



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**ANÁLISIS DEL ENSAMBLAJE DE EQUINODERMOS
(ECHINODERMATA) DE LOS ARRECIFES ISLA SACRIFICIOS Y RIZO,
DEL PNSAV EN VERACRUZ, MÉXICO.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

BIÓLOGO

PRESENTA

GONZÁLEZ MEJÍA MARÍA REBECA

DIRECTOR DE TESIS: **BIÓL. FELIPE DE JESÚS CRUZ LÓPEZ**

TLALNEPANTLA DE BAZ, ESTADO DE MÉXICO. 2014





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A mi padre Alberto González Colunga y

A mi madre Virginia Mejía García

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS

Al Biol. Felipe de Jesús Cruz López, por aceptar dirigir este trabajo, por su apoyo, paciencia, enseñanzas, sugerencias y consejos, durante y después de la elaboración de esta tesis.

Al Dr. Raymundo Montoya Ayala, al M. en C. Mario Chávez Arteaga, a la Biol. Asela del Carmen Rodríguez Varela, al Biol. José Luis Tello Musi por aceptar ser parte de mis sinodales y que además dedicaron su tiempo en revisar esta tesis y transmitirme su conocimiento en forma de consejos y sugerencias para este trabajo.

A Angélica, Andrea, Mariana, Noé y a los demás compañeros que fueron parte del equipo durante el trabajo en campo, por hacer que el viaje fuera más ameno y por todo su apoyo y consejos durante laboratorio y al escribir este trabajo. También agradezco a las personas que me ayudaron con el material utilizado en campo y una disculpa por los objetos perdidos.

Agradezco también a la Comisión Natural de Áreas Naturales Protegidas y a la Secretaría de Marina, por brindaron los permisos necesarios para el estudio de los arrecifes.

Así como a Araceli Martínez Pérez y a su grupo de trabajadores, por proporcionarnos el transporte a los arrecifes.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a mis padres Virginia Mejía y Alberto González por todo su tiempo dedicado únicamente a mí y a mis hermanas, por sus esfuerzos; por dejarme (sin saberlo) estudiar esta carrera, que aunque no fue grato para algunos, ustedes me apoyaron y me ayudaron. Este logro no es solo mío también es suyo, es una forma de agradecerles que me hayan regalado la oportunidad de estudiar y de cierta forma se sientan orgullosos de que todos sus esfuerzos no fueron en vano.

A mi familia en especial a mi abue Tolis por preocuparse y cuidar de nosotras, por estar pendiente de que estemos bien.

A Bárbara y Ana por cuidarme, ayudarme y apoyarme durante la carrera y desde antes, por ser mis hermanas y a ti Ana, porque aunque seas la más chica muchas veces me has escuchado y aconsejado de manera que cambias mi forma de ver las cosas, también por no quejarte al obligarte a leer mi tesis y tratar de que la entendieras y por cierto ayudarme en “que palabra se lee mejor”.

A la familia Moreno-Rodríguez, por su cuidado, comprensión, fraternidad, por su apoyo incondicional en tiempos buenos y difíciles, por el gran cariño que nos brindan.

A Fabián Macías, hay mano ya te lo he dicho, te agradezco que estés hoy conmigo, que me escuches, que me aguantes, que me digas las cosas que piensas sin importar que me enoje, por respetar mis decisiones aunque muchas veces no opines igual, que en un tiempo fuiste mis ojos cuando no veía bien, que estuviste ahí antes, durante y después de los momentos difíciles, agradezco que hayas leído y ayudado directa e indirectamente con esta tesis, simplemente gracias por estar cuando te necesito, y sé que me faltaran muchas cosas por escribirte.

A mis amigos de mucho tiempo y que siguen conmigo, Itzel por tu apoyo y porque siempre tienes algo que contar; A mi Yam te agradezco a ti y a tu familia, por todo el tiempo vivido,

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

porque estando juntas o separadas siempre crees en mí; a Rodrigo, te agradezco que tomes en cuenta mi opinión, por contarme y escucharme; y a Carlos porque como dices: tú amistad es un regalo.

A las personas que estimo y que me acompañaron durante mi estancia en Iztacala: Oscar, gracias amigo porque muchas veces fuiste mi traductor oficial, por contar conmigo y yo contar contigo; a Fabis por siempre preguntar como estoy, por apoyarme en los tiempos difíciles y hasta el día de hoy; a Marbe hay mujer tu siempre tienes una sonrisa que regalar y siempre nos acompañas sin importa que tan lejos sea; a David “el morro” por los momentos buenos y gratos, porque cuando salimos no te echas para atrás; a Erik “carpa” por compartir ideas y ser esa persona divertida que nos hacía el día (bueno por lo menos para mí); a Beti por acompañarme desde el principio de la carrera; al sabio de Jon porque me dijo que si no lo ponía me dejaba de hablar, no es cierto Jon obvio que por tus sabios consejos y comentarios en clase; a Héctor “Stentor” y Lalo Loya por ser mis compañeros de equipos y por ayudarme a resolver cualquier duda que tuviera; a Monicha, Iván y Héctor por formar parte de una etapa en mi carrera y Héctor disculpa por perder tu aleta...

Índice

Resumen	7
Introducción.....	8
Antecedentes.....	11
Objetivo General.....	13
Área de Estudio	14
Materiales y Métodos	18
Trabajo previo.....	18
Trabajo de Campo	19
Trabajo en Laboratorio	19
Resultados y Discusión.....	22
Listado de especies.	22
Tamaño de muestra.....	25
Distribución de los biotopos	26
Parámetros comunitarios	27
Riqueza específica por arrecife.....	27
Abundancia.....	29
Abundancia por especie.....	29
Diversidad.....	30
Índice de Valor de Importancia y Olmstead y Tukey.....	31
Índices de Agrupamiento.....	34
Arrecife Isla Sacrificios.....	34
Arrecife Rizo.	36
Agrupamiento de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.	39
Asociación a sustrato por especie.....	43
Clase Asteroidea	43
Clase Ophiuroidea	44
Clase Echinoidea	47
Clase Holothuroidea	50
Comparación del Arrecife Isla Sacrificios y Rizo	51
Conclusiones.....	52
Recomendaciones	53
Literatura citada.....	55
Anexo	62

RESUMEN

Los equinodermos son uno de los grupos con mayor relevancia ecológica en los arrecifes, formando parte primordial de la trama alimenticia de este ecosistema y es por esto la importancia de los estudios de listados faunísticos y ecológicos que nos permite conocer las especies y su distribución sobre los arrecifes. El objetivo de este trabajo fue analizar el ensamblaje de equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo pertenecientes al PNSAV trascendental por ser Área Natural Protegida. En los cuadrantes de 25m² muestreados se determinó a los organismos *in situ*, además de contar el número de organismos por especie, el porcentaje de cobertura de biotopo (considerando como biotopos: *Thalassia*, pedacería, roca, pavimento coralino, arena y coral vivo) y además se contó con un archivo fotográfico de las especies encontradas, para su confirmación en laboratorio. Como resultados se registró un total de 6,116 organismos agrupados en cuatro clases, nueve órdenes, 17 familias, 18 géneros y 29 especies. De este total, 2,045 corresponden a 21 especies para el arrecife Isla Sacrificios y 4,071 corresponde a 24 especies para el arrecife Rizo. Los nuevos registros para el arrecife Isla Sacrificios fue de dos y una considerada nuevo registro para México, cabe resaltar que este trabajo es el primer registro de equinodermos para el arrecife Rizo. Para ambos arrecifes la clase con mayor riqueza de especies fue Ophiuroidea y Echinoidea, está última la más abundante, mientras que Asteroidea y Holoturoidea presentaron baja abundancia. En cuanto a diversidad fue baja en Isla Sacrificios en comparación a Rizo que alcanzó la mitad de la diversidad máxima. En los dos arrecifes, las especies con alto valor de importancia son: *E. lucunter*, *E. viridis*, *L. variegatus*, *O. lineata*, aunque en Rizo se considera también a *O. cinereum*, *O. angulata* y *O. ortedii* coincidiendo con que estas especies también son consideradas como las especies dominantes según la prueba de Olmstead y Tukey. De acuerdo con el análisis de disimilitud y con el análisis de agrupamiento se determinó la distribución de las especies que coincide con la distribución de los biotopos, siendo la pedacería el biotopo con mayor cobertura el cual les provee a esas especies alimento y protección contra depredadores.

Palabras clave: Ensamblaje, Equinodermos, Arrecifes, Rizo, Sacrificios.

INTRODUCCIÓN

México se encuentra entre los países “megadiversos”, por la compleja topografía y geología, de los diversos climas y microclimas que se encuentran en todo el territorio. Asimismo, su ubicación geográfica es la unión de dos regiones biogeográficas, la Neártica y la Neotropical (CONABIO, 2008), y entre las influencias oceánicas del Pacífico centro-oriental y del Atlántico centro-occidental, se explica su diversidad biológica (Lara-Lara, 2008), poniéndose en manifiesto en hábitat terrestre, de agua dulce y marino (Begon *et al.*, 2006).

En el hábitat marino se encuentran los arrecifes de coral que son unos de los ecosistemas más diversos, productivos y vulnerables (SEMARNAT, 2009), estos ecosistemas están formados de los organismos que viven en ellos y que secretan carbonato de calcio ocasionando la construcción de grandes estructuras, dentro de los organismos más importantes destacan los corales escleractinos, pues se confinan a áreas de aguas cálidas y poco profundas, por lo que los arrecifes de coral se encuentran restringidos, ocurriendo solo en mares tropicales y subtropicales (Ruppert y Barnes, 1996; Spalding *et al.*, 2001). Sin embargo, otros organismos las destruyen participando en la muerte o fragmentación de grandes corales reduciéndolos a trozos, contribuyendo así a la formación de la plataforma del arrecife (Ruppert y Barnes, 1996).

Los arrecifes de coral, de acuerdo a su origen, forma y cercanía a la costa pueden clasificarse en (Chávez e Hidalgo, 1987; Ruppert y Barnes, 1996; Spalding *et al.*, 2001):

- ☼ **Arrecife costero.** Se caracteriza por desarrollarse bordeando la línea de costa extendiéndose hacia el mar y dependiendo de la pendiente abrupta del fondo marino. Frecuentemente están constituidos por el frente arrecifal que constituye un rompiente y un talud que puede penetrar hasta más de 60 m bajo la superficie.
- ☼ **Arrecifes de barrera.** Por lo general son estructuras que se elevan desde una base más profunda a cierta distancia de la costa, separados de la costa por un amplio canal que puede tener más de 200 m de profundidad o bien, se encuentran separados de las masas terrestres por una laguna.
- ☼ **Arrecife de atolón.** Descansa en las cumbres de volcanes sumergidos, caracterizado por un basamento de roca ígnea. Por lo general, tiene forma circular y ovalada y una laguna central de hasta 30 m o más de profundidad y el arrecife activo se encuentra desarrollándose sobre los bordes; normalmente existen islas sobre las porciones emergidas de los bordes y también las puede haber en la laguna que generalmente está cubierta de sedimento y el crecimiento del arrecife en ella es poco activo.

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

☼ **Arrecife de plataforma.** Es un banco arrecifal que emerge del fondo marino caracterizado por elevarse 40 m, generalmente está alejado de la costa y forma una explanada subsuperficial, también llamada planicie arrecifal, que puede o no contener uno o más cayos arenosos; así mismo, puede contener una laguna generalmente poco profunda en su interior. La porción de crecimiento coralino más activo se encuentra orientada hacia el este y sureste, en donde una cresta arrecifal bien definida indica el borde superior del talud o frente arrecifal. Arrecifes de este tipo se localizan dentro de las costas mexicanas del Golfo de México y Caribe.

Los arrecifes de coral y las comunidades asociadas a este, se producen en todo México, pero se concentran en cuatro áreas principales: el Golfo de California y la Costa del Pacífico; los arrecifes más lejanos del Banco de Campeche; la franja de arrecifes y atolones del Mar Caribe; y los arrecifes cercanos a la costa entre Tampico y Veracruz, al oeste de la Bahía de Campeche, estas áreas representan más de 0.63% del total en el mundo (Spalding *et al.*, 2001). Además en estas tres últimas áreas se encuentra la mayor diversidad (SEMARNAT, 2009).

En el estado de Veracruz se han encontrado hasta la fecha, 100 especies de equinodermos (Crinoidea: 2 spp., Asteroidea: 35 spp., Ophiuroidea: 25 spp., Echinoidea: 23 spp., y Holothuroidea: 15 spp.), distribuidas en 66 géneros, 39 familias, 22 órdenes y cinco clases. Dicho estado posee el 16.6 % de la fauna de equinodermos de los mares mexicanos, que corresponde al 1.5 % de los equinodermos del planeta (Solís-Marín y Laguarda-Figueras, 2011).

El Filo Echinodermata (del griego *echinos* “espinas”, *derma* “piel”) son los invertebrados marinos más comunes en los arrecifes de coral, existen en el mundo cerca de 7,000 especies vivientes y 13,000 especies fósiles que forman el registro fósil (Solís-Marín, 1997). Son organismos deuterostomados, caracterizados por poseer un endoesqueleto situado debajo de la epidermis y formado por dos tipos de componentes: una capa de tejido conjuntivo de colágeno (dermis) y una serie de pequeños osículos calcáreos incluidos en ella, que permiten articulase entre sí. La peculiaridad más llamativa de los equinodermos es su simetría pentarradial, no obstante, esta simetría ha derivado a partir de una simetría bilateral ancestral. El carácter más exclusivo es la presencia de un sistema peculiar de canales celomáticos y una serie de apéndices superficiales, que en conjunto constituyen el sistema vascular acuífero o sistema ambulacral, este sistema tiene diversas funciones como excreción, sensorial, recolectar y transportar alimento pero en muchos de estos animales asumió funciones locomotoras (Hendler *et al.*, 1995; Ruppert y Barnes, 1996; Brusca y Brusca, 2005)

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

Para este filo se conocen cinco clases (Lawrence, 1987; Ruppert y Barnes, 1996):

- ☼ **Crinoidea:** Son la más antigua y primitiva clase equinodermos vivientes, se les conoce como lirios de mar, viven en profundidades de 100 m o más, por lo que es raro encontrarlos; algunos de ellos abundan en los arrecifes coralinos.
- ☼ **Asteroidea:** Equinodermos libres con forma de estrella, sus cuerpos están formados por una serie de radios, o brazos que salen de un disco central. Reptan sobre rocas y conchas, o viven en fondos arenosos o lodosos.
- ☼ **Ophiuroidea:** Estos organismos se encuentran en todo tipo de hábitats marinos, presentan brazos larguísimos que destacan con mayor nitidez del disco central. Además, los brazos tienen una estructura más bien sólida en comparación con los anteriores. Son conocidos como canastas de mar y estrellas quebradizas. No hay surco ambulacral y los pies apenas intervienen en la locomoción, salvo algunos casos.
- ☼ **Echinoidea:** No poseen brazos, sino que tienen una forma esférica u ovalada y el cuerpo adopta un aspecto globoso o aplanado según el eje oral-aboral. Los organismos que presentan una simetría radial (regulares) se les conoce como erizos de mar pero muchos de los miembros de la clase viven en fondos blandos exhibiendo diferentes grados de simetría bilateral secundaria (irregulares), que incluyen a los erizos acorazonados, biscochos de mar y dólares de mar. Una peculiaridad es el aplastamiento y fusión de los osículos esqueléticos, de tal modo que han formado un esqueleto compacto (testa o caparazón).
- ☼ **Holothuroidea:** conocidos comúnmente como holoturias, cohombros o pepinos de mar, no presentan brazos, la boca y el ano se encuentran en extremos opuestos. Se diferencia porque el esqueleto ha quedado reducido a una serie de osículos microscópicos (escleritos) y por la modificación de los pies ambulacrales que forman un círculo de tentáculos alrededor de la boca. Tienen un eje polar muy alargado, lo que típicamente da al cuerpo un aspecto de pepino.

Los equinodermos son uno de los grupos con mayor relevancia ecológica en arrecifes rocosos o coralinos, tanto en aguas someras como abisales. Esto se debe a que son eslabones fundamentales de las redes tróficas al fungir como depredadores (tanto carnívoros como herbívoros), detritívoros y filtradores (Lawrence, 1987; Brusca y Brusca, 2005), así como en su capacidad para modificar las condiciones del substrato en el que viven (bioturbación). Aunado a ello, los equinodermos representan un papel muy importante en la disponibilidad de carbonato y nutrientes en los arrecifes de coral (Ruppert y Barnes, 1996).

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

Además de su importancia ecológica, también existen ejemplos de su importancia económica, tal es el caso del pepino de mar como uno de los recursos pesqueros de México poco conocidos, se consume principalmente en sopas y ensaladas en otros países y se extraen diversas sustancias (del grupo de saponinas) para elaborar productos farmacéuticos de consumo humano, denominadas “holoturinas” que poseen principios activos capaces de inhibir el crecimiento de células cancerosas (Solís-Marín y Laguarda-Figueras, 2011). En algunas sociedades humanas los erizos son apreciados como alimento para humanos y toneladas de ellos son capturados cada año con fines comerciales (Celaya-Hernández *et al.*, 2008).

Por otra parte, diversos tipos de contaminación producto de las actividades humanas impactan negativamente a las comunidades y, en ocasiones, disminuye las poblaciones de ciertas especies de equinodermos. Tal es el caso de *Diadema antillarum*, que en 1983 sufrió una mortandad masiva, debido a un patógeno no identificado relacionado con la baja salinidad (Hunte *et al.*, 1986). La disminución de las poblaciones de esta especie que consume diversos tipos de pastos marinos, incrementa la biomasa de los mismos, la cual en ocasiones cubre y sofoca a los corales, dando por resultado la destrucción de las colonias de estos organismos y reduciendo con ello la biodiversidad en estos ecosistemas (Solís-Marín y Laguarda-Figueras, 2011), por lo que pueden ser considerados como indicadores del estado de conservación de los ecosistemas.

ANTECEDENTES

México alberga una significativa diversidad de equinodermos, a nivel genérico y específico. Su reconocimiento ha sido posible gracias a los estudios taxonómicos e inventarios del grupo en diversos hábitats costeros, los cuales, presentan información valiosa para todo tipo de estudios (Solís-Marín, 1997).

El inicio de los estudios sobre equinodermos de México fue en 1838, cuando se hicieron breves referencias sobre especímenes recolectados en localidades próximas a las costas mexicanas. Como se sabe, son muchas las expediciones extranjeras como los primeros trabajos de Agassiz y Valentin de 1837-1842, quienes citaron a *Mellita hexapora*, en Veracruz y los de Agassiz y Désor en 1846 (Caso, 1976; Solís-Marín, 1997; Trujillo-Luna y González-Vallejo, 2006).

Solís-Marín (1997), formó una base de datos actualizada sobre los equinodermos de México, con base en los especímenes de la Colección “Dra. María Elena Caso Muñoz”, conteniendo 361 especies, donde los géneros más representativos de la costa oriental mexicana son: *Linckia*, *Diadema*, *Echinometra*, *Metalia* y *Thyonepsolus*.

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

Durán-González *et al.* (2005), presentó una clave de identificación y distribución de las especies de equinodermos del Golfo de México, presentando un listado que comprende 209 especies distribuidas en las cinco clases.

Laguarda-Figueras *et al.* (2005), estudió la fauna de Equinoideos del Golfo de México, identificando 18 especies, de estas especies seis son nuevos registros para el Golfo de México: *Stylocidaris lineata*, *Phormosoma placenta placenta*, *Plesiodiadema antillarum*, *Plethotaenia spatangoides*, *Brissopsis atlantica* y *Hypselaster limicolus*.

Hernández-Herrejón *et al.* (2008), realizó un listado y claves taxonómicas con sinonimias y descripción de ofiuroides, procedentes de una colección científica de las aguas del Golfo de México, reportando 68 especies.

Dentro de los primeros registros de equinodermos provenientes de Veracruz, se remonta a Ives en 1890, quien reporta siete especies de equinodermos “asociados a corales” (Solís-Marín *et al.*, 2007). A partir de estos estudios surgieron diversas investigaciones en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).

Los erizos regulares han sido registrados en el litoral de Veracruz, en diversos estudios, como Caso (1961), que presenta un análisis de distribución, taxonómico y sistemático de los equinoideos mexicanos, en Isla Verde, informando la presencia de *E. tribuloides*, *D. antillarum*, *E. lucunter*, *Lytechinus variegatus* y *T. ventricosus*.

Lara *et al.* (1992), mencionan la existencia de algunas especies de equinodermos (*Nemaster rubiginosa*, *Ophiocoma echinata*, *Diadema antillarum*, *Tripneustes ventricosus*, *Echinometra lucunter*, *Echinometra viridis*, *Echinometra spp.*, *Eucidaris tribuloides*, *Euapta lappa*); sin embargo, no especifican en que isla o arrecife de Veracruz fueron encontrados.

Solís-Marín *et al.* (2007), realizó un estudio taxonómico de los equinodermos del PNSAV en la laguna del arrecife Sacrificios y en la laguna del arrecife de Enmedio, encontrando 27 especies, presentando 15 nuevos registros para el estado de Veracruz: *Asterinides folium*, *Ophiocomella ophiactoides*, *Ophioderma brevicaudum*, *Amphipholis squamata*, *Ophiostigma isocanthum*, *Amphiura stimpsonii*, *Ophiothrix lineata*, *Plagiobrissus grandis*, *Pseudothyone belli*, *Actynopyga agassizi*, *Holothuria impatiens*, *H. arenicola*, *H. thomasi*, *Isostichopus macroparentheses* y *Epitomapta roseola*.

