudios sobre las condiciones ecológicas y la estructura comunitaria de los equinodermos en el mundo, en el continente, y sobre todo en México. La parte trófica de los equinodermos ha sido estudiada por diversos autores, como Calva (2003), quien generó un catalogo taxonómico que describe los hábitats, tipos y mecanismos de alimentación, así como adaptaciones morfológicas de los erizos de mar del género *Echinometra* y el pepino de mar *Holothuria*, por su importancia ecológica y económica. Luna et al. (2010), compararon la función comunitaria y trófica de los *Asteroideos* de los fondos rocosos, en dos regiones del Golfo de California: Loreto y Ligüi, registrando que para ambas regiones predominaron los herbívoros, seguidos por los detritívoros y finalmente los carnívoros.

Trabajos elaborados para Cuba, generaron un catálogo de los equinodermos de la región nerítico-bentónicos de los Archipiélagos cubanos; en ellos se describen e incluyen datos de distribución, tipo de hábitat y profundidad de adaptación. Se identificaron alrededor de 75 especies (Pérez et al. 2005).

Zamorano et al. (2009) describieron y caracterizaron la comunidad de equinodermos asociados a los arrecifes coralinos de la región de Zihuatanejo y Acapulco; registraron diez especies tres *Asteroideos*, seis *Echinoideos* y un *Holoturoideo*.

Herrero et al. (2008), elaboraron un estudio de diversidad en la bahía de los Ángeles, Baja California. Registraron cinco especies de erizos. La especie dominante fue *Arbacia incisa*, que representó el 89% de todos los individuos censados, seguida por *Eucidaris thouarsii* (7%). Las otras tres especies observadas fueron: *Centrostephanus coronatus*, *Toxopneustes roseus* y *Echinometra vanbrunti*, que sumaron apenas un 4% de

la abundancia. En este estudio las especies que aparecieron con más frecuencia fueron *Centrostephanus coronatus* y *Eucidaris thouarsii*, que se pudieron observar en casi todos los transectos.

González (2009) examinó y comparó la estructura comunitaria así como la diversidad morfológica de los erizos en el Sistema Arrecifal Veracruzano y los arrecifes de Cozumel. Estimó los valores de riqueza, abundancia de especies, índices de diversidad, equidad, distintividad taxonómica, diversidad morfológica y amplitud de nicho comparando entre localidades y entre profundidades con un análisis de varianza.

Villalobos (2001) caracterizó la comunidad de equinodermos en el sistema arrecifal de La Entrega y Casa Mixteca, en Huatulco, Oaxaca. Obtuvo que ambos lugares son significativamente diferentes. La entrega fue el lugar con menor diversidad de especies y lo asocian a la alta incidencia antropogénicas. Zamorano (2005), elaboró un estudio de cambios de diversidad de equinodermos asociados al arrecife coralino en La Entrega, Oaxaca, registrando 30 individuos distribuidos en 9 especies, con una dominancia del erizo *Hesperocidaris asteristicus* (23% de abundancia total).

Bolaños et al. (2005), realizó un estudio a nivel comunidad en la laguna arrecifal del Parque Nacional de Cahuita, Costa Rica; obtuvieron un total de 15 especies de equinodermos (un asteroideo, siete ofiuroideos, cinco equinoideos y dos holoturoideos) Adicionalmente, utilizando una cuadrícula de 1 m² compararon la fauna entre los sustratos coralinos y algas con pastos marinos y arena, reportando que en el sustrato coralino se presentó la mayor diversidad. El grupo de *Ofiuroideos* fue el más abundante con 170 individuos, y el menos abundante los *Asteroideos*.

3. Justificación

Los equinodermos son un grupo importante en la ecología de las comunidades arrecifales, ya que son capaces de controlar la sobreproducción de algas y pastos marinos que podrían asfixiar y matar a los corales. Se ha reportado que los patrones de diversidad y abundancia de este tipo de organismos se encuentran reguladas principalmente por la complejidad o heterogeneidad estructural del ambiente, así como por interacciones interespecíficas (Pawson, 2007). Sin embargo, estos patrones no se mantienen en el tiempo, lo que dificulta su estudio. En el Atlántico mexicano existen dos importantes regiones arrecifales (Caribe y Banco de Campeche), sin embargo existen pocos estudios sobre sus comunidades de equinodermos. Por todo ello es de vital importancia determinar la estructura comunitaria de los equinodermos en el Caribe y Banco de Campeche y con ellos generar conocimiento sobre cómo se encuentran actualmente sus poblaciones, compararlas y determinar las diferencias que existen.

La presente investigación utiliza análisis ecológicos para determinar las similitudes o disimilitudes faunísticas entre los equinodermos en las diferentes regiones de muestreos. Esto nos permitirá conocer las condiciones de las poblaciones e identificar aquellas especies que tienen una mayor representatividad, y como éstas se distribuyen a lo largo de los sistemas arrecifales.

4. Hipótesis

A partir de los datos obtenidos de las abundancias para cada región y arrecife, se determinará si existen diferencias significativas en cuanto a la composición de especies y abundancia de los cinco arrecifes y por región.

H0: Todos los sitios son iguales

H1: Al menos una de los sitios es diferente

5. Objetivos

5.1 Objetivo general

- Conocer la similitud en el ensamblaje de equinodermos del Caribe mexicano y banco de Campeche.

5.2 Objetivos Particulares

1. Estimar la abundancia, diversidad alfa y equidad de los equinodermos en diferentes sistemas arrecifales.
2. Estimar la similitud entre los arrecifes del banco de Campeche y Caribe mexicano, y establecer la contribución de cada una de las especies.

6. Área de estudio

6.1 Banco de Campeche

6.1.1 Arrecife Triángulos (T)

El arrecife se encuentra en los 20° 53' N y 92° 17' O, aproximadamente a 262 km al noreste de Ciudad del Carmen. Presenta tres arrecifes de plataforma sin laguna interior (Figura 1).

6.1.2 Cayo Arenas (CA)

Es un complejo de dos estructuras principales que se encuentran en los 22° 07' N y los 91° 23' O, aproximadamente a 362 km al noreste de Ciudad del Carmen (Figura 1).

6.1.3 Arrecife Alacranes (A)

Es un conjunto de pequeñas islas localizadas en el Golfo de México a una distancia aproximada de 130 km de la costa del municipio de Progreso, Yucatán entre los 20° 37' y 22° 20' N y entre los 89° 35' y los 89° 52' O (Figura 1).

6.2 Caribe mexicano

6.2.1 Puerto Morelos (PM)

El arrecife de Puerto Morelos es de tipo marginal, se encuentra a 30 km al sur de Cancún, empieza frente al puerto del mismo nombre y se extiende hacia el norte por aproximadamente 2 km. Se ubica entre los 20° 51' y 20° 49' N y entre los 86° 53' y 86° 52' O (Figura 1).

6.2.2 Isla Cozumel (IC)

Se ubica entre los 20° 29' y 20° 15' N y los 86° 56' y 87° 02' O. Los arrecifes de Cozumel se desarrollan principalmente en la porción sur del margen de sotavento, crecen en diferentes terrazas; en la parte superior se encuentran arrecifes de tipo marginal o de borde que crecen pegados a la costa a poca profundidad. (Figura 1)

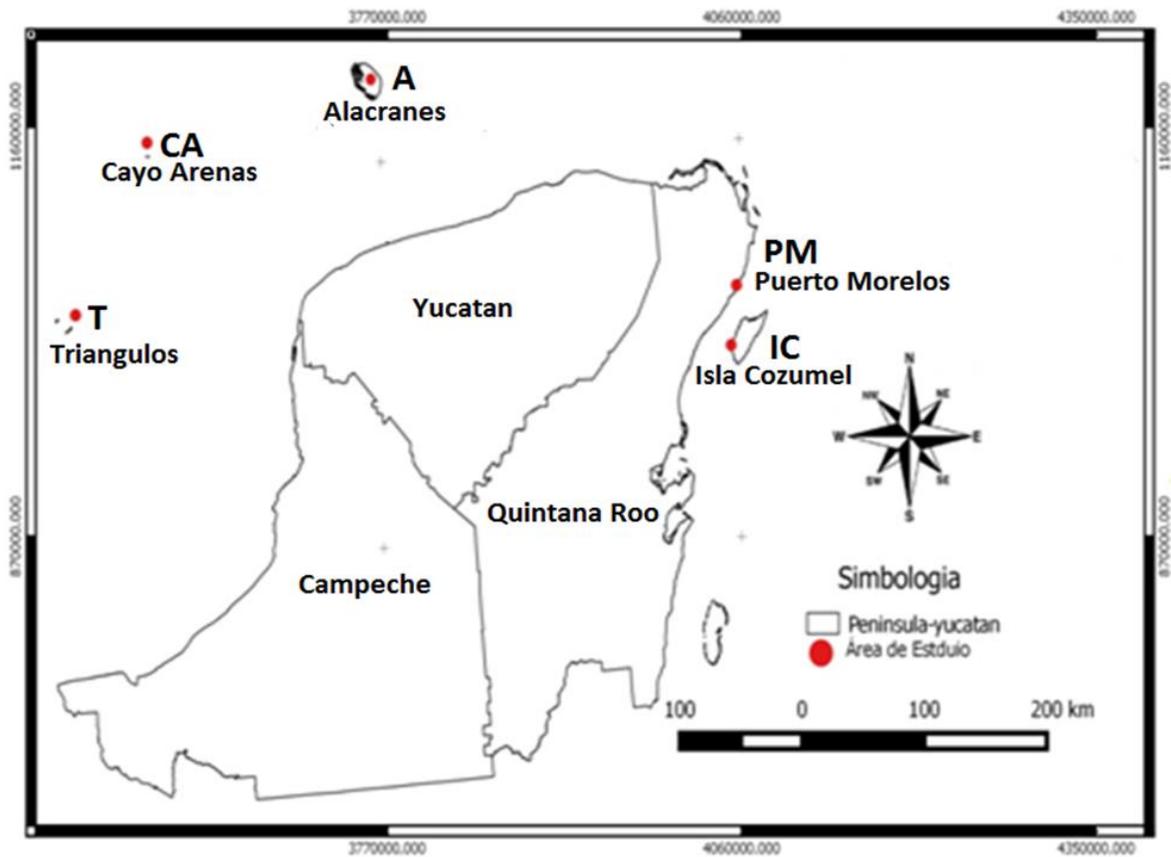


Figura 1. Ubicación de los arrecifes estudiados. En cada uno de los nombres se marcan las abreviaciones de los arrecifes.