La asociación a sustratos de los erizos regulares en la laguna arrecifal de Isla Verde, fue estudiada por Celaya-Hernández *et al.* (2008), examinando a 11,035 individuos correspondientes a siete especies: *E. tribuloides tribuloides*, *Centrostephanus longispinus rubicingulus*, *L. variegatus*, *T.*

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

ventricosus, *E. viridis* y *E. lucunter lucunter*, esta última presentó mayor número de organismos y los sustratos asociados en los que se encontraban son corales, rocas, arena, arenas con conchas y pasto marino.

Villanueva-Sousa (2008), realizó el primer registro de equinodermos del talud del arrecife “La Galleguilla”, Veracruz con análisis ecológico, encontrando 24 especies repartidas entre las cinco clases. Mostrando a la Clase Ophiuroidea con mayor especies, mientras que las especies más abundante son *E. Lucunter*, *E. viridis* y *Ocnus suspectus*. Asimismo, registró una nueva especie de holoturoideo (*Isostichopus sp.*). Obteniendo un valor de diversidad de 2.8 bits/ind y una equitatividad de 0.61.

Mohedano (2010), presentó un listado taxonómico y datos ecológicos de equinodermos en la planicie arrecifal de Anegada de Adentro, reportando 20 especies repartidas en cuatro clases, siendo las Clases Ophiuroidea y Echinoidea, las más representativa a diferencia de Holothuroidea y Asteroidea registrando un número menor de especies, con una diversidad baja de 0.981 bits/ind y 0.226 de equitatividad, indicando la dominancia de alguna especie.

Ugalde-García (2010), reporto 31 especies en su estudio de diversidad de equinodermos de la planicie arrecifal Isla Sacrificios, del Sistema Arrecifal Veracruzano, donde también estimó algunos parámetro ecológicos en tres diferentes épocas del año.

La información acerca de equinodermos en el Golfo de México se ha ido incrementando en los últimos años, sin embargo, aún no se han llevado a cabo estudios en ciertos arrecifes por lo cual en este estudio se planteó incrementar la información acerca de la fauna de equinodermos presentes en dos arrecifes pertenecientes al PNSAV, trascendental por ser Área Natural Protegida (ANP), además de considerar coberturas y distribución de biotopos, así como ciertos aspectos ecológicos y de esta forma comparar los equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

OBJETIVO GENERAL

Analizar el ensamblaje de equinodermos (Echinodermata) de los arrecife Isla Sacrificios y Rizo, del PNSAV en Veracruz, México.

Objetivos particulares

- ☼ Determinar la riqueza específica de los equinodermos presentes en los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo del PNSAV en Veracruz, México.

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

- ☼ Determinar los biotopos a los que están asociados los equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo del PNSAV en Veracruz, México.
- ☼ Caracterizar el ensamblaje de equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo, por medio de algunos parámetros comunitarios.
- ☼ Delimitar la distribución de equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo del PNSAV en Veracruz, México.
- ☼ Comparar el ensamblaje de equinodermos (Echinodermata) de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo del PNSAV en Veracruz, México.

ÁREA DE ESTUDIO

El Estado de Veracruz está ubicado 22°28' y 17°09' de latitud Norte y 93°36' y 98°39' de longitud Oeste. Las costas veracruzanas son privilegiadas por tener complejos arrecifales de alta relevancia ecológica, los cuales posiblemente funcionen como reservorios, puentes y puntos de diseminación de especies entre las áreas arrecifales caribeñas y las de Florida (Vargas-Hernández *et al.*, 1993). El PNSAV, localizado frente a las costas de Veracruz que por su tamaño y el número de especies, es de los más importantes ecosistemas arrecifales considerado con mayor grado de impacto ambiental, a consecuencia tanto de perturbaciones naturales como de las actividades humanas (Horta y Tello, 2009), por lo que el 24 de agosto de 1992, por iniciativa de la SEDESOL, SEPESCA y SCT, se decretó como Parque Marino Nacional y posteriormente Parque Nacional (PNSAV) (INE, 2007; CONANP(a), 2011; DOF, 2012).

El clima del PNSAV corresponde al tipo AW''Z (w) (i') caliente sub-húmedo con lluvias en verano y parte del otoño, y una corta estación de seca (García, 1973). Al igual que el resto del Golfo de México, a lo largo del año, se distinguen tres temporadas principales: secas (abril a mayo), lluvias (julio a septiembre) y "nortes" (octubre a abril) (Yáñez-Arancibia y Sánchez-Gil, 1983; Salas-Pérez y Granados-Barba, 2008). Desde la primavera hasta el verano, la variabilidad atmosférica está dominada por las tormentas tropicales, que pueden evolucionar a huracanes (Gutiérrez de Velasco y Winant, 1996).

El PNSAV está formado por bajos, islas y arrecifes situados en la porción interna de la plataforma continental en el Golfo de México, los cuales se elevan desde profundidades cercanas a los 40 m (INE, 2007). Está construido en un banco de restos bioclásticos calcáreos de materiales coralinos pertenecientes al pleistoceno reciente, y es producto del descenso en el nivel del mar, debido a la última glaciación (Vargas-Hernández *et al.*, 1993; Ruppert y Barnes, 1996).

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

Constituido por más de 20 arrecifes de plataforma y costeros, es el más extenso y representa el límite occidental de distribución de los arrecifes coralinos en el Atlántico Tropical (Solís-Marín, 1997) (Figura 1).

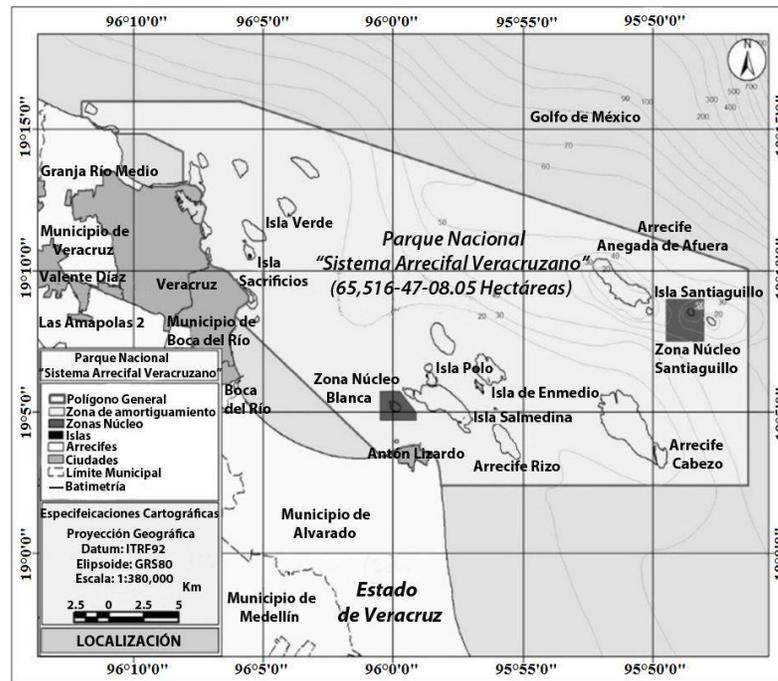


Figura 1. Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (Modificado de DOF, 2012).

De acuerdo con Lara *et al.* (1992), el PNSAV permite dividirse en cuatro zonas estructurales:

- ☼ **Arrecife frontal o Talud de Barlovento.** Se encuentra en la ladera de barlovento. Tiene una estructura de espuela y surco que se extiende a 12 m en los arrecifes cercanos a la costa y a 40 m en los arrecifes de la costa. Se subdivide en: El *Arrecife Frontal Interior*, oscila entre los 3 m y 15 m de profundidad con sustrato es heterogéneo y el *Arrecife Frontal Exterior* es fuerte entre los espolones y surcos, sobre todo en los arrecifes de la costa, cuenta con un declive de 15 m en el fondo arenoso.
- ☼ **Cresta arrecifal.** Es la parte menos profunda de los arrecifes, la turbulencia es alta entre septiembre y marzo con los fuertes vientos fríos del norte que se producen, se subdivide en tres zonas: *Arrecife posterior*, ubicada al lado de la zona de parches de la laguna arrecifal; La zona de *Rompeolas* expuesto a la energía del oleaje intenso, alta iluminación y las exposiciones de las mareas son comunes; finalmente la zona de *Transición Barlovento*, posee una suave pendiente que está continuamente expuesta a las turbulencias.
- ☼ **La laguna.** Es poco profunda y plana, la profundidad varía de 0.5 m a 2.5 m, se subdivide en 2 zonas: *Transición Sotavento* caracterizada por la dispersa ramificación de corales y

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

lobuladas cabezas de coral en el fondo fangoso y la zona de *Parches* es una mezcla de cabezas de coral y las algas, lechos de *Thalassia testudinum* y parches despojados de arena.

☼ **Arrecife posterior o Sotavento.** Zona muy variable, con una profundidad que oscila entre los 3 y 24 m, subdividida en tres zonas: la zona de *Placas*, la zona de *Acropora cervicornis* muertos y la zona de Gorgonias.

El PNSAV es un complejo arrecifal, dividido en dos grupos por la desembocadura del río Jamapa-Atoyac. En el grupo norte se pueden encontrar arrecifes como Blanquilla, isla Lobos y Enmedio, en el área Tampico-Tuxpan; La Gallega, La Galleguilla, Anegada de Adentro, Isla Verde, Pájaros e Isla Sacrificios, en el área de Veracruz; Mientras que en el grupo sur se encuentran los arrecifes Chopas, Enmedio, Anegada de Afuera, Cabezo y Rizo, en las cercanías de Antón Lizardo (Carricart-Ganivet y Horta-Puga, 1993; Ortiz-Lozano, 2006), todos en el sur del Golfo de México; entre las coordenadas geográficas 19° 02' 16" y 19° 15' 32" de latitud Norte (N) y 95° 46' 55" y 96°11'45" de longitud Oeste (O); con una extensión total aproximada de 52,238 Ha y alrededor de 2.7 km en su parte más ancha, tomados de la costa a mar abierto, sobre la plataforma continental (Ortiz-Lozano, 2006; CONANP (b), 2011).

Isla Sacrificio es un arrecife coralino de tipo plataforma, se localiza a los 19°10'26" N y 96°05'326" O a 2.4 km de la costa de la playa turística de Costa Verde (Figura 2). Mide 750 km en su eje más largo (NO-SE) con 450 m de ancho. Presenta una porción emergida conocida como "Isla Sacrificios". Con un área de 397.630 m² y un perímetro de 2,745 m, representa el 6.11% del área arrecifal de la parte norte del PNSAV (Carricart-Ganivet y Horta-Puga, 1993; Horta y Tello, 2009; CONANP (a), 2011).

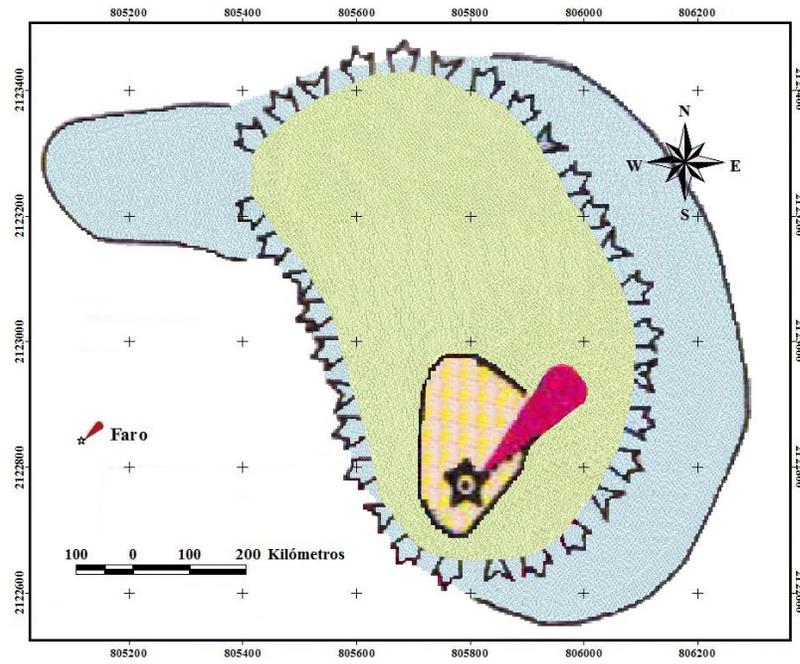


Figura 2. Arrecife Isla Sacrificios, tomado de la carta náutica 823 y modificada mediante el programa ArcView GIS 3.1 (Elaboración propia).

El Arrecife Rizo (Figura 3), catalogado como arrecife coralino de tipo plataforma, se localiza a los $19^{\circ}03'18''$ N y $95^{\circ}55'14''$ O, a 5.25 km de la costa; su eje mayor mide 2.87 km y está orientado en dirección NO-SE, su parte más ancha mide 875 m; no presenta porción emergida. Con un área de $1,958,000 \text{ m}^2$ y un perímetro de 7,482 m, representa el 7.8% del área arrecifal de la parte sur del Parque (Carricart-Ganivet y Horta-Puga, 1993; CONANP (a), 2011).

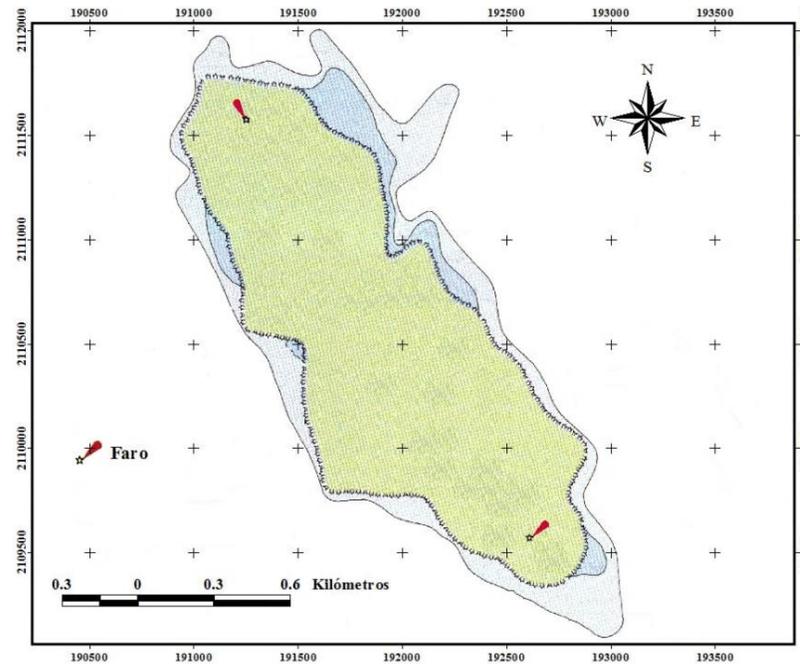


Figura 3. Arrecife Rizo, tomado de la carta náutica 821.5 y modificada mediante el programa ArcView GIS 3.1 (Elaboración propia).

MATERIALES Y MÉTODOS

TRABAJO PREVIO

Para el estudio se llevó a cabo una salida prospectiva en el mes de Diciembre para conocer el área; fotografiar y, en su caso, reconocer los organismos presentes; y adiestramiento del método de instalación de los cuadrantes.

Obtención de cuadrantes: Fueron adquiridas las cartas náuticas S.M. 823 de Veracruz y proximidades (Secretaría de Marina, 1997) para el arrecife Isla Sacrificios y S.M. 821.5 Fondeadero Antón Lizardo (Secretaría de Marina, 2010) para el arrecife Rizo, escala 1:25,000. Posteriormente fueron digitalizadas y se georreferenciaron en el programa Arc View 3.1, consecutivamente se cuadricularon las planicies arrecifales de forma que cada cuadro obtuviera un área 5x5 m, siendo está la unidad mínima reportada por Villanueva-Sousa (2008); Ugalde-García (2010) y Mohedano-Maldonado (2010). Se tomaron las coordenadas de 30 cuadrantes al azar obtenidas mediante el programa Microsoft Excel, además de tomar las coordenadas del faro (NO, NE, SO y SE), las cuales se anotaron en un mapa sumergible (Figura 4).

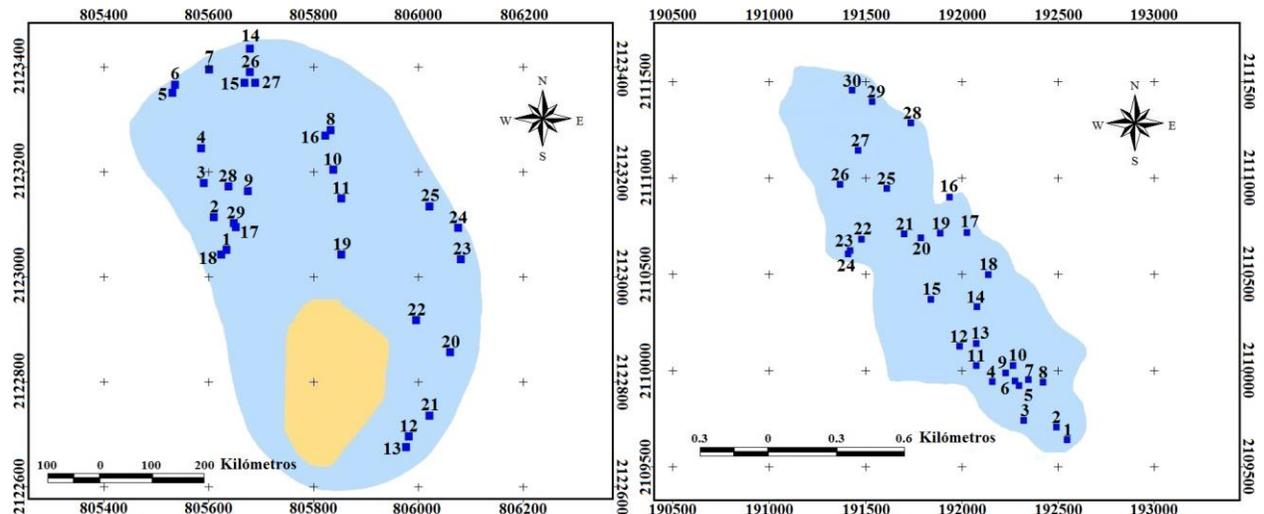


Figura 4. Mapa de los puntos de muestreo para los arrecifes Isla Sacrificios (izquierda) y Rizo (derecha).

Guías de campo: Con información especializada de las especies que han sido reportadas para los arrecifes o estudios de arrecifes cercanos y con las fotografías de la salida prospectiva se elaboraron guías de campo para la determinación *in situ*. Esta guía fue sumergible, por lo que se enmició y contuvo una imagen de cada especie, así como su nombre científico y algunas características distintivas del organismo.

TRABAJO DE CAMPO

Se efectuaron 2 salidas, la primera fue del 1 al 3 de Abril del 2012 para el muestreo del arrecife Isla Sacrificios, la segunda fue del 11 al 13 de Julio del mismo año para el arrecife Rizo. Ambos muestreos fueron diurnos de 9:00 a 17:00 horas aproximadamente.

Ajuste de coordenadas: Los puntos de muestreo se ajustaron con un GPS marca GARMIN GPSMAP 76 con precisión de 4m. En el área de estudio se tomaron las coordenadas del faro, para ajustar a las coordenadas adquiridas en ArcView GIS de las cartas náuticas S.M. 823 y S.M. 821.5 que se obtuvieron del faro, para sumar y restar segundos según fuera el caso, y que sirvió como referencia para ubicar los cuadrantes en campo.

Puntos de muestreo: Al ubicar las coordenadas de los puntos de muestreo se delimitó el área con ayuda de un cabo con plomos, y por medio de buceo libre se tomaron en cuenta, en una tabla de acrílico, datos como: hora, coordenadas geográficas, especies, número de organismos por especie, profundidad y cobertura de biotopos, que fueron delimitados en: *Thalassia*, pedacería, roca, pavimento coralino, arena y coral vivo, por ser más conspicuos y abundantes en estos arrecifes (Tello, 2000) y porque son los asociados a los Equinodermos (Mohedano-Maldonado, 2010 y Ugalde-García, 2010). Es importante mencionar que debido a que es un Área Natural Protegida no hubo colecta de organismos y para poder registrar más datos fue necesario revisar entre los rizomas de *Thalassia* y levantar la pedacería o roca coralina encontrada en los cuadrantes y posteriormente fueron regresados a su posición original para minimizar el daño al hábitat. También se contó con un registro fotográfico para confirmar la determinación de las especies en laboratorio, las fotos fueron tomadas con las cámaras Fujifilm Finepix Z33WP y XP10 de 10 y 12 mega píxeles de resolución respectivamente. Posteriormente estos datos se vaciaron en otra bitácora.

TRABAJO EN LABORATORIO

Lista de especies: Las especies se corroboraron mediante el registro fotográfico, con ayuda de las descripciones taxonómicas de Caso (1961), Solís-Marín *et al.* (1993), Hendler *et al.* (1995), Laguarda-Figueras *et al.* (2005), Solís-Marín *et al.* (2007), Hernández-Herrejón *et al.* (2008), Laguarda-Figueras *et al.* (2009). Las determinaciones taxonómicas fueron confirmadas por el Dr. Francisco Alonso Solís Marín.