7 Metodología

7.1 Campo

En el Caribe mexicano se muestrearon dos arrecifes: el Parque Nacional Arrecifes de Cozumel y el Parque Nacional Arrecifes de Puerto Morelos. En el Banco de Campeche se visitaron tres arrecifes: el Parque Nacional Arrecifes Alacranes, y los arrecifes Triángulos y Cayo Arenas. En cada uno de estos arrecifes se muestrearon tres sitios (norte, centro y sur) para contar con un muestreo representativo; este censo se tomó en los meses de mayo y julio del 2013.

Para cuantificar la abundancia de equinodermos, en cada sitio (norte, centro y sur) se hicieron 12 transectos de 25 × 2 m, seis para aguas someras (< 8 m) y seis para aguas profundas (≥ 8 m).

7.2 Gabinete

Los datos se colocaron en una tabla de Excel, en los casos en los que fue necesario se transformaron medidas de profundidad de pies a metros. El análisis de los datos se llevó a cabo sólo a dos niveles jerárquicos (arrecifes y regiones), exceptuando los análisis de diversidad alfa, ya que a niveles más finos las matrices resultantes contenían muchos ceros y esto afectaba la robustez de los análisis estadísticos.

Para demostrar si la eficiencia del muestreo fue adecuada en cada uno de los arrecifes se utilizaron curvas de acumulación de especies, utilizando los índices de Chao 1 y Bootstrap con 10,000 permutaciones.

7.2.1 Parámetros ecológicos

Abundancias

Para cada una de las regiones y de los arrecifes se calculó la abundancia total y relativa.

Diversidad Alfa (α)

La diversidad alfa nos sirve para determinar el número de especies a un nivel local, evalúa en una comunidad el número o riqueza de especies que compone un determinado lugar. Algunos índices toman en cuenta cuando existen pocas especies con un alto grado de dominancia, o cuando unas especies tienen una abundancia baja (Moreno, 2001), en estos índices, cuanto mayor sea la uniformidad de la comunidad, las distintas especies aparecerán de forma más equilibrada en cuanto a su proporción. Una comunidad será más diversa si, además de poseer un alto número de especies, posee además una alta uniformidad.

Para evaluar la diversidad alfa se usaron los siguientes índices de diversidad por región, arrecife y arrecife/profundidad:

Riqueza específica (S)

La riqueza específica (S) es la forma más sencilla de medir la biodiversidad, se basa únicamente en el número de especies presentes en una muestra, sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas (Moreno, 2001).

Índice de Shannon (H') (Shannon, 1948).

Este índice, es el más ampliamente empleado en ecología ya que considera tanto la riqueza en especies como su abundancia (Moreno, 2001). Se utilizó la base logarítmica base 10. Se utilizó la ecuación siguiente:

$$H' = \frac{n \log_2 n - \sum_{i=1}^S f_i \log_2 f_i}{n}$$

Donde:

n = número total de individuos

f_i = número de individuos de la especie i

Índice de Equidad de Pielou (J') (1969)

Estandariza el valor de H' en una escala simple (de 0 a 1) de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes (Moreno, 2001); y se representa de la siguiente manera:

$$J' = H'/\log S$$

H' es el índice de Shannon-Wiener ya definido.

S es el número de especies contadas en el censo.

7.2.2 Pruebas de determinación de diferencias

Prueba U de Mann-Whitney-Wilcoxon (Frank Wilcoxon, 1945)

Es una prueba no paramétrica con la cual se identifican diferencias entre dos poblaciones basadas en el análisis de dos muestras independientes, cuyos datos han sido medidos al menos en una escala de nivel ordinal.

Prueba de Kruskal-Wallis (Henry Kruskal y Allen Wallis, 1952)

Se aplicó un análisis de varianza no paramétrico de *Kruskal-Wallis*, este es utilizado para determinar si las medianas de dos o más grupos difieren cuando se cuenta con datos que no son simétricos. Esta prueba es una alternativa al ANOVA de un solo factor. Este análisis se utilizó para determinar si existen diferencias significativas en cuanto a la composición de especies y abundancia entre las dos regiones y los cinco arrecifes.

La hipótesis de la prueba de Kruskal-Wallis fue:

H0: Las k medianas son todas iguales

H1: Al menos una de las medianas es diferente

7.2.3 Índice de Similitud

Para evaluar la similitud entre arrecifes se utilizó el índice de similitud de Bray Curtis, y mediante un diagrama MDS se representó dicha matriz.

Índice de Bray Curtis (1947)

La distancia de Bray-Curtis mide la similitud, disimilitud o distancias que existen entre dos estaciones de muestreo; considera en conjunto la presencia de las especies. Los resultados de los cálculos pareados se representan por medio de un dendrograma, el cual consiste en reunir en dos o más grupos sitios de muestreo (Moreno 2001). El método de agrupación se realizó utilizando el promedio entre grupos de similitud. Se utilizó la ecuación 1:

$$B = \frac{\sum [X_{ij} - X_{ik}]}{\sum [X_{ij} + X_{ik}]}$$

B= media de Bray-Curtis entre las muestras j y k

S= número de especies

X_{ij}= número de individuos de la especie i en la muestra j

X_{ik}= número de individuos de la especie i en la muestra k

Análisis multivariante de nMDS

A partir de la matriz de similitud obtenida de Bray-Curtis se realizó un análisis de ordenación con la técnica de escalamiento multidimensional no métrico NMDS (Clarke y Warwick, 2001). Esta técnica es utilizada para expresar las similitudes entre diferentes asociaciones bióticas en un espacio definido, permitiendo que un conjunto de objetos pueda ser plasmado en un mapa de dos o tres dimensiones. Dicho mapa expresa la distancia relativa entre los puntos. Para confirmar si la posición de las localidades en la imagen muestra algún arreglo confuso y con un valor significativo, se tomó en cuenta que el nivel de stress, el cual no debe exceder de 0.10 (Clarke y Warwick, 2001).

SIMPER (porcentaje de similitud)

Este análisis aporta la contribución de cada especie (u otra variable) a la similitud observada (o disimilitud) entre los sitios. Este análisis permite identificar las especies que son más importantes en la creación del patrón observado de similitud. El método utiliza la medida de Bray-Curtis de similitud, comparando a su vez, cada muestra en el Grupo 1 con cada muestra en el Grupo 2. El método de Bray-Curtis opera a nivel de especie, y por lo tanto la similitud media entre los grupos 1 y 2 puede ser obtenido para cada especie (Clarke y Warwick, 2001).

ANOSIM

Es un método de análisis de datos multivariados ampliamente utilizado por los ecologistas. Se emplea principalmente para comparar la variación en la abundancia y composición de especies entre las unidades de muestreo (= diversidad Beta); en términos de algún factor de agrupación o niveles de tratamiento experimentales. La prueba ANOSIM es simplemente una versión modificada de la prueba de Mantel basado en un rango de correlación normalizado entre dos matrices de distancia. (Clarke y Warwick, 2001).

Rangos de (0 a 1):

R menor a 0 indica que las diferencias son mayores en los grupos de entre los grupos

R cercano a 0 indica que hay una alta similitud entre los sitios

R cercano a 1 indica disimilitud entre los grupos

Los análisis estadísticos se realizaron con los paquetes computacionales:

InfoStat/L versión 20151 (2008) para la Prueba de Kruskal-Wallis. El PRIMER 6 (Clarke y Warwick, 2006) para estimar la riqueza específica, el Índice de Shannon (H'), el Índice de Pielou (J'), el índice de Bray Curtis, el nMDS, las pruebas ANOSIM y SIMPER.

8 Resultados

8.1 Curvas de acumulación de especies

8.1.1 Curvas de acumulación de especies por región

Las curvas de acumulación de especies generadas a nivel regional por los estimadores no paramétricos Chao 1 y Bootstrap se muestran en la figura 2. Se registraron 15 en total para ambas regiones, el número observado de especies oscilaba entre 7 y 8 especies para el banco de Campeche y 13 y 14 especies para el Caribe mexicano, cifra que es cercana a la riqueza esperada. Ambos estimadores predicen que si se aumenta el esfuerzo de muestreo existe la posibilidad de encontrar una o dos especies más. Estos estimadores fueron calculados con un 95% de confiabilidad.

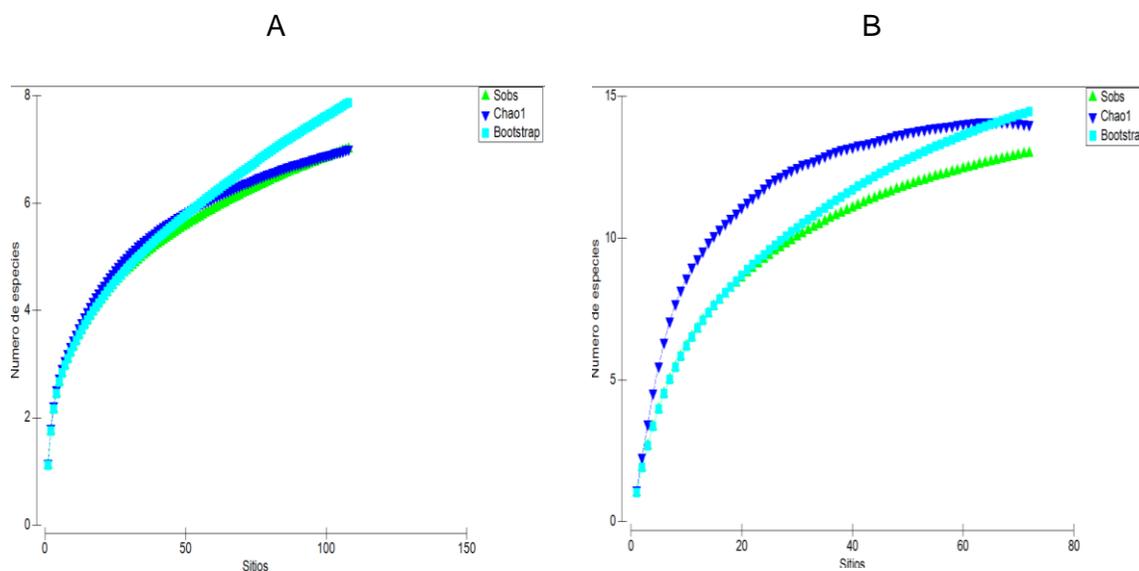


Figura 2. Curvas de acumulación de especies del Banco de Campeche (A) y Caribe mexicano (B), utilizando Chao 1 y Bootstrap.