El listado taxonómico se elaboró con los datos obtenidos en el campo y el arreglo sistemático con base en la publicación de Hendler *et al.* (1995), que se fundamenta en Smith. Los órdenes y las familias incluyen a Serafy para equinoideos; Miller y Pawson para holoturoideos; Clark y

Downey para asteroideos; Spencer y Wright para ofiuroides, además de la publicación de Solís-Marín *et al.* (2007).

Tamaño de muestra: Mediante el programa PRIMER v 6.0 se elaboró una curva de acumulación de especies empleando el estimador no paramétrico Bootstrap, utilizando los datos de presencia-ausencia de las especies encontradas en cada arrecife.

Mapas de distribución: Los mapas de distribución de biotopos, análisis de agrupamiento y distribución de las especies fueron elaborados en el programa Arc View 3.1 y modificadas con base a las cartas náuticas antes mencionadas. Para la representación de la distribución de biotopos de cada arrecife se utilizó el biotopo de mayor cobertura debido a que en los cuadrantes muestreados se encontraron diferentes porcentajes de biotopos.

Parámetros comunitarios: Con la información adquirida en campo se caracterizó y comparó el ensamblaje de equinodermos con los siguientes parámetros (Shannon y Weaver, 1963; Sokal y Rohlf, 1995; Begon *et al.*, 2006; Rocha *et al.*, 2006; Krebs, 2009):

- ☼ **Riqueza de Especies (S):** Para este estudio consistió simplemente en establecer el número de las especies existentes en una comunidad o ensamblaje.
- ☼ **Abundancia:** Número de individuos por especie
- ☼ **Abundancia relativa:** es en el número individuos por especies i (N_i), de la cual se obtuvo la medida de proporción relativa de cada especie (P_i).

$$P_i = \frac{N_i}{\sum_{i=1}^S N_i'}$$

Así mismo se estimaron los siguientes índices, pruebas y coeficientes:

- ☼ **Índice de Diversidad de Shannon-Weaver (H'),** toma en consideración los patrones de la abundancia como la riqueza de especies.

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

Dónde:

H' : Es el contenido de información de la muestra (bits/individuo).

S : Número de especies.

P_i : proporción de individuos encontrados de la especie i .

\log_2 : Es el logaritmo (base 2).

- ☼ **La máxima diversidad (H_{max})** de una muestra es equivalente a que la abundancia de las especies en la muestra sea equivalente en tal caso.

$$H_{max} = \log_2 S$$

☼ **La Equitatividad (J)** compara el valor actual de la diversidad con el obtenido de la diversidad máxima.

$$J = \frac{H'}{H_{max}} = \frac{H'}{\log_2 S}$$

☼ **Índice de Valor de Importancia (IVI)**, este índice se calcula para cada una de las especies en el ensamblaje de una comunidad, donde las especies con valores más altos de importancia pueden referir a las especies importantes. Para este parámetro se combina densidad relativa, dominancia relativa y frecuencia relativa (300).

☼ **Densidad (Di)**, número de organismos de una especie (ni) por unidad de área (A).

$$Di = ni/A$$

☼ **Densidad Relativa (DiR)** es el porcentaje que tiene cierta especie del total de individuos de todas las especies.

$$DiR = \left(\frac{ni}{nT} \right) 100$$

ni: densidad de la especie i.

nT: sumatoria de las densidades de todas las especies.

☼ **Dominancia (Ci)** es la suma de valores de biomasa de una especie en unidad de área

$$Ci = ai/A$$

Dónde:

ai: área donde aparece la especie i.

A: área total arrastrada.

☼ **Dominancia Relativa (CiR)** es:

$$CiR = \left(\frac{Ci}{\Sigma c} \right) 100$$

Donde Σc es la sumatoria de las dominancias

☼ **Frecuencia (Fi)** es el número de muestras en las que se encuentra una especie (mi) del total de muestras (MT).

$$Fi = \left(\frac{mi}{MT} \right)$$

☼ **Frecuencia Relativa (FiR)** es la frecuencia de una especie (Fi) del total de la frecuencia de todas las especies (ΣFi).

$$FiR = \left(\frac{Fi}{\Sigma Fi} \right) 100$$

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

- ☼ **Olmstead y Tukey**, método gráfico de la prueba de asociación que determina la relación entre frecuencia-abundancia de cada especie en un gráfico de dispersión. En el gráfico el cuadrante superior izquierdo muestra las especies que son muy frecuentes y poco abundantes; el cuadrante superior derecho, especies que son muy frecuentes y muy abundantes; el cuadrante inferior izquierdo, especies poco frecuentes y poco abundantes; y el cuadrante inferior derecho las especies poco frecuentes y muy abundantes.
- ☼ **Distancia de cuerda**. Análisis de agrupamiento en el cual los efectos indeseables que se presentan con el uso de la distancia Euclidiana son corregidos al proyectar las muestras al perímetro de una circunferencia de radio igual a uno, con centro en el origen de las coordenadas.

$$DC_{jk} = \sqrt{2 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^S (X_{ij})(X_{ik})}{\sqrt{\sum_{i=1}^S X_{ij}^2 \sum_{i=1}^S X_{ik}^2}} \right]}$$

DC_{jk} = Distancia de cuerda entre las muestras j y k.

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.

S = Número de especies.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

LISTADO DE ESPECIES.

El total de organismos registrados fue de 6,116 de los cuales 2,045 corresponden al arrecife Isla Sacrificios y 4,071 organismos pertenecen al arrecife Rizo. El listado total de equinodermos incluye cuatro clases, nueve órdenes, 17 familias, 18 géneros y 29 especies (Cuadro 1). Solo un organismo no se logró identificar hasta especie, debido a que era muy pequeño, lo que dificultó identificar en fotografías algunas características para su determinación. Además de que no se pudo tener certeza de que fuera un individuo adulto y no un organismo en estadio juvenil, siendo así se le considero como Holothuroideo.

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

Cuadro 1. Lista de especies registradas para los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo. Las especies encontradas exclusivamente en el arrecife Isla Sacrificios se marcan con un asterisco (*), mientras que las exclusivas del arrecife Rizo se marcan con un signo de más (+).

CLASE ASTEROIDEA

Orden Valvatida Perrier, 1884

Familia Oreasteridae Fisher, 1911

Género *Oreaster* Müller & Troschel, 1842

**Oreaster reticulatus* (Linnaeus, 1758)

Familia Ophidiasteridae Verrill, 1870

Género *Linckia* Nardo, 1834

Linckia guildingii (Gray, 1840)

CLASE OPHIUROIDEA

Orden Ophiurida Müller & Troschel, 1840

Familia Ophiuridae Lyman, 1865

Género *Ophiolepis* Müller & Troschel, 1840

Ophiolepis paucispina (Say, 1825)

Familia Ophiocomidae Ljungman, 1867

Género *Ophiocoma* Agassiz, 1836

Ophiocoma echinata (Lamarck, 1816)

+*Ophiocoma pumila* (Lütken, 1859)

Ophiocoma wendtii (Müller & Troschel, 1842)

Género *Ophiocomella* A. H. Clark, 1939

+*Ophiocomella ophiactoides* (H. L. Clark, 1901)

Familia Ophionereididae Ljungman, 1867

Género *Ophionereis* Lütken, 1859

**Ophionereis reticulata* (Say, 1825)

Familia Ophiodermatidae Ljungman, 1867

Género *Ophioderma* Müller & Troschel, 1840

Ophioderma appressum (Say, 1825)

Ophioderma cinereum (Müller & Troschel, 1842)

+*Ophioderma phoenium* (H.L Clark, 1918)

Familia Ophiactidae Matsumoto, 1915

Género *Ophiactis* Lütken, 1856

Ophiactis savignyi (Müller & Troschel, 1842)

Familia Ophiotrichidae Ljungman, 1866

Género *Ophiothrix* Müller & Troschel, 1840

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

Ophiothrix angulata (Say, 1825)

Ophiothrix lineata (Lyman, 1860)

Ophiothrix oerstedii (Lütken, 1856)

Ophiothrix suensonii (Lütken, 1856)

CLASE ECHINOIDEA

Orden Cidaroida Claus, 1880

Familia Cidariidae Gray, 1825

Género *Eucidaris* Pomel, 1883

Eucidaris tribuloides (Lamarck, 1816)

Orden Diadematoidea Duncan, 1889

Familia Diadematidae Gray, 1855

Género *Diadema* Gray, 1825

Diadema antillarum (Philippi, 1845)

Orden Temnopleuroidea Mortensen, 1942

Familia Toxopneustidae Troschel, 1872

Género *Lytechinus* A. Agassiz, 1863

Lytechinus variegatus (Lamarck, 1816)

+*Lytechinus williamsi* (Chester, 1968)

Género *Tripneustes* L. Agassiz, 1841

+*Tripneustes ventricosus* (Lamarck, 1816)

Orden Echinoida Claus, 1876

Familia Echinometridae Gray, 1825

Género *Echinometra* Gray, 1825

Echinometra lucunter lucunter (Linnaeus, 1758)

Echinometra viridis (A. Agassiz, 1863)

CLASE HOLOTHUROIDEA

+Holothuroideo

Orden Dendrochirotida Grube, 1840

Familia Phyllophoridae

Género *Neothyonidium* Deichmann, 1938

**Neothyonidium parvum* (Ludwig, 1881)

Orden Aspidochirotida Grube, 1840

Familia Holothuriidae Ludwig, 1894

Género *Holothuria* Linnaeus, 1767

**Holothuria* sp.

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

+*Holothuria* sp.

Subgénero *Platyperona* Rowe, 1969

+*Holothuria (Platyperona) parvula* (Selenka, 1867)

Familia Stichopodidae Haeckel, 1896

Género *Isostichopus* Deichmann, 1958

* *Isostichopus* cf. *Badionotus* (Selenka, 1867)

Para el total de 29 especies, 16 se presentaron en ambos arrecifes, mientras que cinco y ocho fueron exclusivas para Isla sacrificios y Rizo respectivamente. El registro total de este estudio fue menor al reportado por Ugalde-García (2010) en Isla Sacrificios (31 especies). Sin embargo, el número de especies fue mayor que el registrado en la planicie arrecifal de Anegada de Adentro (20) realizado por Mohedano-Maldonado (2010) y Villanueva-Sousa (2008) en la Galleguilla (24).

Por otra parte los nuevos registros, para el arrecife Isla Sacrificios son: *O. appressum* y *N. parvum*, considerando ésta última como nuevo registro para el PNSAV y para México; cabe resaltar que son los primeros registros de equinodermos para el arrecife Rizo de acuerdo a las publicaciones de Solís-Marín (1997), Durán-González *et al.* (2005), Solís-Marín *et al.* (2007), Solís-Marín (2008) y la revisión taxonómica del SAV elaborada por Villanueva-Sousa (2011).

TAMAÑO DE MUESTRA

La curva de acumulación muestra que de acuerdo al estimador Bootstrap las especies observadas fueron de 21 para el arrecife Isla Sacrificios y 24 para el arrecife Rizo, mientras que el número de especies estimado fue 24 y 27 para los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo respectivamente, por lo que el muestreo tiene una confiabilidad del 87.5% para el arrecife Isla Sacrificios, mientras que para el arrecife Rizo fue de 88.8%.

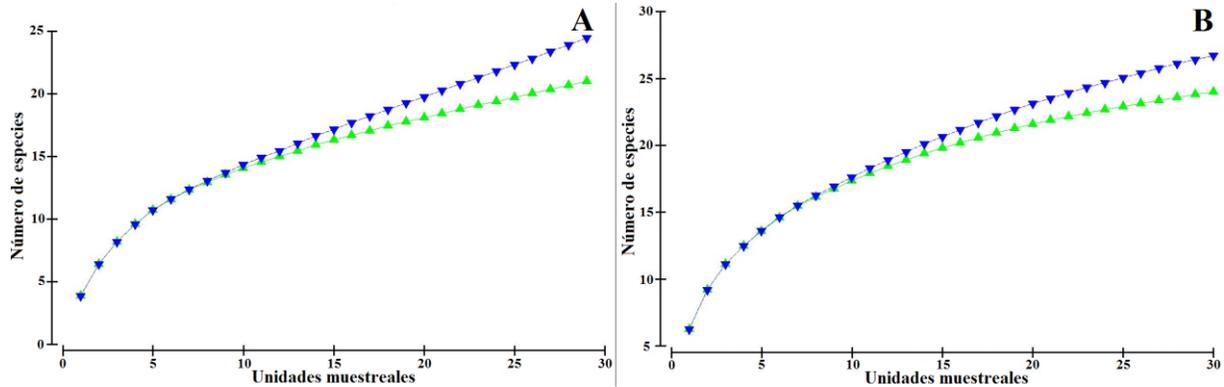


Figura 5. Curva de acumulación de los arrecifes Isla Sacrificios (izquierda) y Rizo (derecha). Los datos

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

observados se muestran de color verde y los datos calculados mediante el estimador Bootstrap de color azul.

En los dos arrecifes se obtuvo más del 80% pero en ambos casos no alcanzaron la asíntota, por lo que no existen criterios objetivos que permitan decidir que este listado se considere como suficiente pues Ugalde-García (2010), registró 31 especies para el arrecife Isla Sacrificios, sin embargo, fueron reportadas en tres temporadas del año y las especies que pueden faltar aún por registrar en este estudio sean las especies localmente raras (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003) o las especies de hábitos nocturnos, por eso también debe considerarse la biología de los organismos.

DISTRIBUCIÓN DE LOS BIOTOPOS

En relación al porcentaje total de biotopos por arrecife, se tiene que para el arrecife Isla Sacrificios hay una mayor cobertura de *Thalassia*, pedacera coralina y roca coralina, en éste último por lo general no se encontraron organismos. En contraste en Rizo la mayor cobertura fue de pedacera coralina y arena (Figura 6).

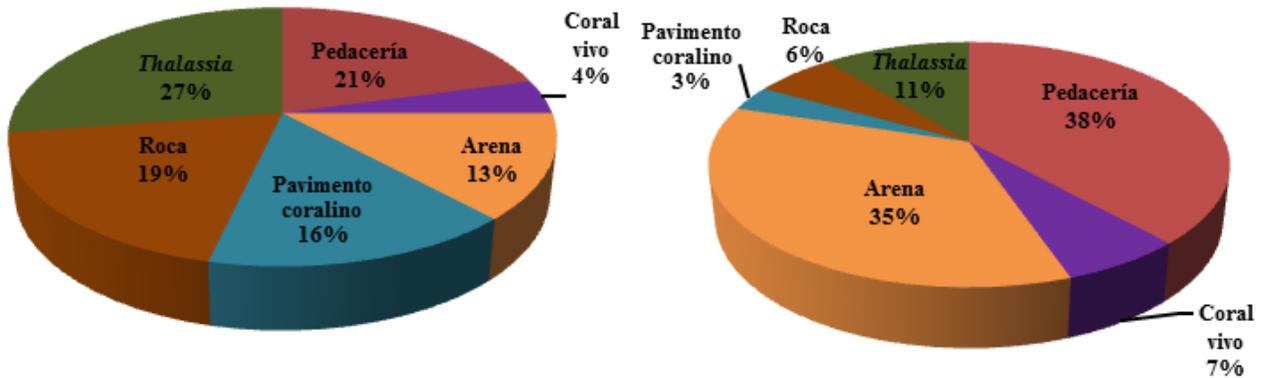


Figura 6. Biotopos considerados del arrecife Isla Sacrificios (A) y Rizo (B).

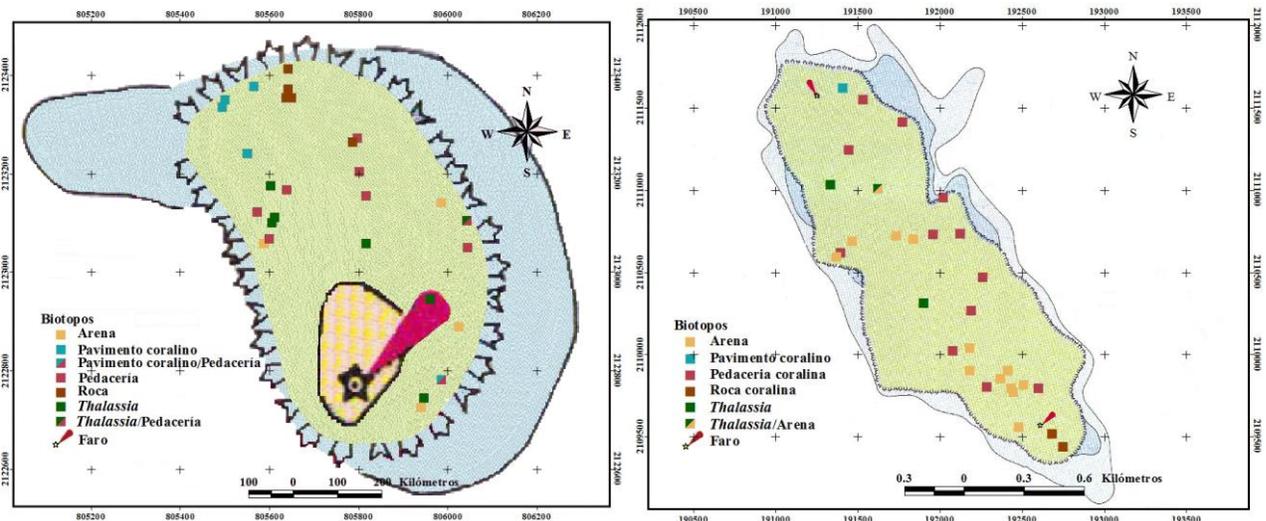


Figura 7. Distribución de los biotopos en los arrecifes Isla Sacrificios (izquierda) y Rizo (derecha).

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

El biotopo de pedacería predominó en varios cuadrantes de los dos arrecifes. En Isla Sacrificios su distribución se nota del centro de la planicie hacia sotavento y la cresta barlovento del arrecife, mientras que en Rizo se localiza distribuido de forma irregular sobre todo el arrecife (Figura 7). En las partes Norte y Sur de los arrecifes, se encontró pavimento coralino y roca, obteniendo proporciones bajas a diferencia de pedacería, sin embargo, estos tres biotopos se localizaron en su mayoría dentro de cuadrantes ubicados en la cresta de barlovento, concordando con lo reportado por Ugalde-García (2010), donde en esta zona la rompiente es de alta energía por los corales que se presentan, como lo señala Chávez e Hidalgo (1987).

La arena uno de los biotopos con mayor cobertura en el arrecife Rizo y menor cobertura en Isla Sacrificios. Se encuentra principalmente en cuadrantes centrales o hacia la zona de sotavento (Figura 7), debido a que las corrientes formadas en la entrada de agua de la zona oceánica chocan con la cresta arrecifal, fragmentando trozos de coral que posteriormente forman el sedimento como lo indica Vargas-Hernández *et al.*, (1993) y Tello-Musi (2000). La carga de sedimento puede ser suficientemente grande para limitar el desarrollo de los corales en la proporción central y da lugar a la formación de una laguna como lo indica Chávez e Hidalgo (1987), estas condiciones permiten el crecimiento de *Thalassia*, biotopo de mayor cobertura en el arrecife Isla Sacrificios y menor en Rizo. Este biotopo, Quintana y Molina (1991) señalan que se distribuye en machones irregulares, siendo dominante en regiones tropicales y subtropicales con altas incidencias de luminosidad, por lo que Ibarra-Morales y Abarca-Arenas (2007), reportan que la biomasa de este biotopo puede variar dependiendo de la estación del año.

El biotopo de coral vivo con 4% y 7% en los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo respectivamente, no mostró dominancia en ninguno de los cuadrantes, por lo cual no se muestra en los mapas de distribución de biotopos.

PARÁMETROS COMUNITARIOS

Riqueza específica por arrecife

En el arrecife Isla Sacrificios se registraron 21 especies repartidas en 14 familias y para el arrecife Rizo se registró 24 especies correspondientes a 12 familias. El total de las especies pertenecieron a cuatro Clases de Equinodermos (Figura 8).

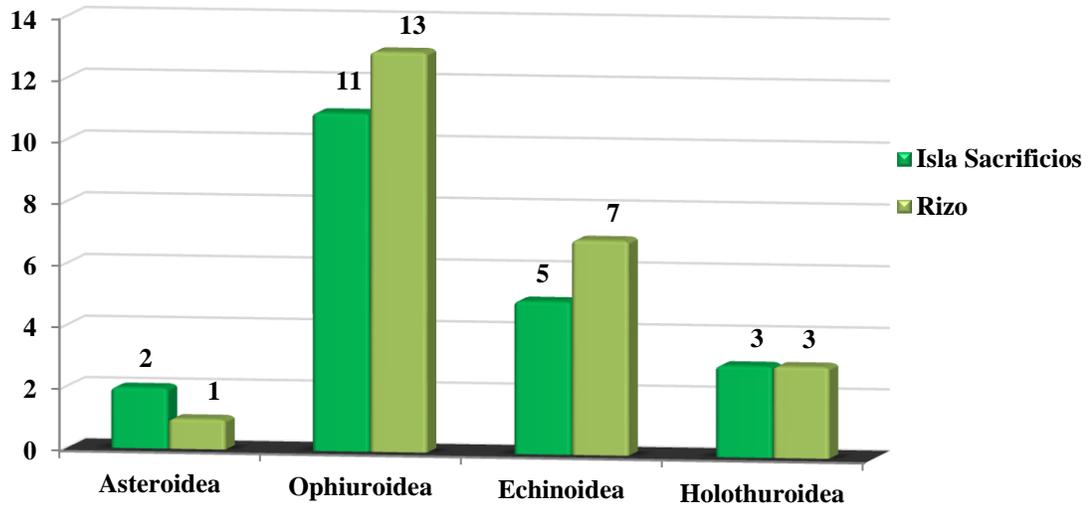


Figura 8. Riqueza de especies de los arrecifes Isla Sacrificios (A) y Rizo (B).