8.1.2 Curvas de acumulación de especies por arrecifes del Banco de Campeche

Las curvas de acumulación de especies generadas a nivel arrecifes del Banco de Campeche por los estimadores no paramétricos Chao 1 y Bootstrap se muestran en la figura 3. A nivel de arrecife se encontró que para el arrecife Alacranes el número estimado de especies era de entre 5 utilizando Chao 1 y 6 empleando Bootstrap. Para el arrecife Cayo Arenas el número osciló alrededor de 3 para ambos métodos. El arrecife Triángulos osciló alrededor de 4 tanto por Chao 1 como por Bootstrap. Ambos estimadores predicen que si se aumenta el esfuerzo de muestreo abría la posibilidad de registrar 1 especie más. Estos estimadores fueron calculados con un 95 % de confianza.

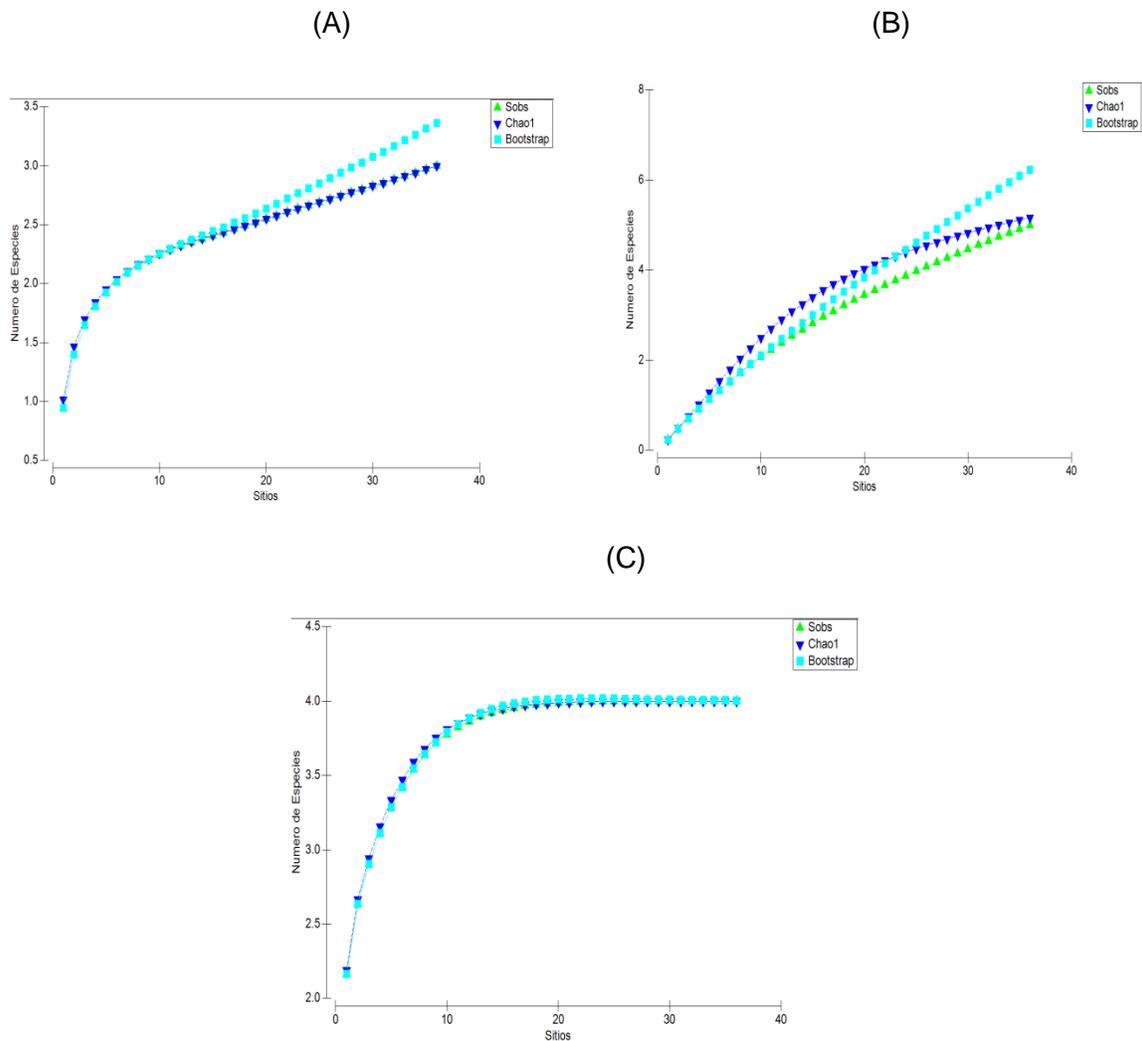


Figura 3. Curvas de acumulación de especies de los arrecifes del Banco de Campeche utilizando Chao 1 y Bootstrap. Alacranes (A), Cayo Arenas (B) y Triángulos (C)

8.1.3 Curvas de acumulación de especies por arrecifes del Caribe mexicano

Las Curvas de acumulación de especies generadas por los estimadores no paramétricos Chao 1 y Bootstrap a nivel arrecife para el Caribe se muestran en la figura 4. El número de especies en el arrecife Cozumel osciló alrededor de 13 con ambos métodos (Chao 1 y Bootstrap). Para el arrecife Puerto Morelos la riqueza estimada fue de 7 con Chao 1 y 8 utilizando Bootstrap. Ambos estimadores predicen que si se aumenta el esfuerzo de muestreo abra la posibilidad de encontrar una especie más. Estos estimadores fueron calculados con un 95 % de confiabilidad.

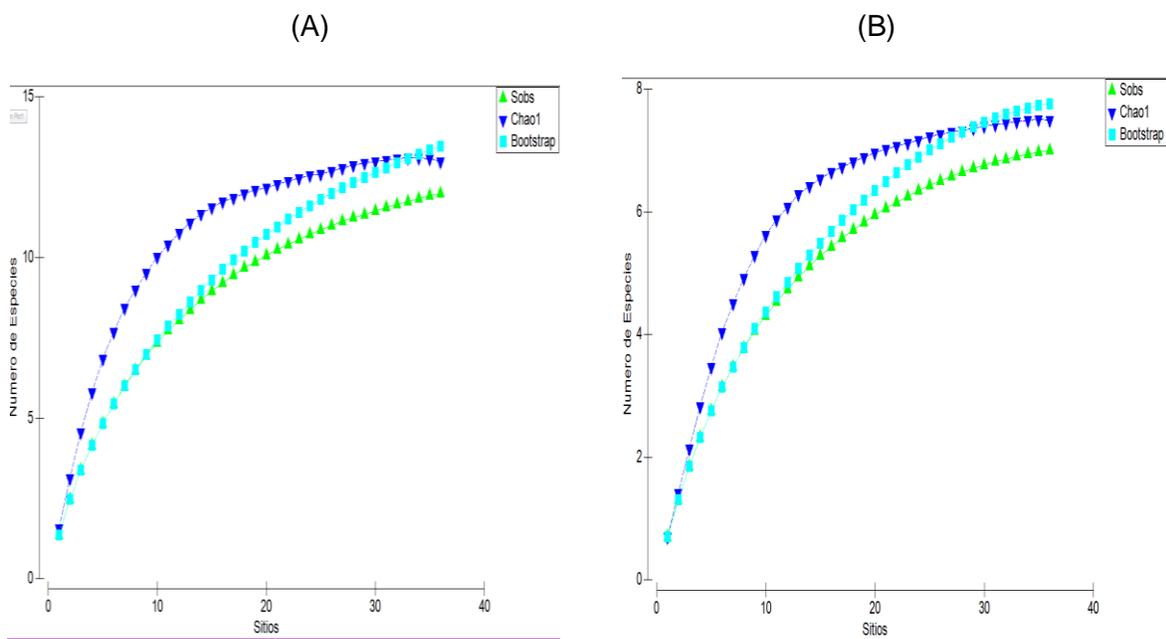


Figura 4. Curvas de acumulación de especies de los arrecifes del Caribe mexicano utilizando Chao 1 y Bootstrap. Cozumel (A) y Puerto Morelos (B).

8.2 Descripción de la comunidad

Se observaron 929 organismos en total, pertenecientes a 15 especies, 11 géneros, 11 familias, 8 órdenes y 4 clases (Tabla 1). Para el Banco de Campeche se registraron siete especies y 6 órdenes mientras que en el Caribe mexicano 14 especies y 8 órdenes.

La clase con el mayor número de especies registradas fue Crinoidea con seis especies; seguida de la clase Echinoidea con cinco especies; posteriormente Holothuroidea con tres especies y finalmente Ophiuroidea con una sola especie (Tabla 1).

La clase que registró el mayor número de órdenes fue Echinoidea con cuatro registros. La clase asteroidea, a donde pertenecen las estrellas de mar; es una clase que también pertenece al phylum Echinodermata, sin embargo en la tabla 1 no se colocó ya que no se observaron individuos.

El orden que registró el mayor número de familias fue el orden Ophiurida con dos familias pertenecientes a la clase Crinoidea. Al igual; el orden Aspidochirotida registro dos familias pertenecientes a la clase Holothuroidea.

Tabla 1. Se muestran los resultados globales de las clases, ordenes, familias y especies que se registraron durante todo el estudio.

Reino animal			
	Phylum	Echinodermata	
Clase	Orden	Familia	Especie
Clase Crinoidea	Orden Comatulida	Familia Comasteridae	<i>Davidaster discoidea</i>
			<i>Davidaster rubiginosa</i>
	Orden Ophiurida	Familia Ophiocomidae	<i>Ophiocoma echinata</i>
			<i>Ophiocoma paucigranulata</i>
			<i>Ophioderma appressum</i>
	Familia Ophiothricidae	<i>Ophiothrix suensonii</i>	
Clase Holothuroidea	Orden Aspidochirotida	Familia Holothuriidea	<i>Holothuria mexicana</i>
			<i>Holothuria thomasi</i>
		Familia Stichopodidae	<i>Isostichopus badionotus</i>
Clase Ophiuroidea	Orden Phrynophiurida	Familia Gorgonocephalidae	<i>Astrophyton muricatum</i>
Clase Echinoidea	Orden Arbacioida	Familia Arbaciidae	<i>Arbacia punctulata</i>
	Orden Diadematoidea	Familia Diadematridae	<i>Diadema antillarum</i>
	Orden Cidaroida	Familia Cidaridae	<i>Eucidaris tribuloides</i>
	Orden Camarodonta	Familia Echinometridae	<i>Echinometra lucunter</i>
<i>Echinometra viridis</i>			

La abundancia total fue de 929 individuos. La región del Banco de Campeche presentó la mayor abundancia con 804 individuos comparada con la del Caribe mexicano con 125 individuos. De los cinco arrecifes muestreados Triángulos fue el que presentó la mayor abundancia con un total de 646 individuos (70%), seguida de Cayo Arenas con 145 individuos (16%), a pesar de ser el arrecife con el menor número de especies registradas. El arrecife Alacranes fue el sitio con menor abundancia, con un total de 13 individuos (1%; Figura 5).

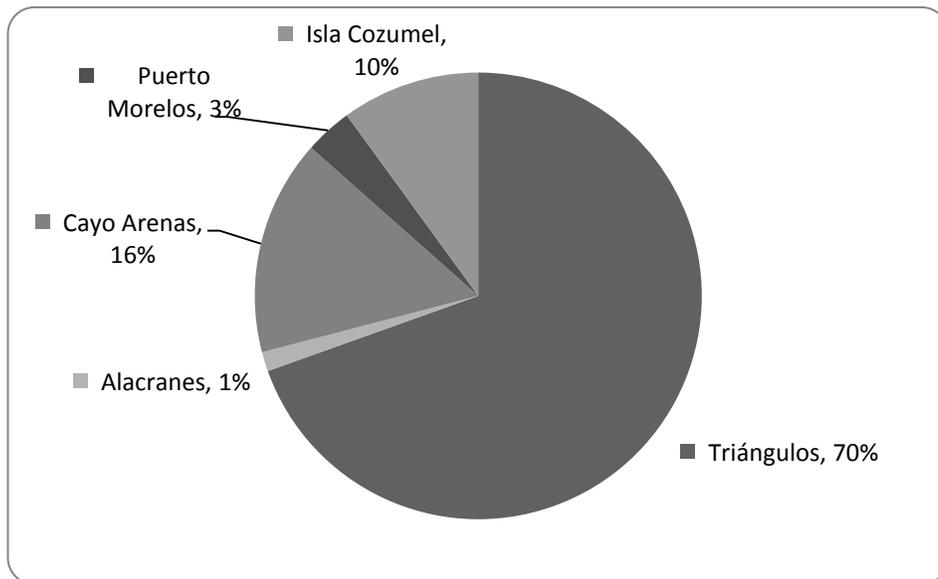


Figura 5. Abundancia porcentual global de equinodermos por arrecife.

La especie con la mayor abundancia fue *Diadema antillarum* con un total de 592 individuos, seguida de *Echinometra viridis* con 226 individuos; ambas especies estuvieron presentes en los cinco arrecifes (T, A, CA, PM y IC). La especies menos abundantes fueron *Isostichopus badionotus* y *Ophiocoma paucigranulata* con un solo individuo registrado (Tabla 2).

Tabla 2. Número de individuos muestreados por especie y por arrecife.

Especies	T	A	CA	Región		PM	IC	Región		Total Individuos
				BC				CM		
<i>Arbacia punctulata</i>							2	2		2
<i>Astrophyton muricatum</i>							3	3		3
<i>Davidaster discoidea</i>							2	2		2
<i>Davidaster rubiginosa</i>		2		2			5	5		7
<i>Diadema antillarum</i>	441	6	129	576		6	10	16		592
<i>Echinometra lucunter</i>	10			10						10
<i>Echinometra viridis</i>	182	1	14	197		5	24	29		226
<i>Eucidaris tribuloides</i>	13		2	15		11	4	15		30
<i>Holothuria mexicana</i>		2		2						2
<i>Holothuria thomasi</i>							3	3		3
<i>Isostichopus badionotus</i>						1		1		1
<i>Ophiocoma echinata</i>		2		2		2	5	7		9
<i>Ophiocoma paucigranulata</i>							1	1		1
<i>Ophioderma appressum</i>						3	1	4		4
<i>Ophiothrix suensonii</i>						4	33	37		37
Total Individuos región				804				125		929
Total Individuos arrecife	646	13	145			32	93			929

Al analizar el porcentaje con el que contribuye cada especie en ambas regiones (Banco de Campeche y Caribe mexicano), se puede observar que *Diadema antillarum* ocupa el 63.7%, seguido de *Echinometra viridis* con un 24.3%, estas dos especies comprendieron alrededor del 88.2%. Las especies *Ophiocoma paucigranulata* y *Isostichopus badionotus* son las especies con el menor porcentaje (0.1%; Tabla 3).

Tabla 3. Porcentaje con el que contribuye cada especie a la abundancia relativa.

<i>Especie</i>	Porcentaje relativo.
<i>Arbacia punctulata</i>	0.21
<i>Astrophyton muricatum</i>	0.32
<i>Davidaster discoidea</i>	0.21
<i>Davidaster rubiginosa</i>	0.75
<i>Diadema antillarum</i>	63.72
<i>Echinometra lucunter</i>	1.07
<i>Echinometra viridis</i>	24.32
<i>Eucidaris tribuloides</i>	3.23
<i>Holothuria mexicana</i>	0.21
<i>Holothuria thomasi</i>	0.32
<i>Isostichopus badionotus</i>	0.11
<i>Ophiocoma echinata</i>	0.97
<i>Ophiocoma paucigranulata</i>	0.11
<i>Ophioderma appressum</i>	0.43
<i>Ophiothrix suensonii</i>	3.98

La isla de Cozumel fue el arrecife con el mayor número de especies con un total de 12 sp. (Tabla 5), en este arrecife se muestrearon cinco especies que no se registraron para ningún otro arrecife. El segundo arrecife con mayor número de especies fue Puerto Morelos, con seis especies; tanto IC como PM pertenecen a la región del Caribe mexicano. Los arrecifes restantes (T, A y CA) fueron los sitios con el menor número de especies, y pertenecen a la región del Banco de Campeche. Cayo Arenas fue el arrecife con menor número de especies con un total de tres (Tabla 4).

Tabla 4. Total de especies registradas para cada arrecife.

Arrecife	Número de especies
Cayo Arenas	3 spp.
Arrecife Triangulo	4 spp.
Arrecife Alacranes	5 spp.
Puerto Morelos	6 spp.
Isla de Cozumel	12 spp

8.3 Diversidad alfa

8.3.1 Nivel región

Los resultados de los índices de diversidad alfa indicaron que el Caribe mexicano (CM) mostró la mayor riqueza (13 especies), diversidad ($H' = 0.871$) y equidad ($J' = 0.782$), comparada con el Banco de Campeche. Sin embargo, en cuanto a las abundancias el Banco de Campeche (BC) registró el mayor valor de abundancia con 804 organismos censados (Tabla 5).

Tabla 5. Valores de riqueza (S), abundancia (N), equidad (J') y diversidad (H') para las regiones.

Sitios	S	N	J'	H'(log10)
Banco de Campeche	7	804	0.389	0.329
Caribe mexicano	13	125	0.782	0.871

8.3.2 Nivel arrecife

A nivel de arrecifes, Isla de Cozumel mostró la mayor riqueza (12 especies) y diversidad ($H' = 0.821$), mientras que en el arrecife Triángulos se registró la mayor abundancia con 646 organismos censados; Puerto Morelos fue el sitio más equitativo ($J' = 0.8913$) (Tabla 6)

Tabla 6. Valores de riqueza (S), abundancia (N), equidad (J') y diversidad (H') para los arrecifes. T= Triángulos; A= Alacranes; CA=Cayo Arenas; IC= Isla de Cozumel; PM= Puerto Morelos

Sitios	S	N	J'	H'(log10)
Alacranes	5	13	0.881	0.616
Cayo Arenas	3	145	0.354	0.169
Isla de Cozumel	12	93	0.761	0.821
Puerto Morelos	7	32	0.891	0.753
Triángulos	4	646	0.549	0.330

8.3.3 Nivel arrecife/profundidad

Al analizar los arrecifes por profundidades no se observó ningún patrón claro. Isla Cozumel somero (CS) mostró la mayor riqueza con 11 especies y mayor diversidad ($H' = 0.8318$), mientras que el arrecife Triángulos profundo registró la mayor abundancia con 404 organismos censados. Alacrán profundo (AP) fue el sitio más equitativo con el ($J' = 0.9602$) (Tabla 7).

Tabla 7. Valores de riqueza (S), abundancia (N), equidad (J') y diversidad (H') para los arrecifes estudiados y sus profundidades.