En ambos arrecifes la mayor riqueza se registró para las Clases Ophiurozoidea y Echinozoidea, coincidiendo con lo reportado para otros arrecifes del PNSAV (Villanueva-Sousa, 2008; Ugalde-García, 2010; Mohedano-Maldonado, 2010; y Villanueva-Sousa, 2011). Esto se puede deber a que el número de especies de ofiuroideos, exceden considerablemente en muchos arrecifes tropicales a los demás equinodermos (Brusca y Brusca, 2005) debido posiblemente a que ocupan diferentes sitios dentro del arrecife, gracias a la capacidad de adaptarse al alimento disponible en su entorno lo cual les permite protegerse de depredadores (Solís-Marín y Mata-Pérez, 1999; Birkeland, 1989). El registro de equinoideos fueron cinco para el arrecife Isla Sacrificios y siete para Rizo, considerándolos de mayor riqueza ya que para el PNSAV solo se han reportado nueve especies (Villanueva-Sousa, 2011). Para esta clase, aunque su alimento más importante son las algas, la mayoría son generalistas que consumen una amplia variedad de materias vegetales y animales (Lawrence, 1975).

En el caso de holoturoideos se registraron para cada arrecife tres especies de las 19 especies reportadas para el PNSAV. En esta clase se conoce bien la separación de las especies dentro de sus diferentes micro-hábitats, que se debe posiblemente a sus mecanismos y especializaciones alimenticias (Calva, 2002). En particular el bajo registro de Asterozoideos con dos especies registradas de las siete registradas para el PNSAV (Villanueva-Sousa, 2011), se podría deber a que algunas especies tienden a ser excavadoras y a que son especialmente vulnerables a la explotación humana (Hendler *et al.*, 1995).

Abundancia

La clase más abundante fue Echinoidea representada con más de 1000 y 3000 individuos en los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo respectivamente; en segundo lugar se encuentra la Clase Ophiuroidea que presentó abundancias mayores a 100 para Isla Sacrificios y 800 individuos para Rizo. Las clases menos abundantes fueron Asteroidea y Holothuroidea, con menos de 20 individuos (Figura 9).

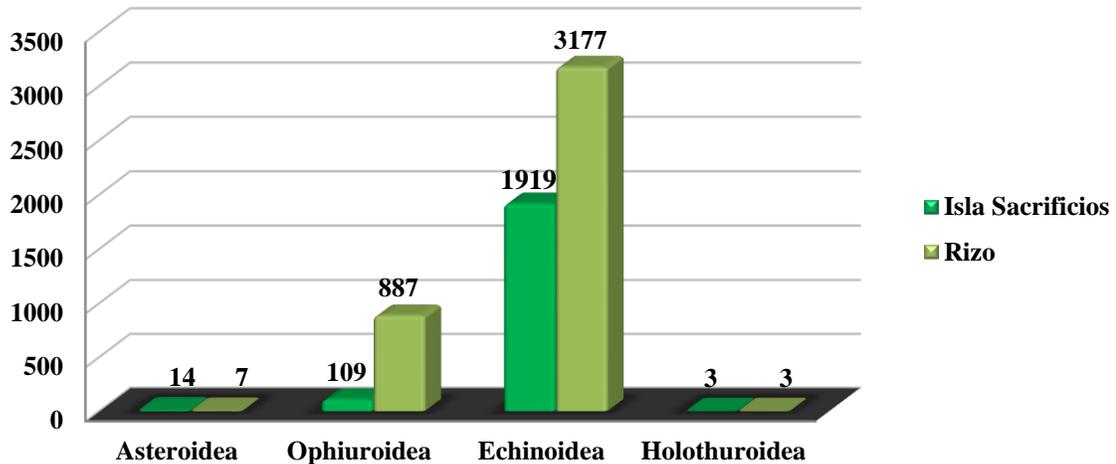


Figura 9. Abundancia por clase taxonómica de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

Contrariamente a la riqueza, las Clases Equinoidea obtuvo mayor abundancia en los dos arrecifes que coincide con otros reportes del PNSAV (Villanueva-Sousa, 2008; Ugalde-García, 2010; Mohedano-Maldonado, 2010; y Villanueva-Sousa, 2011). Este resultado posiblemente se deba a la adaptación a una variedad de hábitos alimenticios, como ya se mencionó, lo cual tiene grandes efectos, dado que frecuentemente están congregados en densas poblaciones como lo indican Calva (2002) y Celaya-Hernández *et al.* (2008).

Abundancia por especie

Las especies más abundantes en los dos arrecifes fueron *E. lucunter*, *E. viridis* y *L. variegatus* (Figura 10), especies que por ser herbívoras pueden influir en estos ecosistemas. Según Hendler *et al.* (1995), una densa población de erizos puede consumir extensas regiones de algas y pastos marinos, controlando la población de éstas. Además, señala que especies como *E. lucunter* son responsables, en cierta medida, de la bioerosión ya que el trabajo que realizan con su aparato masticador al alimentarse, produce grandes cantidades de sedimento fino. En el caso del arrecife Rizo *O. lineata* también se observa con mayor abundancia (Figura 10), debido a que ha encontrado condiciones favorables para su desarrollo, entre de lo que favoreció es que se han

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

reportado que esta especie se rige por la disponibilidad de las esponjas adecuadas, por su asociación comensal. Por el contrario de otras especies, que además de vivir dentro de las esponjas y también sobre el sustrato de las mismas, no son protegidas contra depredadores (Hendler, 1984; Hendler *et al.*, 1995).

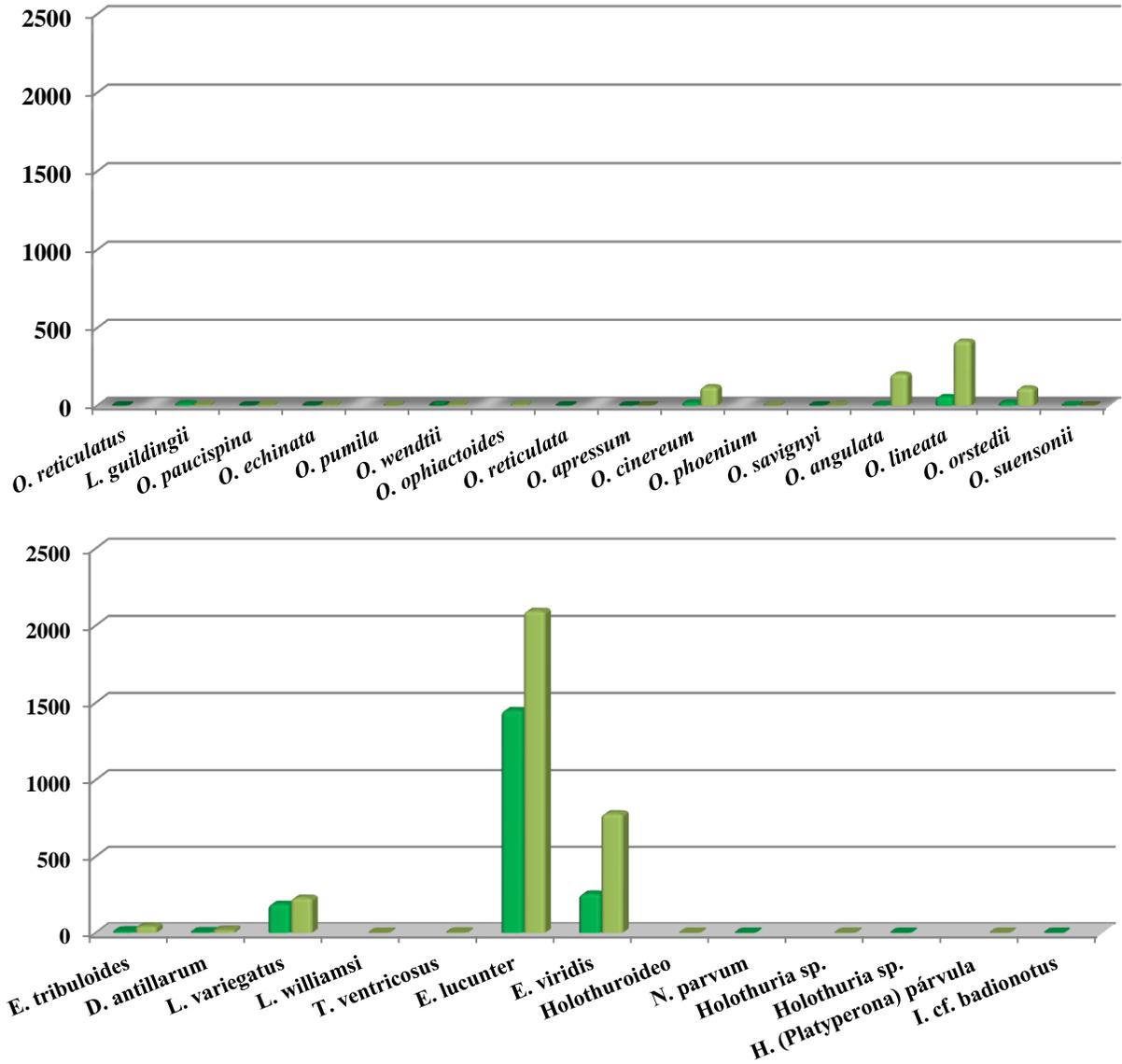


Figura 10. Abundancia por especies de las Clases Asterozoa y Ophiurozoa (arriba) y Echinozoa y Holotherozoa (abajo) de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

Diversidad

El arrecife Isla Sacrificios presentó una diversidad de 1.53 y el arrecife Rizo obtuvo un valor de 2.26 (Cuadro 2). De acuerdo a las tres temporadas establecidas por Yáñez-Arancibia y Sánchez-Gil (1983) y Salas-Pérez y Granados-Barba (2008), el muestreo de Isla Sacrificios se llevó a cabo a finales de nortes, por lo que probablemente estos fenómenos afectaron en la abundancia y la

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

presencia de las especies por lo que el valor de diversidad obtenido para este arrecife fue bajo en comparación con el valor reportado por Ugalde-García (2010), para la temporada de nortes.

Para el arrecife Rizo, los muestreos se realizaron en temporada de lluvias. En este arrecife el valor de diversidad fue mayor que el reportado por Ugalde-García (2010) para épocas de lluvias, y fue mayor también al arrecife Anegada de Adentro (Mohedano-Maldonado, 2010). El valor de diversidad de la planicie de este arrecife fue menor al del Talud de Isla Sacrificios reportado por Villanueva-Sousa (2011). Este valor de diversidad que se obtuvo para Rizo alcanzó la mitad de la diversidad máxima.

Cuadro 2. Índice de diversidad de equinodermos para los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

	Arrecife Isla Sacrificios	Arrecife Rizo
Índice Shannon-Weaver	1.527	2.261
Hmax	4.392	4.585
J'	0.348	0.493

Índice de Valor de Importancia y Olmstead y Tukey.

En los dos arrecifes casi la mitad de las especies son dominantes de acuerdo a la prueba de asociación de Olmstead y Tukey, coincidiendo con que estas especies también presentan los valores de importancia más altos.

Considerando los índices de valor de importancia (IVI) realizados para cada arrecife se obtuvo que las especies con alto valor para ambos fueron: *E. lucunter*, *E. viridis*, *L. variegatus*, *O. lineata* sumando el 79% para Isla Sacrificios (Cuadro 3) y cerca del 89% para Rizo, aunque en este arrecife se añade también a *O. cinereum*, *O. angulata* y *O. ortedii* (Cuadro 4).

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

Cuadro 3. IVI de las especies del arrecife Isla Sacrificios.

Especie	IVI	IVI (%)
<i>L. guildingii</i>	10.45	3.5
<i>O. reticulatus</i>	1.02	0.3
<i>O. paucispina</i>	1.02	0.3
<i>O. echinata</i>	1.02	0.3
<i>O. wendtii</i>	2.03	0.7
<i>O. reticulata</i>	1.02	0.3
<i>O. apressum</i>	1.02	0.3
<i>O. cinereum</i>	10.93	3.6
<i>O. savignyi</i>	1.02	0.3
<i>O. angulata</i>	4.16	1.4
<i>O. lineata</i>	14.85	4.9
<i>O. oerstedii</i>	10.02	3.3
<i>O. suensonii</i>	3.05	1.0
<i>E. tribuloides</i>	7.79	2.6
<i>D. antillarum</i>	5.27	1.8
<i>L. variegatus</i>	31.43	10.5
<i>E. lucunter</i>	159.44	53.1
<i>E. viridis</i>	31.46	10.5
<i>N. parvum</i>	1.02	0.3
<i>Holothuria sp.</i>	1.02	0.3
<i>I. cf. badionotus</i>	1.02	0.3

Cuadro 4. IVI de las especies del arrecife Rizo.

Especie	IVI	IVI (%)
<i>L. guildingii</i>	3.54	1.2
<i>O. paucispina</i>	1.84	0.6
<i>O. echinata</i>	1.84	0.6
<i>O. pumila</i>	1.74	0.6
<i>O. wendtii</i>	1.94	0.6
<i>O. ophiactoides</i>	1.41	0.5
<i>O. apressum</i>	0.58	0.2
<i>O. cinereum</i>	17.64	5.9
<i>O. phoenium</i>	1.21	0.4
<i>O. savignyi</i>	1.26	0.4
<i>O. angulata</i>	15.82	5.3
<i>O. lineata</i>	32.03	10.7
<i>O. oerstedii</i>	14.59	4.9
<i>O. suensonii</i>	0.58	0.2
<i>E. tribuloides</i>	6.95	2.3
<i>D. antillarum</i>	6.93	2.3
<i>L. variegatus</i>	20.28	6.8
<i>L. williamsi</i>	0.58	0.2
<i>T. ventricosus</i>	2.32	0.8
<i>E. lucunter</i>	117.74	39.2
<i>E. viridis</i>	47.43	15.8
Holothuroideo	0.58	0.2
<i>Holothuria sp.</i>	0.58	0.2
<i>H. (Platyperona) p�rvara</i>	0.58	0.2

Las gráficas de las pruebas de asociación Olmstead y Tukey (Figura 11 y 12), se muestran divididas en 4 partes por la mediana de las abundancias y las frecuencias de las especies.

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

Las especies dominantes (D: abundantes y frecuentes) para los dos arrecifes fueron 10 especies dominantes: *E. lucunter*, *L. variegatus*, *E. viridis*, *O. lineata*, *O. cinereum*, *O. oerstedii*, *L. guildingii*, *E. tribuloides*, *D. antillarum* y *O. angulata*.

Las especies que resultaron raras (R: poco abundantes y poco frecuentes), en el caso de Isla Sacrificios fueron *O. reticulata*, *O. wendtii*, *O. reticulatus*, *O. paucispina*, *O. echinata*, *O. apressum*, *O. savignyi*, *I. cf. badionotus*, *Holothuria sp.*, y *N. parvum* (las últimas ochos se localizan en el punto X=1, Y=1). En Rizo Las especies raras fueron: *O. savignyi*, *O. phoenium*, *O. suensonii*, *L. williamsi*, *Holothuroideo*, *Holothuria sp.*, *H. (Platyperona) pàrvula* y *O. apressum* (Las seis últimas se localizan en el punto X=1, Y=1).

En el caso del arrecife Isla Sacrificios, la especie *O. suensonii* se encontró con frecuencia y abundancia indefinida. Para el caso del arrecife Rizo, se consideraron especies constantes (poco abundantes pero frecuentes) como *T. ventricosus* y ocasionales (abundante pero poco frecuente) como *O. ophiactoides*. También se observan especies con frecuencia intermedia, es decir, que presentan frecuencia que coinciden con las medianas, las que son poco abundantes y con frecuencia intermedia son *O. pumila*, *O. echinata*, *O. paucispina* y una especie abundante pero de igual forma con frecuencia intermedia fue *O. wendtii*.

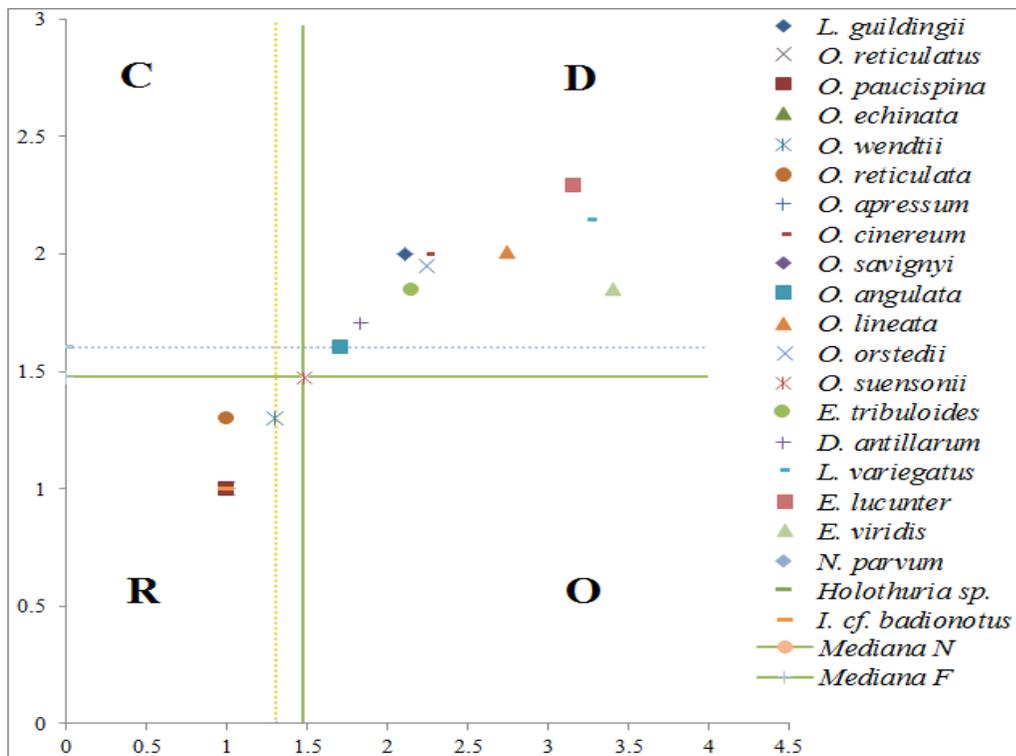


Figura 11. Prueba de asociación frecuencia (Y)-abundancia(X) de Olmstead y Tukey del arrecife Isla Sacrificios. D: dominantes; R: raras; C: constantes; y O: ocasionales.

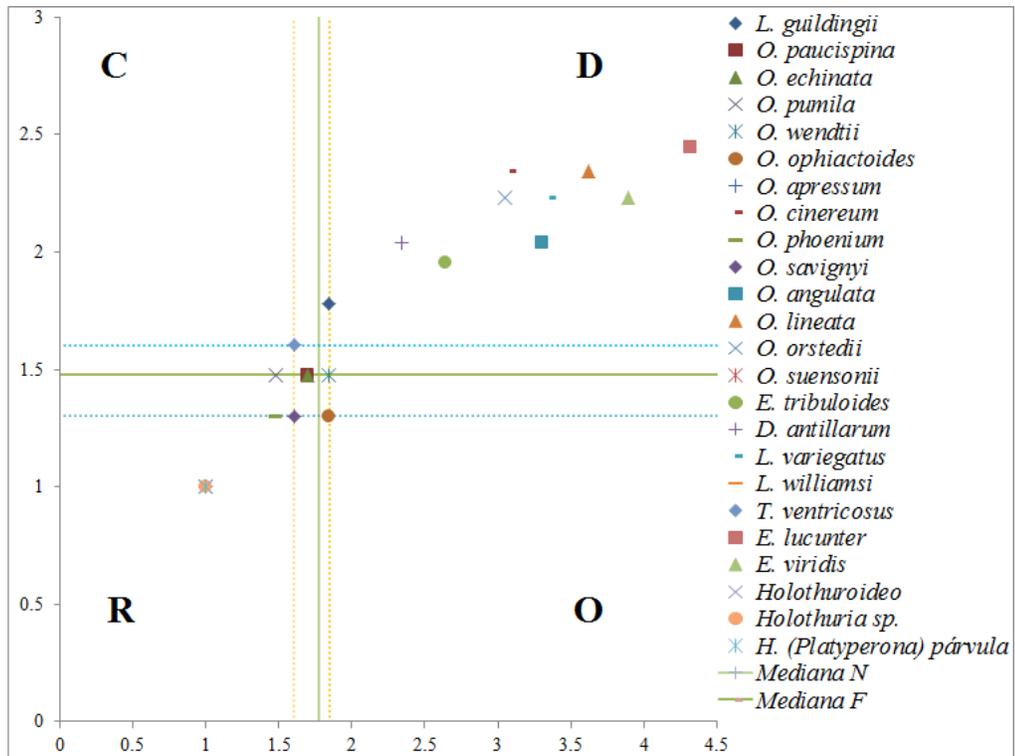


Figura 12. Prueba de asociación frecuencia (Y)-abundancia(X) de Olmstead y Tukey del arrecife Rizo. D: dominantes; R: raras; C: constantes; y O: ocasionales.

ÍNDICES DE AGRUPAMIENTO

Arrecife Isla Sacrificios.

El dendrograma obtenido a partir del índice de disimilitud para el arrecife Isla Sacrificios, muestra que se obtuvieron tres grupos (Figura 13).