Sitios	S	N	J'	H'(log10)
Alacranes Somero	3	8	0.6696	0.3195
Alacranes Profundo	3	5	0.9602	0.4581
Cayo Arcas Somero	2	58	0.4237	0.1275
Cayo Arcas Profundo	3	87	0.4001	0.1909
Isla Cozumel Somero	11	59	0.7987	0.8318
Isla Cozumel Profundo	5	34	0.5747	0.4017
Puerto Morelos Somero	6	14	0.9202	0.7161
Puerto Morelos Profundo	5	18	0.895	0.6256
Triángulos Somero	4	242	0.4706	0.2833
Triángulos Profundo	4	404	0.5724	0.3446

8.4 Pruebas de determinación de diferencias para regiones y arrecifes

8.4.1 Prueba U de Mann-Whitney-Wilcoxon para regiones

La prueba de Wilcoxon demostró que existen diferencias significativas entre las dos regiones ($p=0.0012$). En esta prueba se tomó en cuenta la abundancia de especies.

8.4.2 Prueba de Kruskal Wallis para arrecifes

Es una prueba no paramétrica para probar las hipótesis sobre si existen o no diferencias significativas entre los arrecifes. Si $p > 0.05$ los arrecifes serían significativamente diferentes. Se aceptará la hipótesis nula.

La prueba de Kruskal- Wallis demostró que existen diferencias significativas en la abundancia de especies entre los cinco arrecifes ($p=0.0$) a un nivel de confianza del 95%

Posteriormente se hizo una prueba de contraste, en la siguiente matriz con un asterisco se muestran los sitios que son diferentes (tabla 8).

	T	CA	A	IC	PM
T					
CA	-13.916*				
A	17.583*	3.666*			
IC	-15.361*	-1.444	2.222		
PM	-17.056*	3.138*	0.527	1.694	

Tabla 8. Valores de diferencia entre los arrecifes.

8.5 Análisis de similitud

8.5.1 Nivel de Arrecife

Los arrecifes de Puerto Morelos y Alacranes presentaron la mayor similitud, con el 40.0%, seguido Triángulos y Cayo Arcas con el 36.6%. Alacranes y Triángulos resultaron ser los menos similares (Tabla 9).

Mediante el MDS se observó que existe una separación a nivel regional. Por un lado, la agrupación de los arrecifes de isla de Cozumel, Puerto Morelos, por otra parte el grupo formado por Triángulos y Cayo Arenas, sin embargo el arrecife de Alacranes parece más cercano a los del Caribe que a los de su región, en especial al sitio de Puerto Morelos. Esto puede estar indicando que Alacranes funge como un arrecife de conectividad entre el Caribe mexicano y Golfo de México (Fig. 6).

Tabla 9. Valores de similitud entre arrecifes usando el índice de similitud de Bray Curtis. A Alacranes, CA Cayo Arenas, IC Isla de Cozumel, PM Puerto Morelos, T Triángulos.

	A	CA	IC	PM	T
A					
CA	8.87				
IC	20.76	21.85			
PM	40.00	14.69	35.20		
T	2.12	36.66	10.28	6.49	

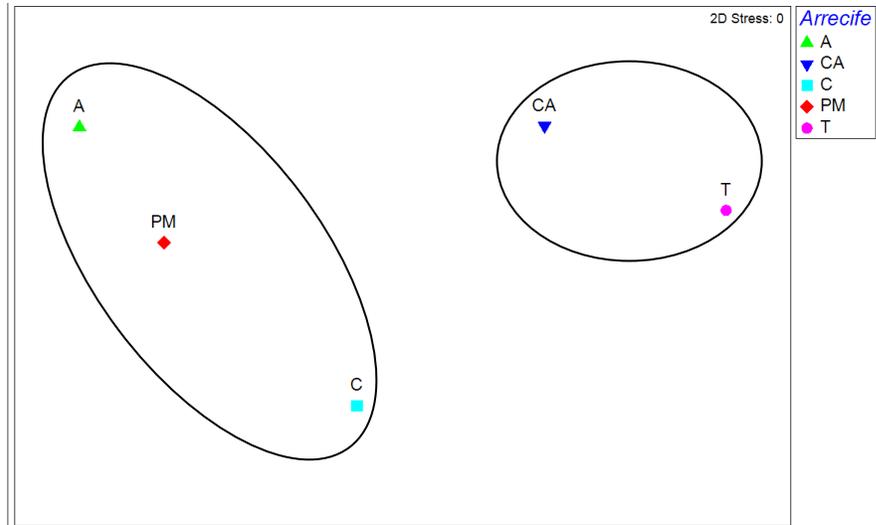


Figura 6. Similitud entre arrecifes de acuerdo con su comunidad de equinodermos a través de un análisis nMDS. T= Triángulos; A= Alacranes; CA=Cayo Arenas; C= Cozumel; PM= Puerto Mórelos

8.6 ANOSIM

Es una prueba que ayuda a detectar similitudes entre las regiones y los arrecifes. Es un análisis no paramétrico donde el valor de p se obtiene por permutaciones. Se examinaron la contribución de cada especie al promedio de similitud de Bray - Curtis.

Rangos de (0 a 1):

R cercano a 0 indica que hay una alta similitud entre los sitios

R cercano a 1 indica baja similitud entre los grupos

8.6.1 Nivel de Región

El análisis de similitud (ANOSIM) para arrecifes nos muestra si existe o no una diferencia significativa entre los arrecifes del Banco de Campeche y el Caribe mexicano.

La prueba de ANOSIM de diferencias entre los arrecifes dio un nivel de significancia de -0.083, e indica que existe una alta similitud entre las regiones de acuerdo a su composición. Se realizó tomando en cuenta los cinco arrecifes y se asumió como replica cada lugar siendo un total de 10 permutaciones.

Estadística de la muestra (Global R): -0.083

El nivel de significación de la estadística de la muestra: 60%

8.6.2 Nivel Arrecife

El análisis de similitud (ANOSIM) para arrecifes nos muestra si existe o no una diferencia significativa entre los arrecifes del Banco de Campeche y el Caribe Mexicano evaluando las profundidades.

La prueba de ANOSIM de diferencias entre los arrecifes dio un nivel de significancia de 0.77, e indica que existe una baja similitud entre los arrecifes de acuerdo a su composición. Se realizó tomando en cuenta los cinco arrecifes, y se asumió como replica cada lugar siendo un total de 945 permutaciones.

Estadística de la muestra (Global R): 0.77

El nivel de significación estadística de la muestra: 0,1%

La prueba por parejas nos muestra entre qué combinaciones existe una diferencia (Tabla 10); el arrecife Alacranes fue el que mostró las menores diferencia con Cayo Arcas, Cozumel y Puerto Morelos (Alacranes es un arrecife del Banco de Campeche que en combinación con los demás arrecifes no muestra una diferencia significativa, con excepción del arrecife Triángulos). El arrecife de Cozumel con Puerto Morelos (ambos arrecifes pertenecientes a la región del Caribe mexicano) no muestra una diferencia significativa.

El arrecife Cayo Arcas mostró diferencia con los arrecifes de Cozumel, Puerto Morelos y Triángulos y no mostro diferencia significativa con el arrecife Alacranes. Los arrecifes Cozumel y Puerto Morelos pertenecientes a la región del Caribe mexicano mostraron diferencia significativa con el arrecife Triángulos perteneciente al Banco de Campeche.

Tabla 10. Niveles de significancia y valores del estadístico R de las distintas combinaciones de arrecifes.

Grupos	Estadístico	Nivel de significancia
A, CA	0.75	33.3%
A,C	0.75	33.3%
A, PM	0.25	33.3%
A, T	1	33.3%
CA, C	1	33.3%
CA, PM	1	33.3%
CA, T	1	33.3%
C, PM	0.5	33.3%
C, T	1	33.3%
PM, T	1	33.3%

8.7 Contribución de las especies SIMPER

8.7.1 Contribución de las especies por regiones

La siguiente tabla muestra las especies que contribuyen en las similitudes de las regiones del Banco de Campeche y el Caribe mexicano. Para la región BC tuvo un promedio de similitud 18.52% de acuerdo a su composición. Conformada por 5 especies que contribuyen para la región, la especie que mayor contribuyó fue *Diadema antillarum* con el 84.17% (Tabla 11).

Tabla de relación SIMPER para las regiones:

Tabla 11. Porcentaje de similitud (SIMPER) para la región del BC. La región del BC mostro un porcentaje de similitud 18.52 %.

Región BC				
Especie	Promedio Abundancia	Promedio similitud	Contrib. %	Acum. %
<i>Diadema antillarum</i>	5.33	15.59	84.17	84.17
<i>Echinometra viridis</i>	1.82	2.84	15.34	99.51
<i>Eucidaris tribuloides</i>	0.14	0.07	0.36	99.88
<i>Holothuria mexicana</i>	0.02	0.01	0.07	99.95
<i>Echinometra lucunter</i>	0.09	0.01	0.05	100

Para la región del Caribe mexicano se tuvo un promedio de similitud del 6.49% de acuerdo a su composición, conformada por 10 especies que contribuyen para la región, la especie que mayor contribuyo fue *Ophiothrix suensonii* con el 41.59 % y *Diadema antillarum* con el 21.37%. (Tabla 12).

Tabla 12. Porcentaje de similitud (SIMPER) para la región del CM. La región del CM mostro un porcentaje de similitud 6.49 %.

Región CM				
Especie	Promedio Abundancia	Promedio similitud	Contrib. %	Acum. %
<i>Ophiothrix suensonii</i>	0.51	2.70	41.59	41.59
<i>Diadema antillarum</i>	0.22	1.39	21.37	62.96
<i>Eucidaris tribuloides</i>	0.21	1.09	16.74	79.70
<i>Echinometra viridis</i>	0.40	0.87	13.33	93.03
<i>Ophiocoma echinata</i>	0.10	0.20	3.14	96.60
<i>Davidaster rubiginosa</i>	0.07	0.10	1.48	97.65
<i>Ophioderma appressum</i>	0.06	0.06	0.96	98.60
<i>Holothuria thomasi</i>	0.04	0.06	0.88	99.48
<i>Davidaster discoidea</i>	0.03	0	0.46	99.94
<i>Astrophyton muricatum</i>	0.04	0	0.06	100

8.7.2 Contribución de las especies por arrecife

Arrecifes del Banco de Campeche

Para la región BC: el arrecife A tuvo un promedio de similitud del 2.12% de acuerdo a su composición. Conformada por 2 especies que contribuyen para los arrecifes, la especie que mayor contribuyo fue *Diadema antillarum* con el 87.5% (Tabla 13).

Tabla 13. Porcentaje de similitud (SIMPER) del arrecife A. El arrecife A mostro un porcentaje de similitud 2.12 %. A= Alacranes

Arrecife A				
Especie	Promedio Abundancia	Promedio similitud	Contrib. %	Acum. %
Diadema antillarum	0.17	1.85	87.50	87.5
Holothuria mexicana	0.06	0.26	12.5	100

El arrecife CA tuvo un promedio de similitud del 25.21% de acuerdo a su composición. Conformada por 2 especies que contribuyen para los arrecifes, la especie que mayor contribuyo fue *Diadema antillarum* con el 89.70% (Tabla 14).

Tabla 14. Porcentaje de similitud (SIMPER) del arrecife CA. El arrecife CA mostro un porcentaje de similitud 25.21 %. CA=Cayo Arenas

Arrecife CA				
Especie	Promedio Abundancia	Promedio similitud	Contrib. %	Acum. %
Diadema antillarum	3.58	22.61	89.70	89.70
Echinometra viridis	0.39	2.60	10.30	100

El arrecife T tuvo un promedio de similitud del 58.33% de acuerdo a su composición. Conformada por 4 especies que contribuyen para los arrecifes, la especie que mayor contribuyo fue *Diadema antillarum* con el 74.97% (Tabla 15).

Tabla 15. Porcentaje de similitud (SIMPER) del arrecife T. El arrecife T mostro un porcentaje de similitud 58.33 %. T= Triángulos

Arrecife T				
Especie	Promedio Abundancia	Promedio similitud	Contrib. %	Acum. %
<i>Diadema antillarum</i>	12.25	43.73	74.97	74.97
<i>Echinometra viridis</i>	5.06	14.17	24.30	99.26
<i>Eucidaris tribuloides</i>	0.36	0.35	0.59	99.86
<i>Echinometra lucunter</i>	0.28	0.08	0.14	100

Arrecifes del Caribe mexicano

El arrecife IC tuvo un promedio de similitud del 10.50% de acuerdo a su composición. Conformada por 9 especies que contribuyen para los arrecifes, la especie que mayor contribuyó fue *Ophiothrix suensonii* con el 71.59% (Tabla 16).

Tabla 16. Porcentaje de similitud (SIMPER) del arrecife C. El arrecife C mostro un porcentaje de similitud 10.50 %. IC= Cozumel

Arrecife IC				
Especie	Promedio Abundancia	Promedio similitud	Contrib. %	Acum. %
<i>Ophiothrix suensonii</i>	0.92	7.52	71.59	71.59
<i>Echinometra viridis</i>	0.67	1.13	10.75	82.34
<i>Diadema antillarum</i>	0.28	0.87	8.32	90.66
<i>Davidaster rubiginosa</i>	0.14	0.37	3.53	94.19
<i>Holothuria thomasi</i>	0.08	0.22	2.09	96.28

<i>Ophiocoma echinata</i>	0.14	0.18	1.69	97.98
<i>Davidaster discoidea</i>	0.06	0.11	1.09	99.06
<i>Eucidaris tribuloides</i>	0.11	0.08	0.79	99.85
<i>Astrophyton muricatum</i>	0.08	0.02	0.15	100

El arrecife PM tuvo un promedio de similitud del 6.20% de acuerdo a su composición. Conformada por 6 especies que contribuyen para los arrecifes, la especie que mayor contribuyo fue *Eucidaris tribuloides* con el 53.02% y *Diadema antillarum* con el 31.73% (Tabla 17).

Tabla 17. Porcentaje de similitud (SIMPER) del arrecife PM. El arrecife PM mostro un porcentaje de similitud 6.20 %. PM= Puerto Mórelos

Arrecife PM				
Especie	Promedio Abundancia	Promedio similitud	Contrib. %	Acum. %
<i>Eucidaris tribuloides</i>	0.31	3.29	53.02	53.02
<i>Diadema antillarum</i>	0.17	1.97	31.73	84.75
<i>Echinometra viridis</i>	0.14	0.53	8.60	93.35
<i>Ophiocoma echinata</i>	0.06	0.19	3.07	96.42
<i>Ophioderma appressum</i>	0.08	0.13	2.05	98.46
<i>Ophiothrix suensonii</i>	0.11	0.10	1.54	100

8 Discusión

En México se han registrado aproximadamente 600 especies de equinodermos en ambas costas mexicanas, este registro representa un 10% de las 6 500 especies existentes en el mundo (Solís et al. 1998; Solís et al. 2014).

En la presente investigación se registraron un total de 15 especies, 11 géneros, 11 familias, 8 órdenes y 4 clases. Para el Banco de Campeche se registraron siete especies y seis órdenes, mientras que en el Caribe mexicano se observaron 13 especies y ocho órdenes. El Caribe mexicano fue el que mayor diversidad de especies presentó, por lo que podría ser considerado como un centro de biodiversidad para esta región del Atlántico; esta es una hipótesis que ya había sido mencionada con anterioridad por el investigador Solís Marín (Solís et al. 2014). La costa del Caribe mexicano se caracteriza por poseer una temperatura de agua estable, aguas claras y un extenso arrecife coralino (Alvarado et al. 2007), estas dos características podrían estar influyendo en su mayor riqueza de especies. Además, el Caribe mexicano se considera como una zona de surgencia con aguas ricas en nutrientes, lo que crea condiciones para la colonización de diversas especies (Alvarado et al. 2007). Alvarado et al. (2007) mencionaron que el Caribe cubre más de 2 754 000 km² (es una plataforma angosta, conectada de manera casi continua a través de Honduras, Guatemala, Belice y México) y es considerado una región biogeográfica única, estando entre los primeros cinco lugares a nivel mundial de mayor biodiversidad en fauna arrecifal. Para el Caribe mexicano, se cuenta con el listado elaborado por Figueras et al. (2005), quienes reportan un total de 178 especies distribuidas en 113 géneros, 51 familias y 22 órdenes. Solís et al. (2014) considera que los crinoideos no son tan diversos en el Caribe como en el golfo de México; reporta para la clase Asteroidea 51 especies de los cuales comparte 42 especies con el Golfo de México (Solís et al. 2014). Para la clase Ofiuroidea para el Caribe se reportó 78 especies considerando como la segunda área con mayor riqueza.

Solís et al. (2014) realizaron una investigación sobre equinodermos en el Banco de Campeche, y reportaron 25 especies de crinoideos; 96 especies de asteroideos, y 79 especies de ofiuroideos. González et al. (2005) registraron un total de 206 especies, distribuidas en 160 géneros, 64 familias y 26 órdenes para el banco de Campeche. La diferencia en cuanto a las riquezas reportadas en el presente estudio pueden estar

relacionadas al esfuerzo de muestreo entre los trabajos y a la variedad de ambientes muestreados. Los trabajos de Solís et al. (2014) y González et al. (2005) se basaron en revisiones de colecciones científicas, como la Colección Nacional de Equinodermos del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM y la colección del National Museum of Natural History, Smithsonian Institution. De esta manera, mientras que las colecciones involucran un gran esfuerzo de muestreo en diversos ambientes, el presente estudio sólo se basó en muestreos diurnos en ecosistemas arrecifales.

Se observó que aunque el Caribe mexicano es más diverso que el Banco de Campeche, este último es más abundante. Los arrecifes del Banco de Campeche cubren un área muy extensa con 175,000 km² de superficie ya que su plataforma continental es muy amplia (a diferencia de la del Caribe) (Briones, 2010), esto lleva a pensar que el Banco de Campeche cuenta con más áreas de sustratos disponibles para pastos marinos y algas, lo que podría estar relacionado a las mayores abundancias de equinodermos en esta región. Otro punto que podría influir en las mayores abundancias registradas en el banco de Campeche es que existe un gran número de ríos que desembocan hacia el golfo como el Usumacinta, el Grijalva, Tonalá, Coatzacoalcos y Papaloapan, estos ríos aportan un gran número de nutrientes, lo que lleva a una eutrofización, y consecuentemente a una mayor presencia de algas (Briones, 2010). La abundancia de algas pudiera estar manteniendo grandes abundancias de equinodermos en los arrecifes del Banco de Campeche. En el Arrecife Triángulos 646 individuos de la *Diadema antillarum* se registraron.

En 1983 una mortandad masiva de equinodermos sobre todo de la *Diadema antillarum* se detectó en el Caribe, desde Honduras hasta México (Zamorano, 2005). Se registró una mortandad del 93% de la población del erizo de mar (Lessios, 1988). Estos datos son relevantes puesto que en el Caribe no se registraron grandes abundancias de esta especie, contrario a lo observado en el Banco de Campeche, lo que podría indicar o que las poblaciones en el Caribe aún no se recuperan del todo o que las condiciones bióticas y/o abióticas del Banco son favorables para la proliferación del erizo *Diadema antillarum*.

La gran diversidad de la isla de Cozumel podría estar relacionada a la variedad de condiciones ambientales, la comunidad coralina es diversa en la que sobresalen los corales duros y blandos, otra característica que destaca en este arrecife es que presenta impresionantes taludes que caen casi verticalmente desde 40 hasta los 400 m de profundidad (Programa de manejo parque marino de Cozumel, Quintana Roo 1998), esta condición genera una gran variedad de sustratos para los organismos colonizadores de acuerdo a su profundidad.