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

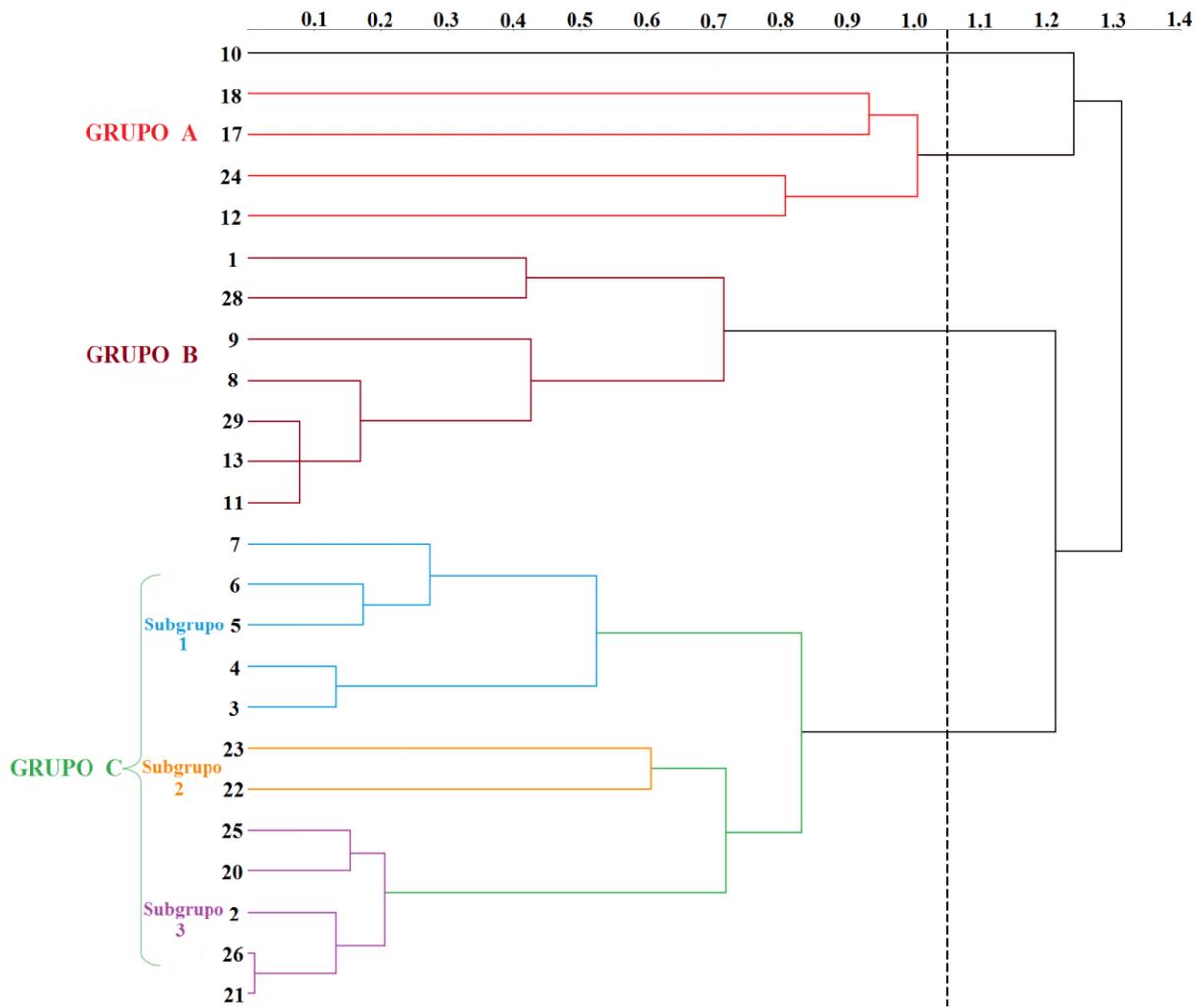


Figura 13. Dendrograma obtenido por la distancia de cuerda para el arrecife Isla Sacrificios. El análisis de distancia de cuerda, mostró que los cuadrantes son disimiles, pues haciendo un corte en el valor 1.05 se obtuvo mayor información de los grupos. Aunque para el grupo C, la formación de subgrupos con mayor información fue haciendo un corte por debajo de 0.65, siendo menos diferentes.

El grupo A, se registró en común a *O. cinereum* y a *O. lineata* en tres de los cuatro cuadrantes que forman al grupo. Los biotopos de los cuadrantes fueron *Thalassia*, pedacería y arena, ubicados en la parte centro del arrecife en la zona de planicie, sotavento y cresta de barlovento, solo un cuadrante en el sur del arrecife se ubicó en la zona de cresta barlovento (Figura 14).

El grupo B, se registró a *L. variegatus* en todos los cuadrantes del grupo que además se encontraron en biotopos de pedacería, *Thalassia* y arena. La ubicación es similar al grupo A, menos por el cuadrante de la parte central del arrecife en la cresta de barlovento (Figura 14).

El grupo C, los cuadrantes del grupo tienen en común a *E. lucunter*. En este grupo se remarcan tres subgrupos, debido a las diferencias en las abundancias de esta especie.

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

En el subgrupo 1 se registró, además de *E. lucunter*, a *E. viridis* en pavimento coralino y los cuadrantes que lo conforman se ubican en la parte Norte del arrecife en la zona de cresta de barlovento (Figura 14).

Para el subgrupo 2 se registró *E. lucunter* con abundancias bajas y también se registró a *O. oerstedii*, estos cuadrantes se ubicaron en biotopos de *Thalassia* y pedacería, localizados en la parte central del arrecife uno en la planicie y otro en la cresta de barlovento (Figura 14).

El subgrupo 3 se registró a *E. lucunter* con altas abundancias, en biotopos de pavimento coralino, roca, pedacería (sustratos duros) y arena. Los cuadrantes se ubicaron en la parte Norte, centro y Sur del arrecife en la zona de cresta de barlovento y sólo un cuadrante de la parte central del arrecife se ubicó en la zona de sotavento (Figura 14).

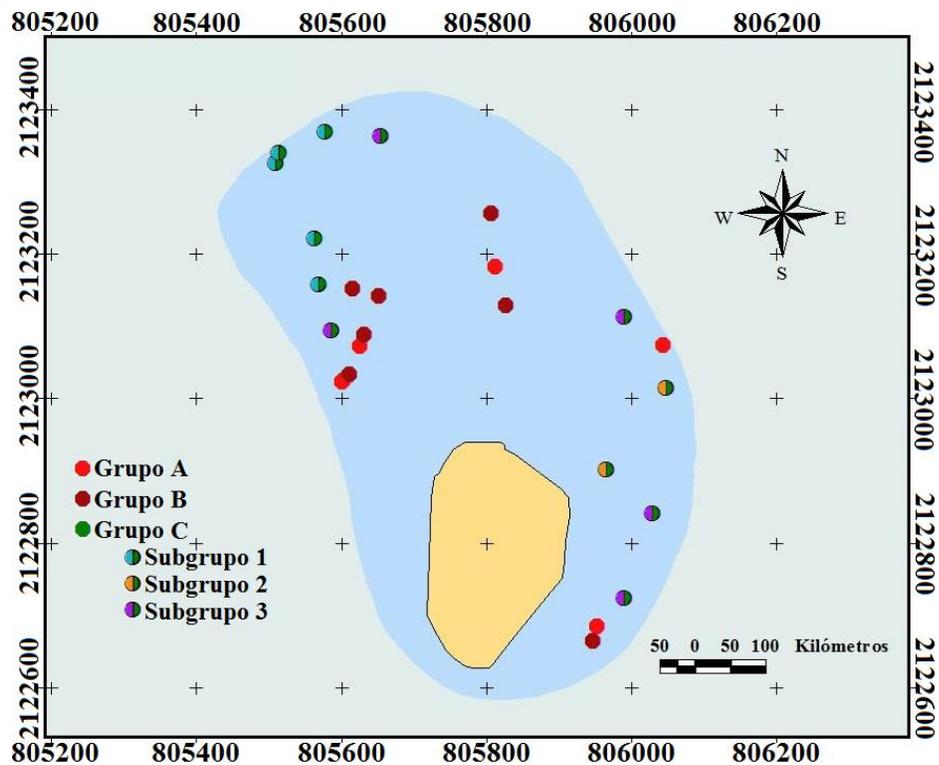


Figura 14. Mapa de distribución de los grupos obtenidos por Distancia de cuerda del arrecife Isla Sacrificios.

Arrecife Rizo.

En el caso de Rizo, el análisis de distancia de cuerda, mostró que los cuadrantes son menos disimiles que en Isla Sacrificios, ya que la mayor información de grupos se obtuvo haciendo un corte en 0.85 y para el grupo D la formación de subgrupos con mayor información fue haciendo el corte en 0.3 (Figura 15).

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

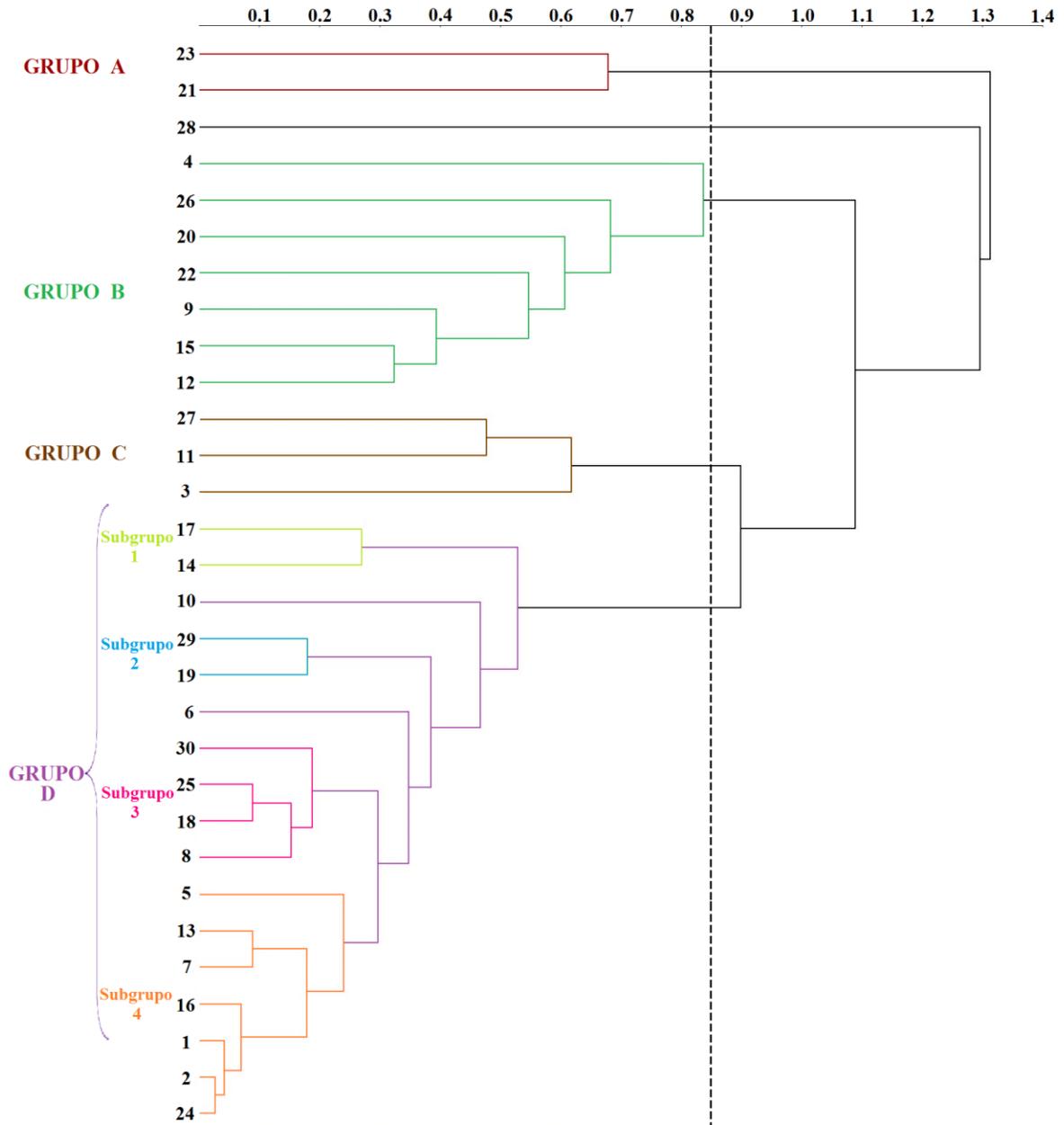


Figura 15. Dendrograma obtenido por La Distancia de cuerda para el arrecife Rizo.

Grupo A, en sus cuadrantes tiene en común a *O. cinereum* en biotopos de pedacera y arena, los cuadrantes están ubicados en parte central del arrecife en la zona de planicie y sotavento (Figura 16).

Grupo B, se registró a *O. cinereum* y *O. lineata* en biotopos de pedacera, *Thalassia* y arena. La ubicación de estos cuadrantes va de la zona de planicie hacia sotavento (Figura 16).

Grupo C, se registró en los cuadrantes a *L. variegatus* y *E. lucunter* en biotopos de arena y pedacera, localizados al Norte y Sur del arrecife en la zona de planicie y sotavento (Figura 16).

El grupo D, se dividió en cuatro subgrupos, los cuales se distribuyeron de forma irregular en el arrecife. En el Subgrupo 1 los cuadrantes presentan las especies *E. lucunter* y *E. viridis* en

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

biotopos de pedacería y localizados en la parte central del arrecife, uno en la planicie y otro en la cresta de barlovento (Figura 16).

El Subgrupo 2 cuenta con dos cuadrantes que presentan especies como *O. cinereum*, *O. angulata*, *O. lineata*, *L. variegatus* y *E. lucunter*, en pedacería, los cuadrantes se ubican uno en la parte Norte del arrecife en la zona de cresta de barlovento y otro en el centro en la zona de planicie (Figura 16).

En el caso del Subgrupo 3 en sus cuadrantes se encontró la especie *L. variegatus* en biotopos de pedacería, *Thalassia* con arena y pavimento coralino, los cuadrantes se localizaron, uno en la parte Norte del arrecife en la zona de cresta de barlovento y los demás del centro y Sur del arrecife en la zona de planicie (Figura 16).

Por último el Subgrupo 4 se registró a *E. lucunter* en todos sus cuadrantes, los cuales presentaron biotopos de arena, roca y pedacería, y se distribuyeron en la parte centro y Sur del arrecife en la zona de planicie y cresta de barlovento (Figura 16).

Esto indica que, de acuerdo a los grupos obtenidos, las especies y sus abundancias coinciden con la distribución del sustrato.

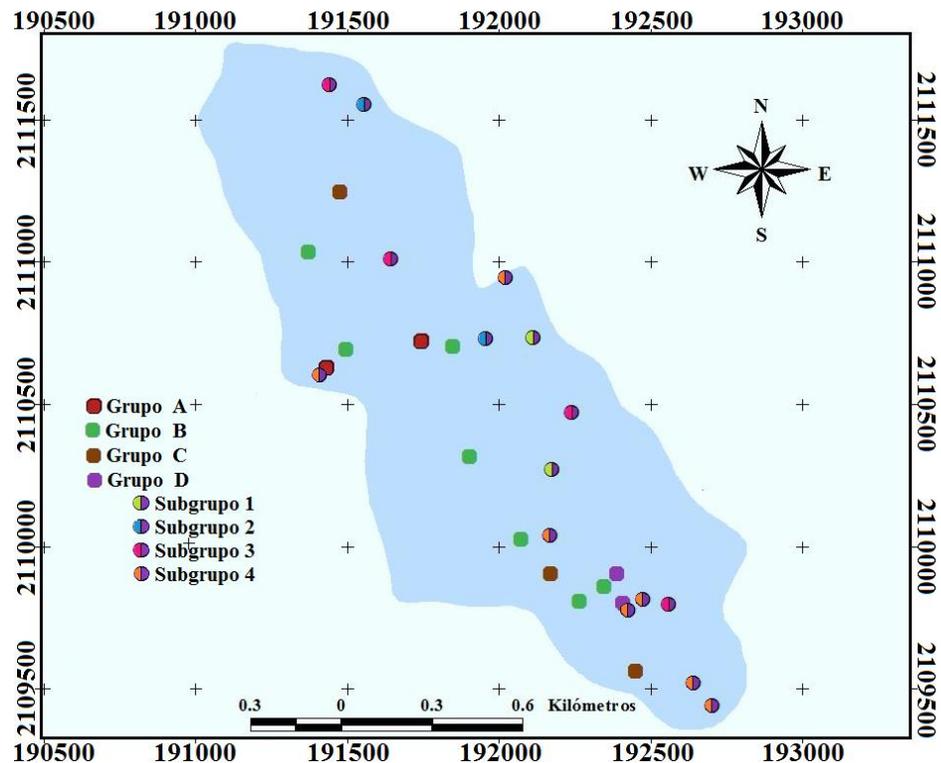


Figura 16. Mapa de distribución de los grupos obtenidos por Distancia de cuerda del arrecife Rizo.

Agrupamiento de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

Utilizando los datos de los cuadrantes de los arrecifes Isla Sacrificios (IS) y Rizo (R), se elaboró un dendrograma, acorde a la matriz de distancia de cuerda, y para obtener mayor información de los grupos se hizo un corte en 1.0, donde se puede observar la formación de cinco nuevos grupos (Figura 17). El grupo E, se dividió en subgrupos resaltando un subgrupo exclusivo para cada arrecife (Figura 17).

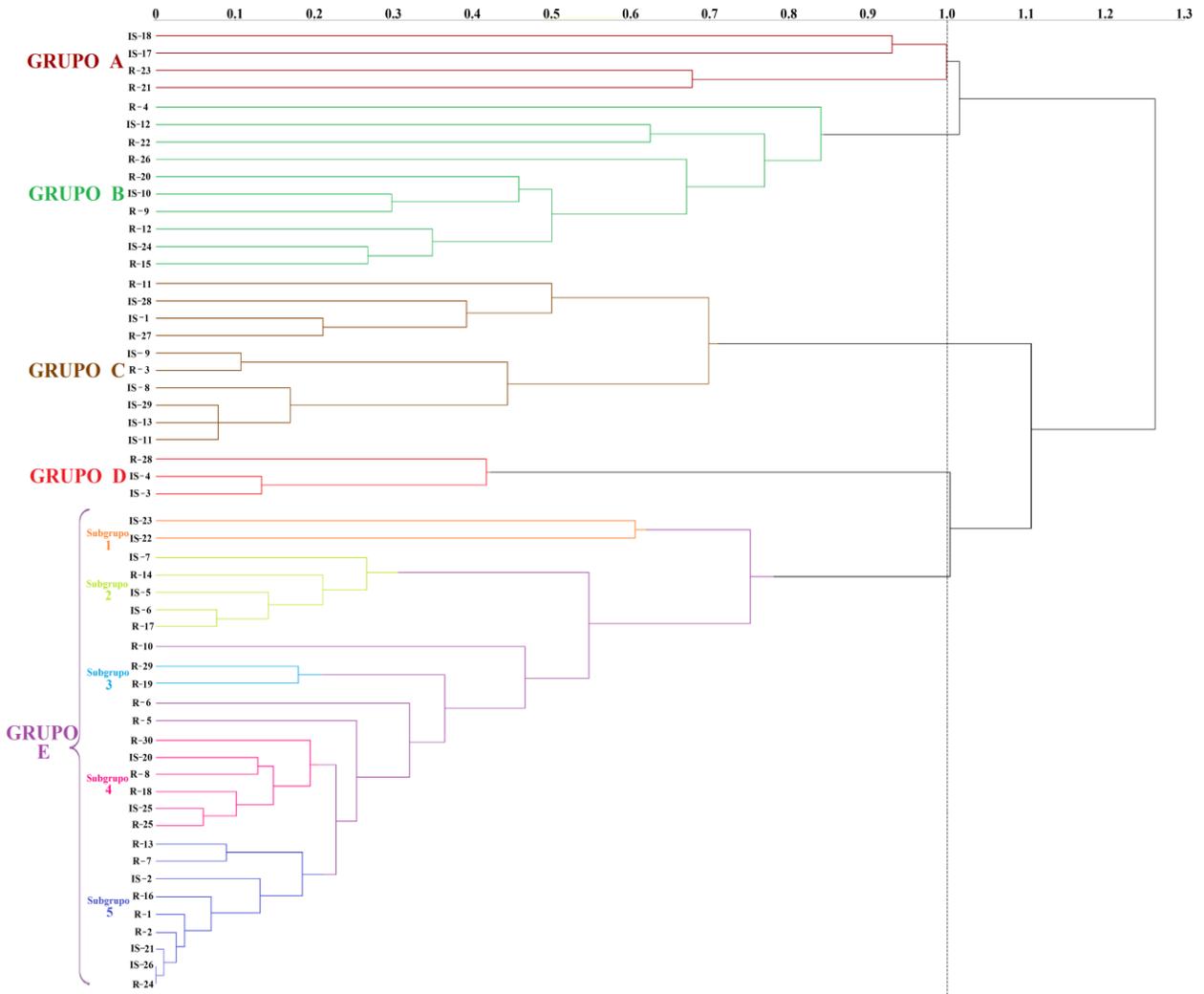


Figura 17. Dendrograma obtenido de la distancia de cuerda de los datos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

El grupo A los cuadrantes que lo integra presentan la especie *O. cinereum*, en biotopos de *Thalassia*, arena y pedacería, los cuadrantes con arena presentaron poco porcentaje de pedacería, en cuyo sustrato se encontró esta especie, localizando a los cuadrantes en la parte central de los arrecife, en la zona de sotavento y uno en planicie en el arrecife Rizo (Figura 18).

Grupo B, en los cuadrantes que lo conforman se registró a *O. cinereum* y *O. lineata*, en biotopos de *Thalassia*, arena y pedacería, ubicando a los cuadrantes en el centro y Sur de los arrecifes

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

desde la zona de las planicies de los arrecifes hacia la cresta barlovento en Isla Sacrificios y hacia sotavento en el caso de Rizo (Figura 18).

Grupo C conformado por cuadrantes donde se registró a *L. variegatus*. La abundancia de esta especie fue mayor cuando se le encontraba en pedacería, sin embargo, en *Thalassia* y arena su abundancia fue menor, en el caso de arena, esta especie se registró en zonas donde se encontró en menor proporción los sustratos de pedacería o *Thalassia*. Los cuadrantes se localizan desde las planicies hacia la zona de sotavento de los arrecifes y sólo uno en la parte Sur del arrecife Isla Sacrificios se ubica en zona de cresta de barlovento (Figura 18).

Grupo D compuesto por los cuadrantes que se registró las especies *E. lucunter* y *E. viridis*, presentes en sustrato duro, pavimento coralino en el caso de Isla Sacrificios y pedacería en Rizo. Los cuadrantes se ubicaron en la parte Norte de los arrecifes, en la zona de sotavento en Isla Sacrificios y la cresta de barlovento en Rizo (Figura 18).

El grupo E se divide en cinco subgrupos: Subgrupo 1 incluye dos cuadrantes de Isla Sacrificios que tienen en común *E. lucunter* y *O. oerstedii*, en biotopos de pedacería y *Thalassia*, en este último biotopo sólo se encontraron a las especies en partes con poco sustrato de pedacería. Los cuadrantes se ubicaron en la parte central del arrecife, uno en la planicie y el otro en la zona de cresta de barlovento (Figura 18)

En el subgrupo 2 se registró *E. lucunter* y *E. viridis*, también se encontró *E. tribuloides* en cuatro de los cinco cuadrantes; todos los cuadrantes presentaron sustratos duros. En Rizo se encontró pedacería e Isla Sacrificios pavimento coralino. Los cuadrantes se ubican en la parte Norte del arrecife Isla Sacrificios y en la parte central del arrecife Rizo en la zona de cresta de barlovento y uno en la planicie en Rizo (Figura 18).

Los siguientes tres subgrupos se unen por el cuadrante 10 de Rizo que tiene la característica de presentar las especies *O. cinereum*, *O. angulata*, *O. lineata*, *L. variegatus*, *E. lucunter* y *E. viridis* en biotopos de arena primordialmente.

En el Subgrupo 3 con dos cuadrantes del arrecife Rizo presentan a *O. cinereum*, *O. angulata*, *O. lineata*, *L. variegatus* y *E. lucunter* en pedacería. Localizando los cuadrantes del centro al Norte del arrecife, uno en la zona de cresta de barlovento y otro en la planicie (Figura 18)

Los cuadrantes 5 y 6 del arrecife Rizo unen al subgrupo 4 y 5, estos cuadrantes tienen en común a *O. cinereum*, *O. lineata*, *E. lucunter* y *E. viridis*, situadas en arena como biotopo.

Subgrupo 4, compuesto por cuadrantes donde se registró a *O. lineata*, esta especie su abundancia fue baja en biotopos de *Thalassia* y arena, pero mientras mayor fuera el sustrato duro mayor era

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

su abundancia, como en los cuadrantes con biotopo de pavimento coralino, el cual les sirve para ocultarse de sus depredadores. A excepción del último cuadrante, en el cual no se encontró esta especie, pero se unió al subgrupo por *L. variegatus* y *E. lucunter*, especies que comparte con los demás cuadrantes, ubicados en la parte central del arrecife Isla Sacrificios en la zona de cresta de barlovento y de Norte a Sur en el arrecife Rizo en la zona de planicie y cresta de barlovento (Figura 18).

El subgrupo 5 incluye los cuadrantes donde se encontró en común a *E. lucunter*, que dependiendo al sustrato duro que se encontró en cada cuadrante, la especie varía en cuanto a su abundancia, pues donde los cuadrantes estaban dominados por biotopos de roca, pavimento coralino, y pedacaría las abundancias fueron altas en comparación con los cuadrantes donde domino arena. Los cuadrantes se ubicaron en uno en Isla Sacrificios en la parte Norte en la zona cresta de barlovento; en la parte central de los dos arrecifes tanto en sotavento como en la cresta de barlovento, y al Sur de los arrecifes en la zona de cresta de barlovento y en Rizo en planicie.

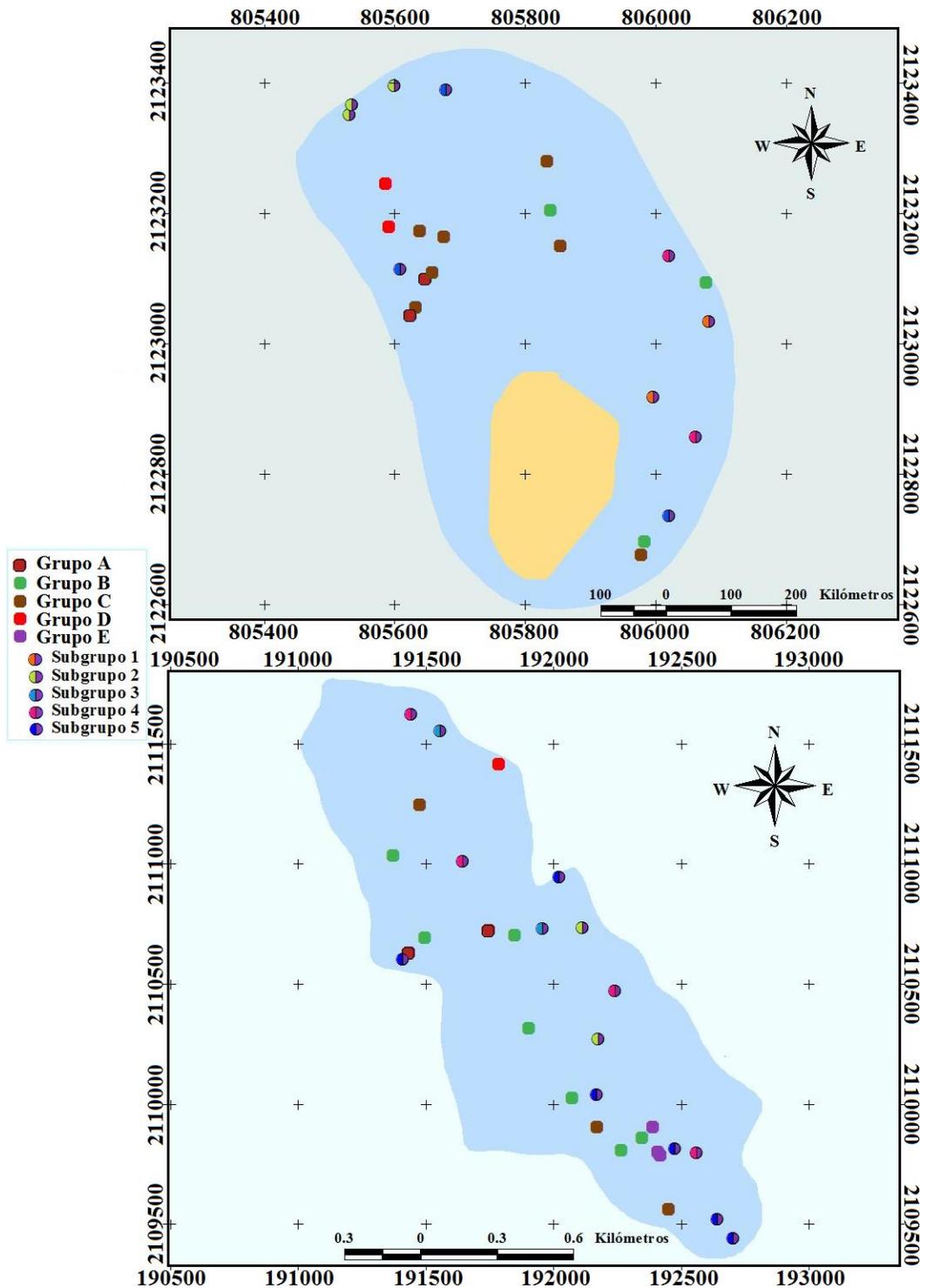


Figura 18. Mapa de distribución de los grupos obtenidos por distancia de cuerda de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

El índice de agrupamiento, indica que los grupos más disímiles con valores mayores a 0.6 fueron A, B y C, los cuadrantes de cada uno de estos grupos se unen por una y/o dos especies y en bajas abundancia, pues están principalmente en sustrato blando (*Thalassia* y arena) y bajo porcentaje de pedacería coralina; El grupo D es el menos disímil, con un valor menor a 0.5, los cuadrantes

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

que lo conforman presentaron a las especies del género *Echinometra*, en altas abundancias y sobre sustratos duros (al norte de los arrecifes); y el grupo E fue disimilar con un valor de 0.75, en la mayoría de los cuadrantes se presentaron las especies consideradas dominantes y los cuadrantes del grupo están distribuidos de forma irregular en los arrecifes. Los subgrupos son los menos diferentes, entre estos el subgrupo 1 fue el más diferente (exclusivo de Isla sacrificios) con valor de más de 0.6 presentando *Thalassia* y pedacería. Los subgrupos 3 (exclusivo de Rizo), 4 y 5, son los grupos menos diferentes con valores entre 0.18 y 0.19, presentando especies con abundancia alta en sustrato duro y donde el sustrato fue blando las abundancias fueron bajas. Por lo que los grupos nos indican que las especies en ambos arrecifes siguen un patrón de distribución relacionado a la distribución de los biotopos, aunque los porcentajes de estos se encontraran diferente, pues solamente afecta en la abundancia de las especies, debido a que estas especies exhiben un intervalo de tolerancia relativamente estrecho a las condiciones de su hábitat (Kleypas *et al.*, 1999), por lo que a continuación se mencionan algunas características de cada especie.

ASOCIACIÓN A SUSTRATO POR ESPECIE

Clase Asteroidea

La estrella de mar, *O. reticulatus* es una especie que por su gran tamaño, desplazamiento lento y coloración la hacen muy visible para la extracción de estos organismos, por lo que se le ha considerado poco frecuente en algunas zonas donde era común, además son organismos que se entierran (Hendler *et al.*, 1995) o migra en busca de alimento (Scheibling, 1980), por lo que se deba el registro de un individuo en sustrato de *Thalassia* con arena, similar a lo reportado por Ugalde-García (2010), Hendler *et al.* (1995). En este sustrato se le dificulta la movilidad evitando el establecimiento de una población numerosa y, por ende, estos lugares son los que presentan las menores densidades, sin embargo, se le relaciona con su alimentación en estadio juvenil, reconocido por el color parduzco, ya que como adultos con coloraciones más rojizas se encuentran en zonas arenosas como indica Martín *et al.* (2001), y también coincide con que Solís-Marín *et al.* (2007), la reporten en un área de arena sin vegetación. La especie *L. guildingii* suele ser críptica, que viven por debajo de los corales y fragmentos de coral, pero algunos individuos se reproducen en zonas arenosas (Hendler *et al.*, 1995), condiciones que cumplen ambos arrecifes para el establecimiento de ésta especie en sustratos de pedacería de coral, pavimento coralino,

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

arena y *Thalassia*, siendo considerada como especie dominante (Figura 19), concordando con Solís-Marín *et al.* (2007).

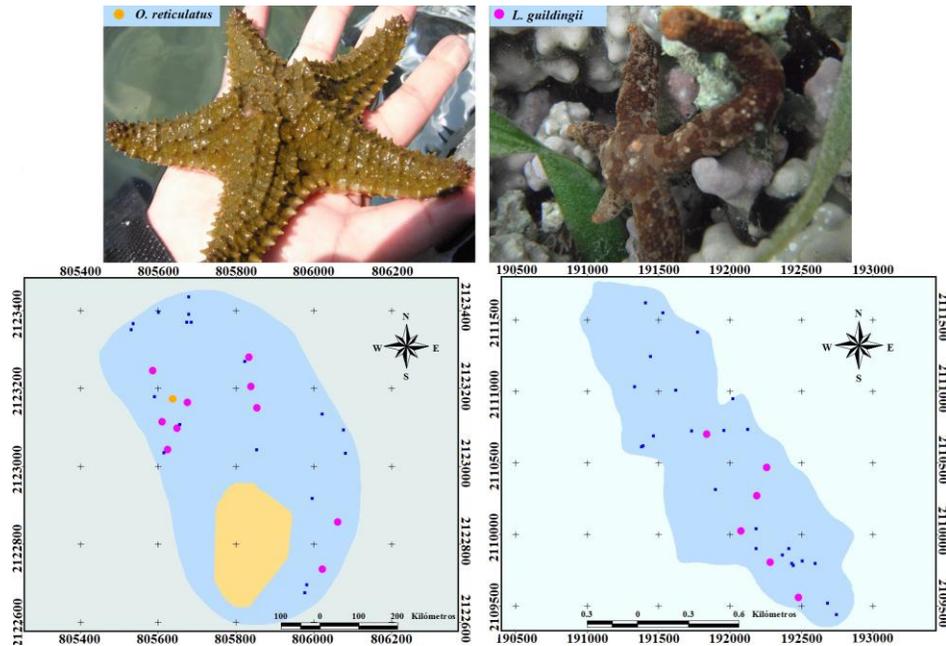


Figura 19. Distribución de *O. reticulatus* y *L. guildingii* en los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo. Los cuadros en azul simbolizan los cuadrantes sin registro de las especies.

Clase Ophiuroidea

Las especies del Género *Ophiocoma* se encontraron en sustrato de pedacería, pavimento coralino, coral vivo y *Thalassia*, ya que estas especies son crípticas y viven en grietas, en o debajo de rocas y cabezas de coral y en las bases de los pastos marinos, macro algas; y son micrófagas (Calva, 2002). En el arrecife Isla Sacrificios se consideraron como especies raras a *O. echinata* y *O. wendtii*, mientras que en el arrecife Rizo se encontraron con frecuencia indefinida junto con *O. pumila*; y *O. ophiactoides* fue abundante pero poco frecuente, la situación de estas especies ha sido reportada para otros arrecifes (Villanueva-Sousa, 2008; Ugalde-García, 2010; Mohedano-Maldonado, 2010). Solís-Marín *et al.* (2007), señalan que estas especies se encuentran en todas las zonas del arrecife, pero es más común hacia las partes bajas de éste, ya que en zonas intermareales poco profundas se pueden morir por temperaturas elevadas durante el mediodía y con mareas bajas, aunado a que algunas especies compiten por la madriguera como *O. echinata* y *O. wendtii* (Hendler *et al.*, 1995), por lo que se les considero como especies raras (Figura 20).

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

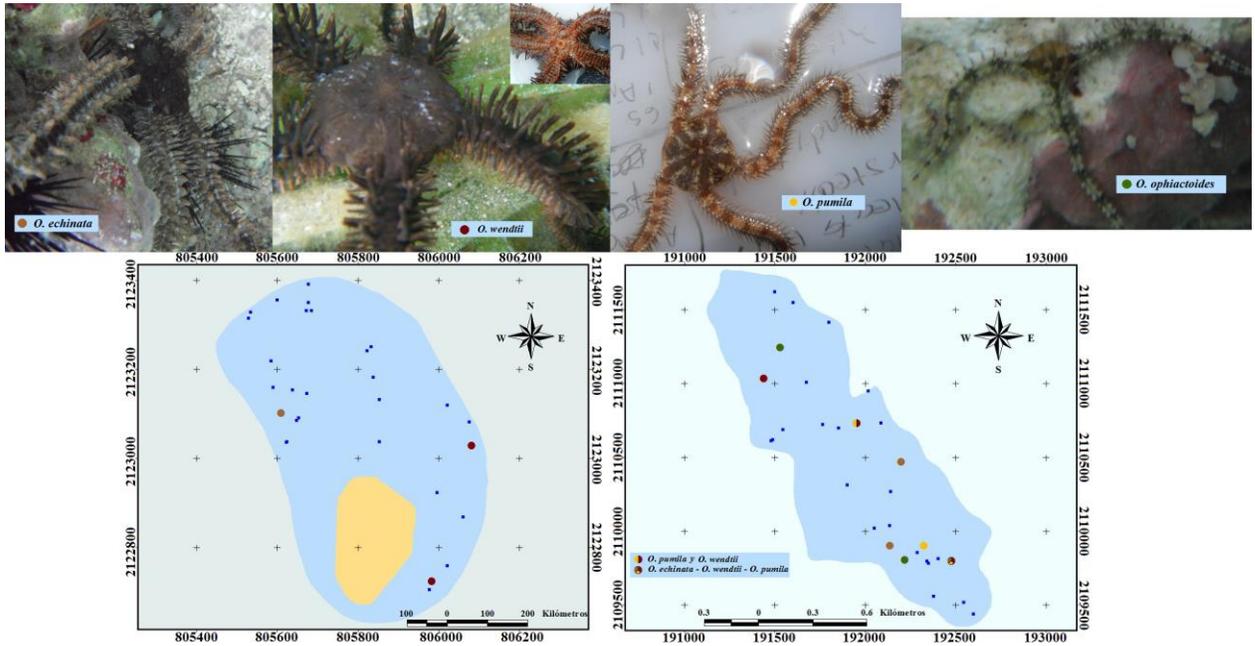


Figura 20. Distribución de *O. echinata*, *O. pumila*, *O. wendtii* y *O. ophiactoides* en los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo. Los cuadros en azul simbolizan los cuadrantes sin registro de las especies.

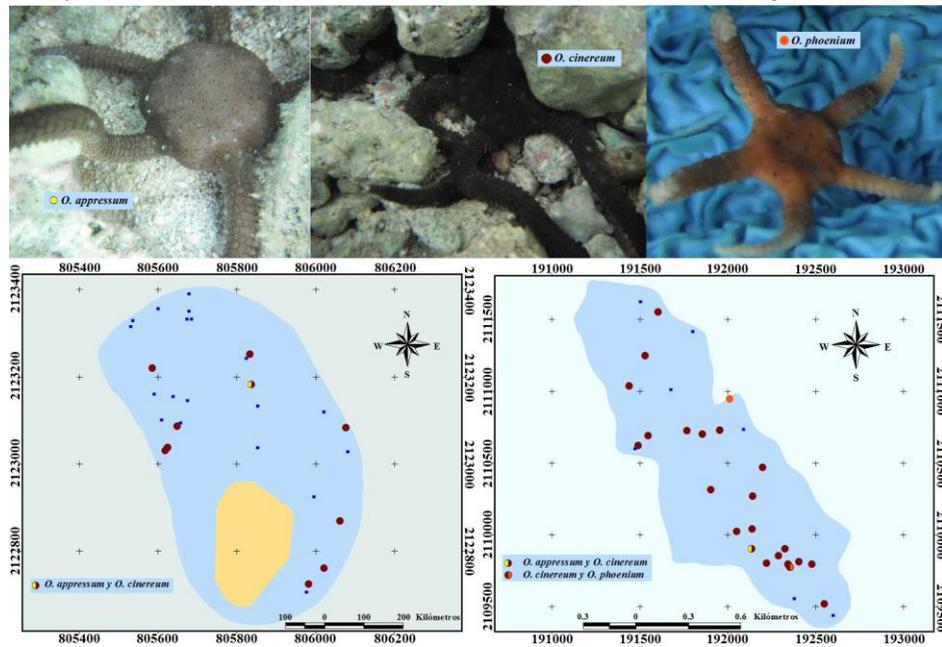


Figura 21. Distribución de *O. appressum*, *O. cinereum* y *O. phoenium* en los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo. Los cuadros en azul simbolizan los cuadrantes sin registro de las especies. Las especies del Género *Ophioderma* se registraron en sustrato de pedacería y pavimento de coral. Dentro de este género una especie resulto dominante en los arrecifes (Figura 21), *O. cinereum*, esta especie se encuentra bajo fragmentos de coral vivo o muerto para protegerse de sus depredadores y la radiación solar, sin entrar en grietas (Hendler *et al.*, 1995; Villanueva-Sousa, 2008; Mohedano-Maldonado, 2010), por lo que se encontraron fácilmente. Mientras que *O. appressum* fue rara en los arrecifes, al igual que *O. phoenium* para el caso de Rizo. La

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

situación de la primera especie puede deberse a que es un carroñero nocturno que se alimenta del material recogido dentro de su hendidura y la segunda porque se le ha encontrado en zonas turbulentas, hacia la cresta del arrecife, y rara vez se encuentran individuos juntos (Hendler *et al.*, 1995).

En cuanto al Género *Ophiothrix*, únicamente tres de las cuatro especies encontradas son consideradas dominante de acuerdo a la prueba de asociación, *O. angulata*, *O. lineata* y *O. oerstedii* debido probablemente a que se encuentran relacionadas a pedacería, las algas y como se ha reportado a su asociación comensal con esponjas, las cuales les ayuda a las especies a protegerse de los peces depredadores (Hendler *et al.*, 1995; Solís-Marín *et al.*, 2007). Estas especies, cuando se encuentran en esponjas, pueden sobrevivir con otras especies de *Ophiothrix* (Hendler *et al.*, 1995), razón por la cual en algunos cuadrantes se encontraron juntas. A diferencia, *O. suensonii* se muestra como especie rara, lo que podría deberse a que puede adoptar una postura de alimentación más elevada en la noche (Figura 22).