La región del Banco de Campeche tuvo un promedio de similitud 18.52% con respecto al Caribe de acuerdo a su composición. La especie que mayor contribuyó para la región por parte del banco de Campeche, fue *Diadema antillarum* con el 84.17%. Para la región del Caribe mexicano se tuvo un promedio de similitud del 6.49% con respecto al Banco de Campeche, la especie que mayor contribuyó para la región por parte del Caribe fueron dos: *Ophiothrix suensonii* con el 41.59 % y *Diadema antillarum* con el 21.37%. Esto nos muestra que especies por región puede estar aportando para estructurar la diversidad y que especies tiene en común.

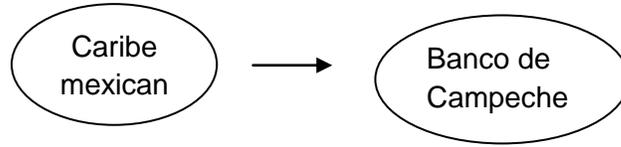
En el banco de Campeche algunas especies como es el caso de la *Diadema antillarum*, y *Echinometra viridis*, ambas pertenecientes al grupo de los erizos, representaron alrededor del 88% de la abundancia. Esto nos habla de que existen ciertas condiciones en el Banco de Campeche que les han brindado las condiciones adecuadas para su reproducción y abundancia. Esto lleva a formular preguntas como: ¿que está beneficiando actualmente a estas especies en el BC?, ¿qué condiciones tiene en la actualidad el arrecife triángulos que fue el sitio con la mayor abundancia? El arrecife Triángulos es una alineación coralina semicontinua de aproximadamente 6,000 m de longitud de aguas tranquilas en su interior; hay registros de que los equinodermos al habitar en una zona de baja dinámica, se ven más afectados por la combinación de factores como mayores temperaturas, decremento de la salinidad, decremento del oxígeno y transparencia, lo cual ocasiona un aumento en las abundancias como una respuesta al estrés (Rojas, 2014). Un ejemplo de esta respuesta se observó en la región de Zihuatanejo y Acapulco, Guerrero; en donde se reportó que la causa principal del incremento de la densidad poblacional de *Diadema mexicanum*, fue debida al estrés que experimentan al someterse a cambios drásticos de parámetros ambientales (Zamorano, 2009). Diversos autores discuten otros factores controladores de la abundancia y

densidad de equinodermos, tales como la salinidad, turbidez, rugosidad del sustratos, fuerza del oleaje, contenido de oxígeno y fluctuaciones de mareas (Rojas, 2014).

Los índices de similitud muestran que existe una diferencia entre los arrecifes del Caribe mexicano con respecto a los del banco de Campeche, de acuerdo a su abundancia. Esto también se observa en la diversidad, existe una diferencia en las especies que contribuyen del Caribe al banco de Campeche y se observa el decremento se una región a otra, esto corrobora lo observado por (Chávez, 2009) que la similitud biológica disminuye al incrementarse las distancias entre un arrecife a otro. Estos resultados concuerdan con lo documentado en un estudio con peces (Villegas Sánchez et al. 2014) y gorgonáceos (Danngler, 1998). Sin embargo, se observa que hay una fuerte relación entre el arrecife de Puerto Morelos con el arrecife Alacranes; por lo que estos arrecifes podrían estar generando un puente de conectividad entre las regiones estudiadas. En algunos estudios de peces se considera al arrecife Alacranes como una fuente de larvas (Núñez, 2014). En el Caribe, específicamente en el Canal de Yucatán, se encuentra una cresta sumergida, que constituye un extenso banco denominado Arrowsmith, sobre esta cresta hay comunidades coralinas muy particulares desde las partes someras (15 m) hasta relativamente profundas (más de 40 m). Es muy poco lo que se conoce sobre este banco sumergido pero podría estar relacionado con la conectividad entre el los arrecifes del Caribe y los del banco de Campeche.

La diversidad y conectividad entre las regiones dependerá de los transportes larvales, que se encuentran íntimamente relacionadas con las corrientes oceánicas. De esta manera, las corrientes provenientes del Caribe mexicano podrían transportar larvas hacia el golfo de México. Las corrientes que actúan en el golfo de México provienen del canal de Yucatán, estas giran hacia los estrechos de Florida, una porción de ellas fluyen hacia el noreste a lo largo del litoral de cuba y otra ingresa al Golfo de México (Castañares, 1990).

Los arrecifes forma parte fundamental de un corredor biológico, lo cual muy probablemente permite la conectividad entre estas regiones separadas por más >500 km llegando hasta los arrecifes de Veracruz, ubicados más al oeste, a >1000 km del Caribe (la distancia geográfica es de alrededor de 1444 km) (Chávez, 2009; Dahlgren, 1992).



Cabe destacar la necesidad de ampliar las investigaciones y hacer comparaciones con otros sistemas arrecifales como el arrecife Arcas, el Sistema Arrecifal Veracruzano y Tuxpan, para tener una mejor interpretación de dispersión detallada de este grupo y sustentar lo ya observado con el presente trabajo. Sin embargo, el conocimiento sobre la biodiversidad en la región del Caribe mexicano es limitado, siendo una de las zonas menos conocidas en cuanto a la descripción taxonómica de su biota, con excepción de Belice y la costa de Panamá (Alvarado et al. 2007).

9 Conclusión

La región del Banco de Campeche presentó mayor abundancia total (804 individuos) que la del Caribe mexicano (125 individuos), lo cual podría estar relacionado a las características bióticas y abióticas de cada una de las regiones.

La mayor diversidad se registró en los arrecifes del Caribe mexicano, por lo que esta región podría ser considerada como centro de biodiversidad para los equinodermos.

Diadema antillarum ocupó el 63.7% del total de las abundancias, seguido de *Echinometra viridis* con un 24.3%; estas dos especies englobaron alrededor del 88.2 %, además estuvieron presentes en los 5 arrecifes muestreados por lo que las podemos sugerir como especies dominantes del componente de fauna de los arrecifes en el grupo de los equinodermos.

Cozumel mostró la mayor riqueza, lo cual podría estar asociado a sus ambientes heterogéneos.

El arrecife Triángulos mostró las mayores abundancias con un total de 646 individuos (70%) del inventario total de todos los arrecifes. Esto hace pensar que existen condiciones muy particulares que benefician a la *Diadema antillarum* y que han abierto una zona de oportunidad de colonización de esta especie.

Los resultados de los índices de diversidad nos mostraron que los patrones de la diversidad disminuye mientras más se alejan del Caribe mexicano; esto también se observó en los estudios de Jordan Dahlgren (1992) Gorgonaceos y; Villegas Sánchez et al. (2014) con peces.

Se observa una conectividad entre los arrecifes del Caribe mexicano y el golfo de México (Figura 7) y como la diversidad va distribuyéndose a manera de gradiente de un sitio a otro con ayuda de las corrientes marinas.

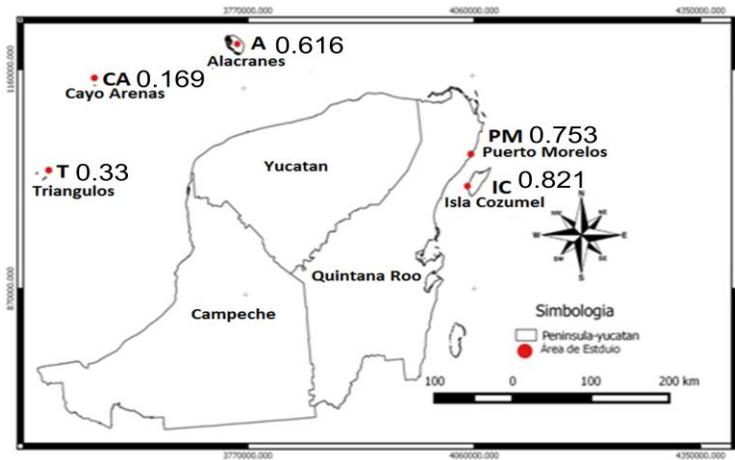


Figura 7. Conectividad de los arrecifes de acuerdo a los valores de Shannon.

En el análisis de similitud los arrecifes de Alacranes y Puerto Morelos presentaron la mayor similitud, seguido por Cayo Arenas y Triángulos, y como tercer lugar Puerto Morelos e Isla de Cozumel.

11. Bibliografía

- ✓ Alvarado- J.J., F.A. Solís-Marín y C. Ahearn 2008. Equinodermos (Echinodermata) del Caribe Centroamericano. Revista de Biología Tropical (Int. J. Trop. Biol. Volumen. 56 (Suppl. 3): 37-55, México, D. F.
- ✓ Rojas- Montiel B. y F. Benites- Villalobos. 2014. Ecología poblacional de *Diadema mexicanum* (Equinodermata: Echinoidea) en dos comunidades arrecifales de bahías de Huatulco, Oaxaca, México. Revista Mexicana de Biodiversidad 86 (2015) 123- 130.
- ✓ Benítez- Villalobos, F. 2001. Comparación de la comunidad de equinodermos, asociados a arrecifes en dos localidades de las Bahías de Huatulco, Oaxaca, Mexico. Ciencia y mar ISSN 1665-0808, Universidad del Mar, Puerto Ángel, Oaxaca. México.
- ✓ Badii- H., A. Guillen, L.A. Araiza, E. Cerna, J. Valenzuela y J. Landeros. 2012. Métodos No-Paramétricos de Uso Común. International Journal of Good Conscience. 132-155. ISSN 1870-557X UANL, San Nicolás, N.L.
- ✓ Bolaños- Natalie, Amandine Bourg, Javier Gómez y Juan José Alvarado. 2005. Diversidad y abundancia de equinodermos en la laguna arrecifal del Parque Nacional Cahuita, Caribe de Costa Rica. Universidad de Costa Rica, Revista de Biología Tropical (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 53 (Suppl. 3): 285-290.
- ✓ Briones- Escobar Elva, Guadarrama Jiménez Elvira L. 2010. Macrocrustaceos (Peracarida, Decapoda) de fondos carbonatados del sector occidental del banco de Campeche en el sur del golfo de México. Versión on- line ISS 2007- 8706. Revista Mexicana de Biodiversidad. Volumen 81 suplemento Octubre, México. Universidad Autónoma de México. México. D.F.
- ✓ Calva Laura Georgina. 2003. Hábitos Alimenticios de Algunos Equinodermos. Parte 2. Laboratorio de Ecosistemas Costeros, Depto. Hidrobiología. D.C.B.S. UAM-I. 47, 54- 63
- ✓ Castañares- Ayala Agustín. 1990. Morfología y sedimentos de la plataforma continental frente a Tabasco y Campeche México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México, D.F.

- ✓ Chávez- Hidalgo Alejandra. 2009. Conectividad de los arrecifes coralinos del golfo de México y Caribe mexicano. Tesis de maestría; Instituto politécnico Nacional; La Paz, Baja California Sur.
- ✓ Clarke, K. R. y R. M. Warwick. 2001. Manual/Tutorial. PRIMER-E, 2nd edition. PRIMER-E.
- ✓ Dahlgren- Eric J. 1992. El ecosistema arrecifal coralino del atlántico mexicano. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Cancún 77500, Quintana Roo
- ✓ Durán-González Alicia, Alfredo Laguarda-Figueras, Francisco A. Solís-Marín, Blanca Estela Buitrón Sánchez, Cynthia Gust Ahearn, Juan Torres-Vega. 2005. Equinodermos (Echinodermata) de las aguas mexicanas del Golfo de México. Revista de Biología Tropical, vol. 53, núm. 3, pp. 53-68, Universidad de Costa Rica, Costa Rica.
- ✓ Elba Prieto Rios, Mauricio Valdés de Anda, Francisco Alonso Solís-Marín y Alfredo Laguarda Figueras. 2011. Primer registro de *Florometra magellanica* (Bell, 1882) (Echinodermata: Crinoidea) para el Perú. Facultad de Ciencias Biológicas UNMSM, Revista de Biología de Perú 18(2): 245 – 248, Perú.
- ✓ Escandón- Honey M., F.A. Solís-Marín y A. Laguarda-Figueras. 2008. Equinodermos (Echinodermata) del Pacífico mexicano. Universidad Nacional Autónoma de México, Revista de Biología Tropical (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Vol. 56 (Suppl. 3): 57-73, México D.F.
- ✓ Figueras- Laguarda Alfredo, Francisco A. Solís-Marín, Alicia Durán, Cynthia Gust Ahearn, Blanca Estela Buitrón Sánchez y Juan Torres-Vega. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Caribe mexicano. Revista de Biología Tropical (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Volumen 53 (suplemento 3): 109-122, México, D. F.
- ✓ GRUPO INFOSTAT: InfoStat software estadístico InfoStat versión 2008, Manual de usuario, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 2008.
- ✓ González- Azcárraga Adriana. 2009. Estructura de las asociaciones y diversidad morfológica de erizos de mar (Echinoidea) en los parques nacionales sistema arrecifal Veracruzano y arrecifes de Cozumel, México. tesis de maestría, posgrado de ciencias marinas y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México Mazatlán, Sinaloa.
- ✓ González- Durán Alicia, Alfredo Laguarda Figueras, Francisco A. Solís-Marín, Blanca Estela Buitrón Sánchez, Cynthia Gust Ahearn y Juan Torres-Vega. 2005.

- Equinodermos (Echinodermata) de las aguas mexicanas del Golfo de México. *Revista de Biología Tropical (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* Volumen 53 (Suplemento. 3): 53-68, México, D. F.
- ✓ Gonzales – G Dunia, Oscar D. Solano P. y Gabriel R. Navas S. 2002. Equinodermos colectados por la expedición CIOH- INVEMAR- SMITHSONIAN desde Cartagena hasta el golfo de Urabá, Caribe Colombiano. ISSN-0122-9761; *Bol. Inv. Mar Cos.* Santa Martha, Colombia.
 - ✓ Herrero Perezrul María Dinorah, Reyes Bonilla H., Gonzalez Azcarraga A., Cintra Buenrostro C.E., Rojas Sierra A. 2008. Equinodermos. SEMARNAT-INE-PRONATURA Noreste, San Diego Museo de Historia Natural 12. 339-361.
 - ✓ Lessios- HA. 1995. *Diadema antillarum* 10 años después de la mortalidad en masa. *Real Sociedad. Ciencias Biológicas.* Vol. 259, No. 1356. pp. 331-337
 - ✓ Luna- Trujillo Br, Ne González- Vallejo. 2006. Equinodermos de la colección de referencia de bentos costeros de ECOSUR. *El Colegio de la Frontera Sur, Departamento de Ecología Acuática, www.ujat.mx/publicaciones/uciencia, 22* (1):83-88, Chetumal, Quintana Roo.
 - ✓ Luna- Salguero, B. M. y H. Reyes Bonilla. 2010. Estructura comunitaria y trófica de las estrellas de mar (Echinoderata: Asteroidea) en arrecifes rocosos de Loreto, Golfo de California, México. *Hidrobiológica* 20(2): 127-134, Universidad Autónoma de Baja California Sur. Departamento de Biología Marina, La Paz, B.C.S., México.
 - ✓ Núñez Lara Enrique, Carlos González Salas, Horacio Pérez España y Sandra Laffon Leal. 2014. Composición y Estructura Trófica de la Comunidad de Peces de los Arrecifes del Banco de Campeche, Golfo de México. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma del Carmen, Ciudad del Carmen, Campeche, México.
 - ✓ Moreno - Claudia E. 2001. M&T – Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Métodos para medir la biodiversidad, ISBN (volumen): 84 – 922495 – 2 – 8, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Zaragoza, España.
 - ✓ Pawson, D.L. 2007. Phylum Echinodermata. *Zootaxa* 1668: 749- 764
 - ✓ Pérez- Abreu Mercedes, Francisco A. Solís-Marín² y Alfredo Laguarda-Figueras. 2005. Catálogo de los equinodermos (Echinodermata: Asteroidea y Ophiuroidea) nerítico-bentónicos del Archipiélago Cubano. *Revista de Biología Tropical (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* Vol. 53 (Suppl. 3): 29-52, México, D. F.

- ✓ Pérez- Borrero Giomar Helena, Milena Benavides Serrato, Oscar D. Solano y Gabriel R. Navas. 2004. Holothuroideos (Echinodermata: Holothuroidea) recolectados en el talud continental superior del Caribe Colombiano. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andreis" *INVEMAR*; Colombia.
- ✓ Pawson, D. 2007. Phylum Echinodermata. *Zootaxa*. 1668: 749-764.
- ✓ Reyes- Bonilla Héctor, Luna Salguero Betsabé M. 2010. Estructura comunitaria y trófica de la estrella de mar (Echinodermata: Asteroidea) en arrecifes rocosos de Loreto, Golfo de California, México. *Hidrobiológica* 2010, 20 (2): 127- 134. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, B.C.S. México.
- ✓ Serrato- Benavides M., Giomar H. Borrero Pérez, Christian M. Diaz Sanches. 2011. Equinodermos del Caribe Colombiano II: Crinoidea, Asteroidea y Ophiuridea. Instituto de investigaciones Marinas y Costeras "Jose Benito Vives de Andrés" (Invemar), Santa Marta, Colombia.
- ✓ Solís-Marín F., Laguarda-Figueras A. 1998. Los equinodermos de México. *Biodiversitas CONABIO México*, 18: 2-7.
- ✓ Solís-Marín Francisco A., Alfredo Laguarda-Figueras, Alicia Durán-González, Cynthia Gust Ahearn y Juan Torres Vega. 2005. Equinodermos (Echinodermata) del Golfo de California, México. Universidad Nacional Autónoma de México, *Revista de Biología Tropical (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744) Volumen 53 (Suppl. 3): 123-137*, Mexico, D.F.
- ✓ Solís-Marín Francisco A., Alfredo Laguarda-Figueras y Magali Honey-Escandón. 2014. Biodiversidad de equinodermos (Echinodermata) en México. Laboratorio de Sistemática y Ecología de Equinodermos, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. 441 *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85: S441-S449, 2014 DOI: 10.7550/rmb.31805, *México, D. F., México*.
- ✓ Solís-Marín Francisco A., Magali B. I. Honey-Escandón, M. D. Herrero-Perezrul, Francisco Benitez-Villalobos, Julia P. Díaz-Martínez, Blanca E. Buitrón-Sánchez, Julio S. Palleiro-Nayar and Alicia Durán-González. 2013. The Echinoderms of Mexico: Biodiversity, Distribution and Current State of Knowledge. DOI: 10.1007/978-3-642-20051-9_2, Springer-Verlag Berlin Heidelberg , México.
- ✓ Solís Marín, F.A., A. Laguarda Figueras, y M.A. Gordillo Hernández. 2007. Estudio taxonómico de los equinodermos del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. p. 73-100. *In: A. Granados Barba, L. G. Abarca Arenas y J.M.*

- Vargas Hernández (Eds.) Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano. Universidad Autónoma de Campeche. ISBN 968-5722-53-6. 304 p.
- ✓ Villegas Sanchez, CA, Pérez España H, Lara Arenas J. 2014. Diversidad íctica en zonas arrecifales del Banco de Campeche y Caribe mexicano. XIV Congreso Nacional de Ictiología. Morelia, Michoacán, México.
 - ✓ Zamorano- Pablo y Gerardo E. Leyte-Morales. 2004. Equinodermos asociados a formaciones arrecifales en Zihuatanejo y Acapulco, Guerrero, México. ISSN 0122-9761, Bol. Invest. Mar. vol.38 no.2 Cost. Santa Marta, Colombia.
 - ✓ Zamorano- pablo y Gerardo E. Leyte Morales. 2005. Cambios en la diversidad de equinodermos asociados al arrecife coralino en La Entrega, Oaxaca. México. Ciencias y mar, IX (27): 19-28 Oaxaca, México
 - ✓ Zamorano- pablo y Gerardo E. Leyte Morales. 2009. Equinodermos asociados a formaciones arrecifales en Zihuatanejo y Acapulco, Guerrero, México. Bol. Invest. Mar. Cost., 38 (2) 7-28 ISSN 0122-9761 Santa Marta, Colombia.