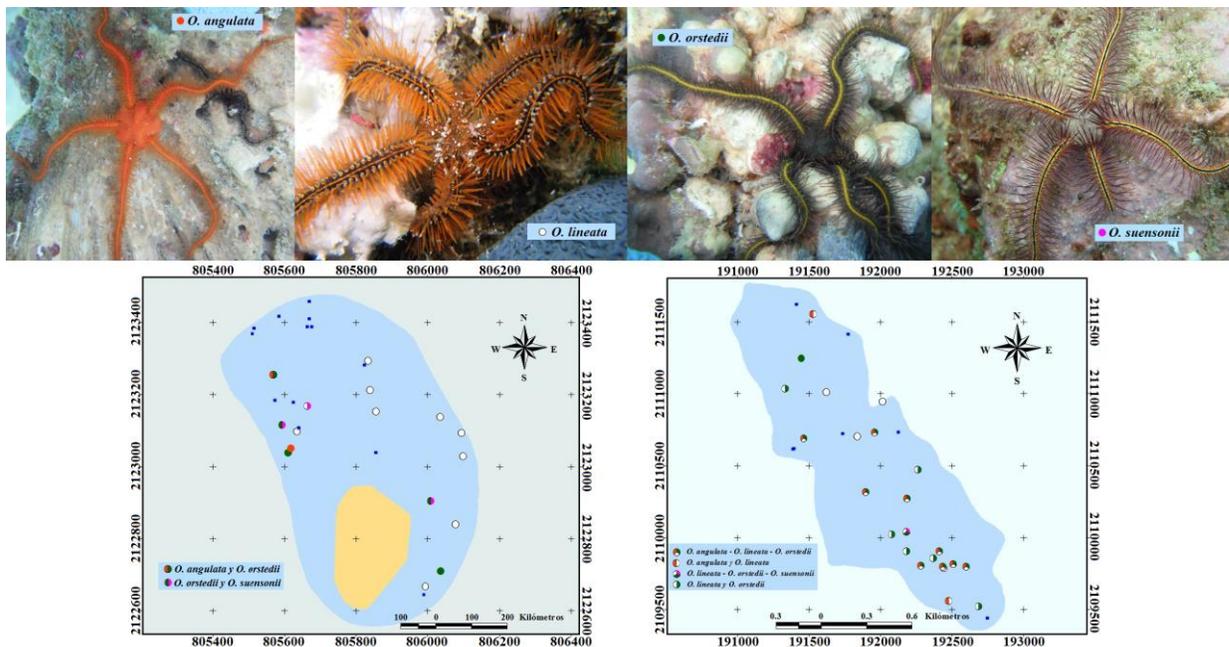


Figura 22. Distribución de *O. angulata*, *O. lineata*, *O. oerstedii* y *O. suensonii* en los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo. Los cuadros en azul simbolizan los cuadrantes sin registro de las especies. Otras tres especies que además resultaron raras fueron: *O. paucispina*, *O. reticulata*, *O. savignyi* (Figura 23). La primera especie fue registrada en pedacería y coincidiendo con Hendler *et al.* (1995), quienes la describen como extremadamente reservadas, aunque difiere con Ugalde-García (2010), que la reporta como dominante para Isla Sacrificios; La segunda especie se encontró en sustrato de pedacería y como todos los ofiuroideos que son negativamente fototáctica, prefiere así las superficies oscuras y haciéndola más activa durante la noche; La última especie se ubicó en

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

pedacería y algas, es común observarla sobre esponjas porque aprovechan las corrientes de agua que producen cuando salen por el ósculo (Ruppert y Barnes, 1996) y quizás por esta asociación sean poco observadas.

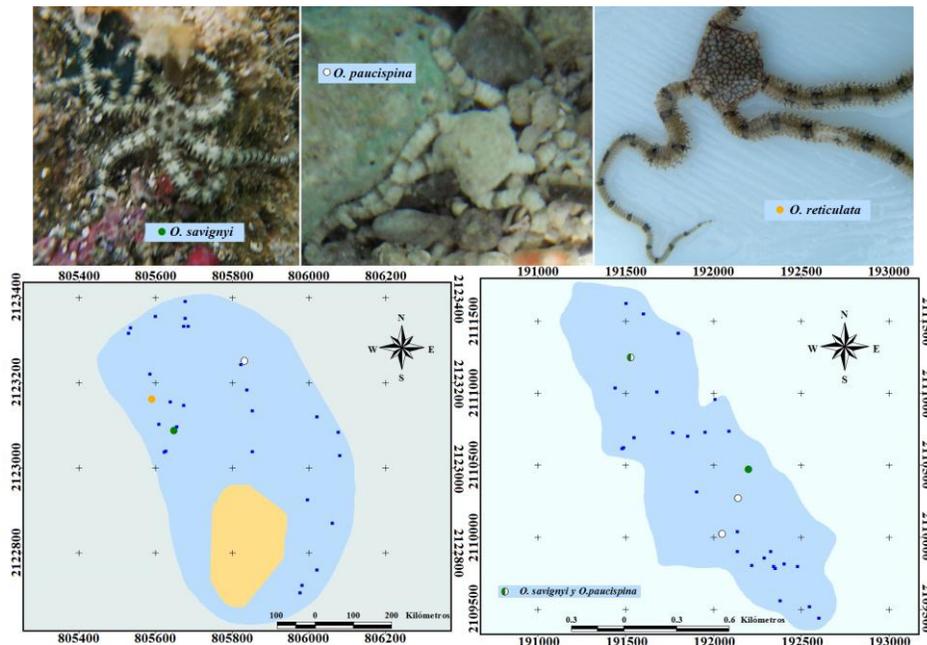


Figura 23. Distribución de *O. savignyi*, *O. reticulata* y *O. paucispina* en los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo. Los cuadros en azul simbolizan los cuadrantes sin registro de las especies.

Clase Echinoidea

Las especies *E. tribuloides* y *D. antillarum* (Figura 24), se consideran también dominantes por la prueba de asociación, la primera especie se halló siempre en oquedades, aparte de que los sustratos en los que se encontró fueron los de mayor proporción en el arrecife y se asocian a estos sustratos por sus hábitos alimenticios, ya que su dieta incluye algas y otros organismos (Hendler *et al.*, 1995), concerniendo con lo reportado por Celaya-Hernández *et al.* (2008), Villanueva-Sousa (2008) y Ugalde-García (2010). En el caso de *D. antillarum*, se presenta como dominante ya que tiene la capacidad para habitar diferentes sustratos coincidiendo con los resultados de Hendler *et al.* (1995) y por Celaya-Hernández *et al.* (2008), que asumen que este erizo se encuentra en diferentes sustratos dependiendo de la hora del día, lo que podría indicar que migra en busca de alimento. *T. ventricosus*, trascendió por su presencia tan solo en el arrecife Rizo (Figura 24), esta especie fue frecuente y con baja abundancia debido probablemente a que es también una de las especies que es extraída por los comerciantes (Nishimura, 2005) y aunque tolera condiciones turbias, sucumbe rápidamente cuando se somete a tensión física extrema causada por la exposición de la planicie arrecifal (Hendler *et al.*, 1995). Esta especie muestra una

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

preferencia por los pastos de *Thalassia* por su alimentación, coincidiendo con Celaya-Hernández *et al.* (2008), Ugalde-García (2010) y Mohedano-Maldonado (2010). Sin embargo, en este estudio se halló también en pedacería concordando con lo reportado por Solís-Marín *et al.* (2007). Esta especie puede cubrir parte de su testa superior con fragmentos de pastos marinos, piedras, restos de conchas y escombros para cubrirse de la intensidad luminosa, pero la tendencia es menos desarrollada que *L. variegatus* (Hendler *et al.*, 1995).

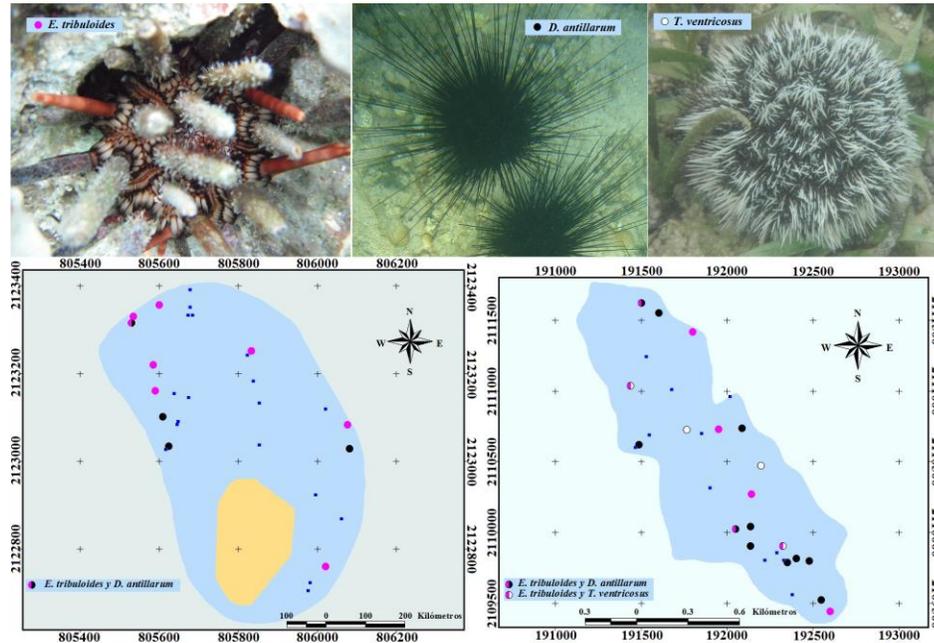


Figura 24. Distribución de *E. tribuloides*, *D. antillarum* y *T. ventricosus* en los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo. Los cuadros en azul simbolizan los cuadrantes sin registro de las especies. El erizo *L. variegatus* resultó dominante porque son comunes en aguas tranquilas (Figura 25), ya que su testa frágil los limita a las zonas de baja energía con un impacto mínimo de oleaje (Hendler *et al.*, 1995) y también por los sustratos a los que se asoció que fueron pedacería, *Thalassia* y arena, mismos que coinciden con el estudio de Celaya-Hernández *et al.* (2008), no obstante no reportan pavimento coralino, pero explican la posible relación en el sustrato arena por un traslado de un manchón de pasto marino a otro y probablemente suceda lo mismo con pavimento coralino. Lo mismo podría pasar en el sustrato de pedacería, sin embargo, este sustrato sí coincide con Hendler *et al.* (1995), Solís-Marín *et al.* (2007) y Mohedano-Maldonado (2010), ya que esta especie se cubre u oculta bajo pedacería, restos de conchas, pastos marinos o piedritas que Hendler *et al.* (1995), dedujeron esta conducta como posibilidad para protegerse de la intensidad luminosa. Del mismo Género se encontró a *L. williamsi*, únicamente para el arrecife Rizo con un organismo registrado en un cuadrante con baja cobertura de coral ya que se cree que estos organismos se alimentan de los pólipos de coral, además fue rara probablemente a que se

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

distribuye a profundidades de 5-92 m (Hendler *et al.*, 1995), y las profundidades de los muestreos no eran mayores a 5 m (Figura 25).

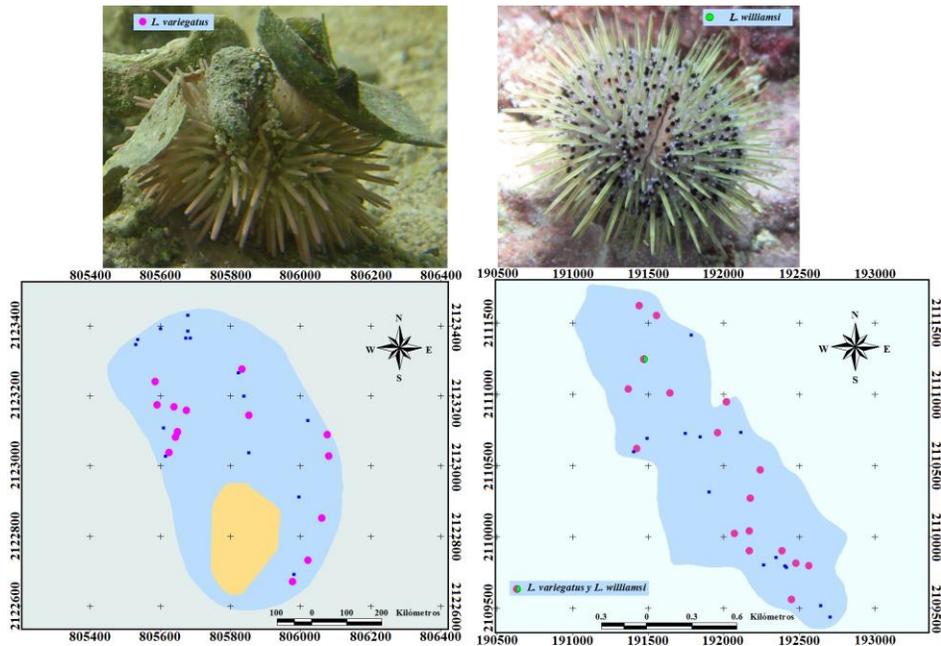


Figura 25. Distribución de *L. variegatus* y *L. williamsi* en los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo. Los cuadros en azul simbolizan los cuadrantes sin registro de las especies.

La especie *E. lucunter* fue dominante ya que se encontró en casi todos los cuadrantes (Figura 26) coincidiendo con otros autores que reportan que esta especie se adapta a las zonas someras, generalmente prefiere puntos expuestos a la rompiente de ola, las cuales tienen mayor incidencia de luz y por ende mayor crecimiento de algas y reside la mayor oferta de plancton, debido al recambio y movimiento continuo del agua, aumentando la disponibilidad de alimento (Monroy y Solano, 2005; Mohedano-Maldonado, 2010). Esta especie se encontró en todos sustratos, lo que coincide con lo reportado por Celaya-Hernández *et al.* (2008), Hendler *et al.* (1995), y Solís-Marín *et al.* (2007), porque aunque se ha reportado como herbívora, según De Ridder y Lawrence (1982) también es generalista y oportunista. En relación a *E. viridis* (Figura 26) su dominancia se debe a que se encontró en pavimento coralino y pedacería, este último sustrato dominó en el arrecife, coincidiendo esta asociación a estos sustratos con el estudio de Celaya- Hernández *et al.* (2008), esencialmente se encuentran entre oquedades para la protección de turbulencias y depredadores, haciéndolos menos visibles (Hendler *et al.*, 1995) a diferencia de *E. lucunter*.

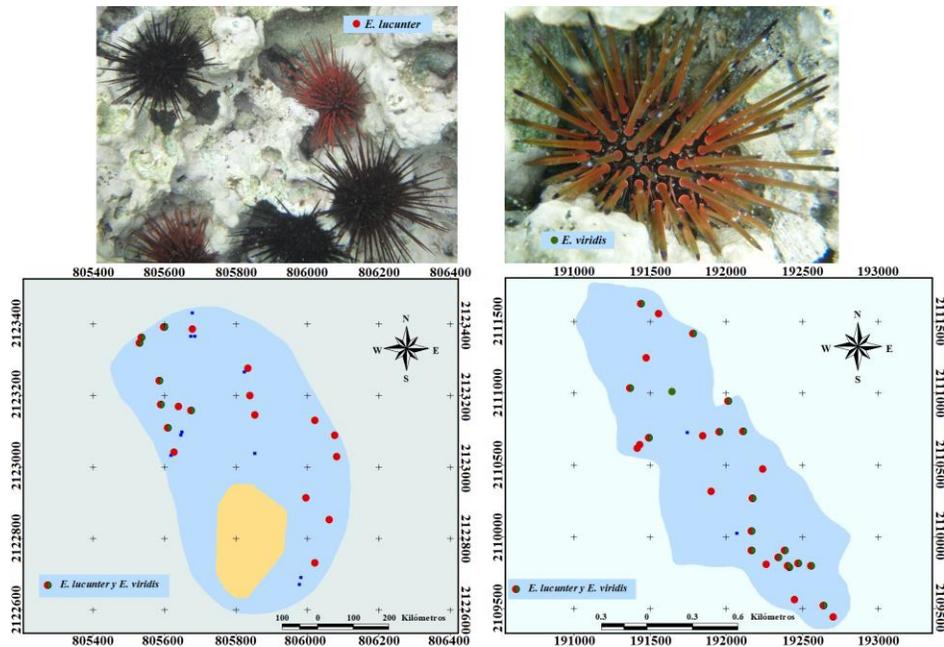


Figura 26. Distribución de *E. lucunter* y *E. viridis* en los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo. Los cuadros en azul simbolizan los cuadrantes sin registro de las especies.

Clase Holothuroidea

Todas las especies de esta clase se consideraron como especies raras (Figura 27), esto puede deberse a que hay muchos factores que influyen en su distribución, entre los que están la asociación de sustratos, como la especie del Holothurido que no se logró identificar, se registró en el arrecife Rizo y se encontró sujeto a sustrato duro (pedacería); *N. parvum* se asocia con los rizomas de las hierbas marina coincidiendo con Hendler *et al.*, (1995); Las especie del Género *Holothuria*, se encontraron en sustrato duro, pedacería y pavimento coralino, en cuanto al ritmo alimenticio, se deduce que la luz es un factor que controla la alimentación y debido a la considerada cantidad de podios en el trívium (parte ventral) se desplaza a inmensas distancias a diferencia de otras especies (Calva, 2003); *I. cf. badionotus* registrado en sustrato de pedacería, requiere de zonas claras y coral vivo, se ubica en oquedades por lo que esta especie se restringe a sotavento (Villanueva-Sousa, 2008) concordando con lo reportado por Ugalde-García (2010).

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

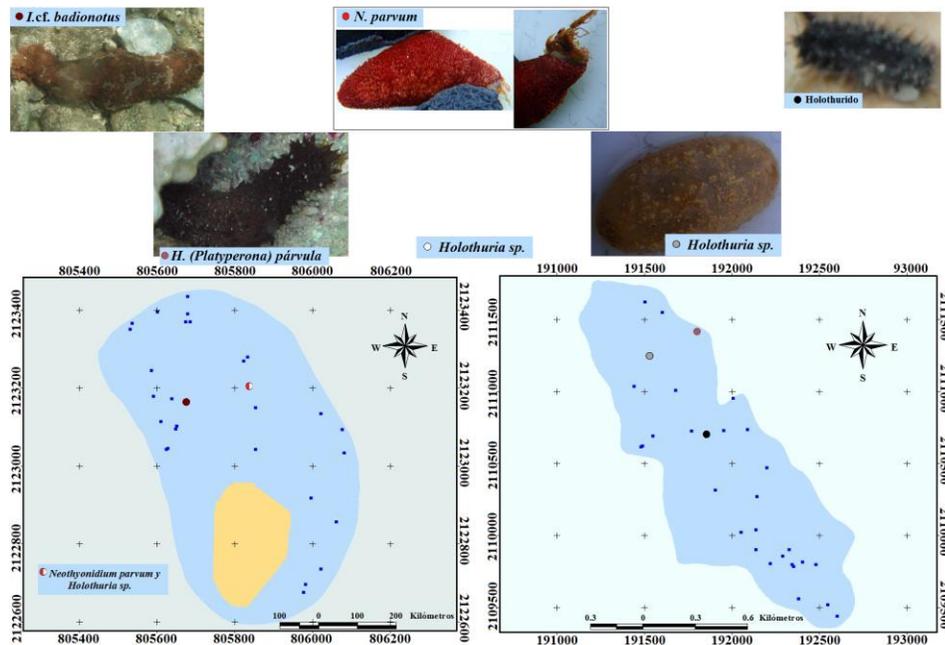


Figura 27. Distribución de Holothuridos en los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo: Holothurido, *N. parvum*, las dos especies del género *Holothuria* y *I. cf. badionotus*. Los cuadros en azul simbolizan los cuadrantes sin registro de las especies.

COMPARACIÓN DEL ARRECIFE ISLA SACRIFICIOS Y RIZO

El análisis de los ensamblajes de Equinodermos de ambos arrecifes resultó similar con relación en las clases con mayor riqueza y abundancia, así como las especies abundantes y especies dominantes. No obstante, difieren en la diversidad, donde Rizo obtuvo un valor más alto en comparación de Isla Sacrificios. Esto puede ser atribuido a la proporción de los biotopos que varía en cada arrecife, pues la pedacería resultó con mayor cobertura en el arrecife Rizo y es uno de los sustratos que favorece el establecimiento de diversas especies en un solo cuadrante. Este resultado también ha sido reportado para otros arrecifes en los que el sustrato duro presenta mayor densidad y riqueza de especies de equinodermos que donde hay arena y pasto (Vázquez-Domínguez, 2003; Bolaños *et al.*, 2005).

En Isla Sacrificios se presentó una alta cobertura de *Thalassia*, lo que pudo limitar el área de ocupación de las especies. Además de este biotopo, algunos cuadrantes en este arrecife se encontraron dominados por roca en donde no se registraron especies, debido a la fecha en que fue realizado el muestreo a finales de nortes, esto pudo afectar a las especies en estos cuadrantes que se ubican en la parte norte del arrecife en la zona de la cresta de barlovento, debido a que es una zona donde colisiona la energía hidrofísica de muy altas magnitudes (Lara *et al.*, 1992) que forman este tipo de biotopo y pueden provocar un estrés en los individuos limitando o impidiendo completamente su desarrollo, ya que los individuos tendrían que invertir más energía en

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

reconstruir las partes de su cuerpo dañadas por el movimiento de las rocas que destruyen a los organismos o dañan partes de ellos (Lewis *et al.*, 1990; Ebert, 1996; Nodarse-Konnorov, 2001). En ese caso, solo los individuos mejor adaptados para resistir el cambio del medio ambiente pudieran colonizar tales regiones (Ebert, 1996), como es el caso de *E. lucunter* que fue la única especie registrada en un cuadrante con biotopo roca en este arrecife.

Cabe destacar que en el arrecife Isla Sacrificios se encontró especies como *O. reticulatus*, *O. appressum* y *N. parvum*, la primera especie es común la extracción de organismos con fines de ornato, la segunda especie es nuevo registro para este arrecife, mientras que la tercera es nuevo registro para México. Lo cual resalta que aún existen vacíos de información importantes sobre la biota que lo habita, especialmente, las comunidades bentónicas de fondos blandos tal como lo señala Domínguez-Castanedo *et al.* (2007).

Finalmente, en ambos arrecifes se encontraron los mismos biotopos, pero no en las mismas proporciones. Por lo cual, el mapa elaborado con los resultados del análisis de distancia de cuerda, muestra que los grupos presentan una distribución que sigue el mismo patrón para ambos arrecifes. Esto significa que la posición relativamente de las especies asociadas a estos biotopos es semejante entre los arrecifes por las características propias de cada especie, ya que en los arrecifes de coral las variables ambientales (temperatura, luz, salinidad, nutrientes) que se relacionan, influyen en el crecimiento y la sobrevivencia de los organismos como lo indican Richmond (1993) y Kleypas *et al.* (1999).

CONCLUSIONES

- ☼ Se registró un total de 29 especies de equinodermos, en el arrecife Isla Sacrificios se reportaron 21 especies y 24 especies en el Arrecife Rizo.
- ☼ Se determinaron dos nuevo registro para el arrecife Isla Sacrificios: *O. appressum* y *N. parvum*, esta última es nuevo registro tanto para el PNSAV como para México; y siendo para el arrecife Rizo el primer registro.
- ☼ El Arrecife Isla Sacrificios mostró mayor proporción de *Thalassia*, pedacería y roca; mientras que para Rizo fueron pedacería y arena.
- ☼ Las Clases Ophiuroidea y Echinoidea presentaron mayor riqueza en ambos arrecifes.
- ☼ En los dos arrecifes la clase más abundante fue Echinoidea, debido a que *E. lucunter*, *E. viridis* y *L. variegatus* fueron las especies más abundantes.

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

- ☼ El valor de diversidad obtenido en el Arrecife Isla sacrificios fue menor en comparación al de Rizo.
- ☼ Las especies de mayor importancia en Isla Sacrificios fueron: *E. lucunter*, *E. viridis*, *L. variegatus* y *O. lineata*, mientras que para Rizo las especies antes mencionadas, además de *O. cinereum*, *O. angulata* y *O. ortedii*.
- ☼ Las especies dominantes en los dos arrecifes fueron: *E. lucunter*, *L. variegatus*, *E. viridis*, *O. lineata*, *O. cinereum*, *O. oerstedii*, *L. guildingii*, *E. tribuloides*, *D. antillarum* y *O. angulata*.
- ☼ En el caso del arrecife Rizo, la diferencia en las abundancias de las especies dominantes no fue tan marcada como en el arrecife Isla Sacrificios.
- ☼ Los grupos, obtenidos por el análisis de agrupamiento de los arrecifes, están unidos por las especies consideradas como dominantes por la prueba de Olmsted y Tukey.
- ☼ En ambos arrecifes, la distribución de las especies se ve directamente relacionada a la asociación de sustratos, siendo mayor esta asociación en biotopo de pedacería, y los biotopos dependen de los factores hidrofísicos del arrecife.

RECOMENDACIONES

Los arrecifes de coral han sido objeto de factores naturales esporádicos y de actividades humanas que ponen en manifiesto los efectos del deterioro de los arrecifes del Golfo de México (Chávez e Hidalgo, 1987) y por ende a los organismos que los habitan. En este estudio se encontró que la distribución de los organismos es afectada por factores naturales que ocurren dentro del arrecife y los cuales no fueron evaluados pero son importantes para la regulación de la diversidad. Estos patrones que afectan la distribución y colonización pueden ser la actividad de herbívoros y depredadores, la circulación de la zona promovida por los patrones de las ondas, mareas y vientos, así como fenómenos meteorológicos como los huracanes, las tormentas tropicales, "nortes" y las brisas marinas que podría alterar en escalas de tiempo de horas o días, y por lo tanto su intrusión a los arrecifes como lo señalan Wood (2001) y Salas-Pérez y Granados-Barba (2008).

Es por esto que se recomienda seguir realizando estudios a largo plazo de la diversidad para poder determinar cómo estos factores naturales afectan no solo a los equinodermos, sino a otras especies que habitan en estos arrecifes de coral y en general a los que corresponden al PNSAV, ya que según Nyström y Folke (2001), estos factores determinan la capacidad de recuperación

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

del territorio por el transporte de nutrientes, plancton, larvas y juveniles, además de que dispersan las perturbaciones de las descargas de los ríos como sedimentos, contaminantes y aguas residuales, con la consecuente baja en salinidad y aumento de turbiedad.

Algo que no fue evaluado durante el estudio pero es importante fue el efecto que tienen las actividades humanas, debido a que los arrecifes estudiados están situados cerca de la costa, se exponen directamente a la influencia humana afectando aún más la estabilidad ambiental, indispensable para el óptimo desarrollo de estos ecosistemas como lo indican Carricart-Ganivet y Horta-Puga (1993) y Vargas-Hernández *et al.*, (1993).

La pesca destaca como una de las actividades económicas más relevante, por lo que se han llevado a cabo medidas precautorias como el cierre al público del arrecife Isla Sacrificios desde 1982 y poniéndose en resguardo por la Secretaría de Marina Armada de México (SEMAR) (CONANP (a), 2011). Por lo que se recomienda evaluar el impacto que tiene la pesca sobre todo en los arrecifes del PNSAV considerando los estudios de Jiménez-Badillo y Castro-Gaspar (2007), que indican que esta actividad se centra en el poblado de Antón Lizardo del municipio de Alvarado, donde se extrae el 86% de las capturas a diferencia del municipio de Veracruz donde se extrae el 13% y en Boca del Río su actividad dentro del área del PNSAV es mínima. Muchos arrecifes pueden ser objeto de sobrepesca, incluso antes de las investigaciones científicas, por lo que es importante llevar a cabo estudios específicos acerca de la sistemática, ya que la sobrepesca puede afectar directamente a los equinodermos pues son extraídos para ser vendidos, como por ejemplo *O. reticulatus* que en México, se calcula que el comercio de estrellas de mar incluye unos 40,000 ejemplares al año, con una media de 200 ejemplares por punto de venta, siendo *Oreaster* uno de los principales componentes de estas estadísticas como lo señala Lunn *et al.* (2008).

Los organismos son recolectados de alguno de estos arrecifes, siendo evidente que aunque se encuentren dentro de una zona protegida no se tiene ningún control de veda sobre estos organismos, ni se apoya las actividades de preservación como lo menciona Nishimura (2005). Sin embargo, los continuos estudios acerca de la sistemática y biología de las especies darán la base para definir el estado de conservación de los mismos. Al generar información sobre algunas especies que son difíciles de identificar sin la extracción del organismo se obtendrá una precisa evaluación pues actualmente no se cuenta con mucha información e incluso ni a nivel de género.

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

Por último, este estudio se demostró que aún queda trabajo que realizar acerca de las especies que habitan en sustratos blandos ya que los nuevos registros fueron encontrados en estos tipos de biotopos.

LITERATURA CITADA

- Begon, M., J. L. Harper y C. R. Townsend. 2006. Ecología: individuos, poblaciones y comunidades. 3^{ra} ed. Omega, S.A. Barcelona. 725-740 p.
- Birkeland, C. 1989. The influence of echinoderms on coral reef communities. *In* Echinoderm Studies, M. Jangoux y J. M. Lawrence (eds.). Balkema, Rotterdam. 1-79 p.
- Bolaños, N., A. Bourg, J. Gómez y J. J. Alvarado. 2005. Diversidad y abundancia de equinodermos en la laguna arrecifal del Parque Nacional Cahuita, Caribe de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 53 (3): 285-290.
- Brusca, R.C. y G. J. Brusca. 2005. Invertebrates. 2^a ed. Sinauer Associates Inc. USA. 860-870 p.
- Calva, B. L. G. 2002. Hábitos alimenticios de algunos equinodermos. Parte 1. Estrellas de mar y estrellas serpiente. UAM-I, ContactoS, (46): 59-68.
- Calva, B. L. G. 2003. Hábitos alimenticios de algunos equinodermos. Parte 2. Erizos de mar y pepinos de mar. UAM-I, ContactoS, (47): 54-63.
- Carricart-Ganivet, J.P y G. Horta-Puga. 1993. Arrecifes de coral en México. *En* Biodiversidad Marina y Costera de México, S. I. Salazar-Vallejo y N. E. Gonzales (eds.). Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad y CIQRO, México. 81-92 p.
- Caso, M. E. 1961. Los equinodermos de México. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. 1-338 p.
- Caso, M. E. 1976. El estado actual del estudio de los equinodermos de México (en línea). *Anales del centro de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México. <<http://biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/centro/1976-1/articulo15.html>>. [Consulta: 12-02-2012].
- Celaya-Hernández, E.V., F.A. Solís-Marín, A. Laguarda-Figueras, A. de la L. Durán-González y T. R. Ruiz. 2008. Asociación a sustratos de los erizos regulares (Echinodermata: Echinoidea) en la laguna arrecifal de Isla Verde, Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, 56 (3): 281-295.

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

- Chávez E. A. y E. Hidalgo. 1987. Los arrecifes coralinos del Caribe Noroccidental y Golfo de México en el contexto socioeconómico. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México, 15(1): 167-176.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (a). 2011. Estudio Previo Justificativo para la modificación de la declaratoria del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Veracruz, México, 87 p.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (b). 2011. (http://simec.conanp.gob.mx/Info_completa_ext.php?id_direccion=54).
- Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO). 2008. La diversidad biológica de México (en línea). (http://www.conabio.gob.mx/institucion/cooperacion_internacional/doctos/db_mexico.html). actualización: viernes 19 diciembre, 2008. [consulta: 15-03-2012].
- De Ridder C. y Lawrence, J. M. 1982. Food and feeding mechanisms: Echinoidea. *In: Echinoderm nutrition*, M. Jangoux y J. M. Lawrence (eds.). Balkema, Rotterdam. 499-519 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2012. Decreto por el que se modifica al diverso por el que se declara Área Natural Protegida, con el carácter de Parque Marino Nacional, la zona conocida como Sistema Arrecifal Veracruzano, ubicada frente a las costas de los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado del Estado de Veracruz Llave. Jueves 29 de Noviembre. 21 (3): 1-14 p.
- Domínguez-Castanedo, N.; A. Granados-Barba y V. Solís-Weiss. 2007. Estudio preliminar de la macrofauna bentónica presente en la laguna del arrecife Sacrificios. *En: Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano*, A. Granados Barba, L. G. Abarca Arenas y J. M. Vargas Hernández (eds.). Universidad Autónoma de Campeche. México. 113-126 p.
- Durán-González, A.; A. Laguarda-Figuera; F. A. Solís-Marín; S. B. E. Buitrón; C. Gust Ahearn y J. Torres-Vega. 2005. Equinodermos (Echinodermata) de las aguas mexicanas del Golfo de México. *Revista de Biología Tropical*, 53 (3): 53-68.
- Ebert, A. 1996. Adaptive aspect of phenotypic plasticity in echinoderms. *Oceanologica Acta*, 19 (3-4): 347- 355.
- Gutiérrez de Velasco G. y C. D. Winant, 1996. Seasonal patterns of wind stress and wind stress curl over the Gulf of México. *Journal Geophysical Research*, 101(8) 18127-18140 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Copen. Instituto de Geografía Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

- Hendler, G. 1984. The association of *Ophiothrix lineata* and *Callyspongia vaginalis*: a brittlestar- sponge cleaning symbiosis? *Marine Ecology*, 5(1): 9- 27.
- Hendler, G.; J. E. Miller; D. L. Pawson; P. M. Kier. 1995. Sea stars, sea urchins, and allies: echinoderms of Florida and the Caribbean. Smithsonian Institution Press. Washington. 390 p.
- Hernández-Herrejón, L. A.; F.A. Solís-Marín y A. Laguarda-Figueras. 2008. Ofiuroideos (Echinodermata: Ophiuroidea) de las aguas mexicanas del Golfo de México. *Revista de Biología Tropical*, 56 (3): 83-167.
- Horta, P. G. y M. J. L. Tello. 2009. Sistema Arrecifal Veracruzano: condición actual y programa permanente de monitoreo: Primera Etapa. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DM005. México D. F.
- Hunte, W., I. Coté y T. Tomasick. 1986. On the dynamics of the mass mortality of *Diadema antillarum* in Barbados. *Coral Reefs*, 4: 135-139.
- Ibarra-Morales, N. y L. G. Abarca-Arenas. 2007. Distribución, abundancia y biomasa de *Thalassia testudinum* en la laguna del arrecife Sacrificios, Veracruz. *En: Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano*, A. Granados Barba, L. G. Abarca Arenas y J. M. Vargas Hernández (eds.). Universidad Autónoma de Campeche. México. 161-172 p.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 2007. Parque Marino Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (en línea). CONABIO. México: Instituto Nacional de Ecología SEMARNAP. Actualización 15-11-2007. <<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/2/sav.html>>. [Consulta: 26-02-2012].
- Jiménez-Badillo, M. L., L. G. Castro-Gaspar. 2007. Pesca artesanal en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, México. *En: Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano*, A. Granados Barba, L. G. Abarca Arenas y J. M. Vargas Hernández (eds.). Universidad Autónoma de Campeche. México. 221-240 p.
- Jiménez-Valverde, A. y J. Hortal. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología*, 8: 151-161 p.
- Kleypas, J.A., J.W. McManus y L. A. Menez. 1999. Environmental limits to coral reef development: where do we draw the line? *American Zoologist*, 39: 146-159.
- Krebs, J. C. 2009. *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance*. 6^a ed. Pearson. Benjamin Cummings, San Francisco, California, USA. 568-569 p.

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

- Laguarda-Figueras, A.; A. I. Gutiérrez-Castro; F. A. Solís-Marín; A. Durán-González y J. Torres-Vega. 2005. Equinoideos (Echinodermata: Echinoidea) del Golfo de México. *Revista de Biología Tropical*, 53 (3): 69-108 p.
- Laguarda-Figueras, A., L.A. Hernández- Herrejón, F.A. Solís- Marín, A. Duran- González. 2009. Los ofiuroideos del Caribe Mexicano y Golfo de México. CONABIO. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. 249 p.
- Lara, M., C. Padilla, C. García y J. J. Espejel. 1992. Coral Reef of Veracruz Mexico I. Zonation and Community. *Proceedings of the Seventh International Coral Reef Symposium, Guam*. 1: 535-544.
- Lara-Lara, J.R. 2008. Los ecosistemas marinos. *En: Capital natural de México*, F. V. Arenas, G. C. Bazán, C. V. Díaz, B. E. Escobar, A. M. C. García, C. G. Gaxiola, J. G. Robles, A. R. Sosa, G. L. A. Soto, G. M. Tapia, E. Valdez-Holguín (eds.). Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO. México. 135-159 p.
- Lawrence J. 1987. *A Functional Biology of Echinoderms*. Croom Helmp. Gran Bretaña, 340 p.
- Lawrence, J.M. 1975. On the relationships between marine plants and sea urchins. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, 13: 213-286.
- Lewis, C. A., T. A. Ebert y M. E. Boren. 1990. Allocation of 45calcium to body component of starved and fed purple sea urchin (*Strongylocentrotus purpuratus*). *Marine Biology*, 105: 213-222.
- Martín, A., P. Penchaszadeh y D. Atiena, 2001. Densidad y hábitos alimentarios de *Oreaster reticulatus* (Linnaeus, 1758) (Echinodermata, Asteroidea) en praderas de fanerógamas marinas de Venezuela. *Boletín Instituto Español de Oceanografía*, 17 (1-2): 203-208.
- Mohedano-Maldonado, I. R. 2010. Comunidad de equinodermos en la planicie Arrecifal de Anegada de Adentro, Veracruz, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. Edo. de México. 80 p.
- Monroy, L. M. y O. D. Solano. 2005. Estado poblacional de *Echinometra lucunter* (Echinoida: Echinometridae) y su fauna acompañante en el litoral rocoso del Caribe Colombiano. *Revista de Biología Tropical*, 53 (3): 291-297.
- Nishimura M., M. 2005. Distribución y abundancia del erizo blanco *Tripneustes ventricosus* (Echinodermata: Toxopneustidae) en la laguna del arrecife de Isla Verde, Veracruz, México.

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 113 p.

- Nodarse-Konnorov, A. 2001. Abundancia y distribución del erizo *Echinometra lucunter* (Linnaeus) (Echinodermata, Echinoidea) en un arrecife del litoral Norte de ciudad de La Habana. *Revista de Investigaciones Marinas*, 22 (2):107-115.
- Nyström, M. y C. Folke. 2001. Spatial resilience of coral reefs. *Ecosystems*, 4: 406-417.
- Ortiz-Lozano, L. D. 2006. Análisis crítico de las zonas de regulación y planeación en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Tesis en Doctoral en ciencias en oceanografía costera. Facultad de Ciencias Marinas. Instituto de Investigación oceanológicas. Posgrado en oceanografía costera. Ensenada, Baja California, México. 187 p.
- Quintana y Molina, J. 1991. Resultados del programa de investigaciones en arrecifes veracruzanos del laboratorio de sistemas bentónicos litorales. *Hidrobiológica*, 1:73-86.
- Richmond, R.H. 1993. Coral reefs: present problems and future concerns resulting from anthropogenic disturbance. *American Zoologist*, 33: 524-536.
- Rocha, R.; Chávez, L. R.; Ramírez, R. A. y Cházaro O. S. 2006. Comunidades: Métodos de estudio. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. Estado de México. 248 p.
- Ruppert, E. E. y R. D. Barnes. 1996. Zoología de los invertebrados. 6° edición. McGraw-Hill Interamericana. México, D.F. 159-162 p.
- Salas-Pérez, J. J. y A. Granados-Barba. 2008. Oceanographic characterization of the Veracruz reef system. *Atmósfera* 21(3): 281-301 p.
- Scheibling, R. E. 1980. Dynamics and feeding activity of high-density aggregations of *Oreaster reticulatus* (L.) (Echinodermata: Asteroidea) in a sand patch habitat. *Marine Ecology Progress Series*, 2:321-327 p.
- Secretaría de Marina, 1997. Carta de Navegación S. M. 823 Veracruz y proximidades, escala 1:25000. 2ª ed. Secretaría de Marina. Dirección General de Oceanografía Naval. México, D. F.
- Secretaría de Marina, 2010. Carta de Navegación S. M. 821.5 Fondeadero Antón Lizardo, escala 1:25000. 2ª ed. Secretaría de Marina. Dirección General de Investigaciones y Desarrollo, Dirección General de Oceanografía Naval. México, D. F.
- SEMARNAT. 2009. Arrecifes de coral (en línea) <http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/04_biodiversidad/recuadros/c_rec5_04.htm>. [Consulta: 15-03-2012].

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

- Shannon, C. E. y W. Weaver. 1963. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press. U.S.A. 144 p.
- Sokal, R.R. y F. J. Rohlf. 1995. *Biometry. The principles and practice of statistics in biological research*. 3^{ra} ed. W.H. Freeman and Company New York. 871 p.
- Solís-Marín F.A., M.D. Herrero-Perezrul, A. Laguarda-Figueras, J. Torres-Vega, 1993. Asteroideos y equinoideos de México (Echinodermata). *En: Biodiversidad Marina y Costera de México*, S. I. Salazar-Vallejo y N.E. González (eds.). CONABIO y CIQRO, Chetumal. México. 91–105 p.
- Solís-Marín, F. A. 1997. *Catálogo de los equinodermos recientes en México (Fase I)*. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DC016 México, D.F.
- Solís-Marín, F. A. y E. Mata-Pérez. 1999. *Manual del curso-taller “Taxonomía de Equinodermos”*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 78 p.
- Solís-Marín. F. A.; A. Laguarda-Figueras y M. A. Gordillo-Hernández. 2007. *Estudio taxonómico de los equinodermos del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano*. *En: Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano*, A. Granados Barba, L. G. Abarca Arenas y J.M. Vargas Hernández (eds.). Universidad Autónoma de Campeche. México. 73-100 p.
- Solís-Marín, F. A. 2008. *Catálogo de los equinodermos recientes de México (Fase II)*. Universidad Nacional Autónoma de México. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DC016. México D. F. 73-100 p.
- Solís-Marín, F. A. y A. Laguarda-Figueras. 2011. Crinoideos, estrellas, ofiuros, erizos y pepinos de mar (Echinodermata). *En: La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado (Volumen II). Diversidad de especies: conocimiento actual*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, A.C. México. 225-234 p.
- Spalding, M. D.; C. Ravilious y E. P. Green. 2001. *World Atlas of Coral Reefs*. WCMC-UNEP. University of California Press. 113-114 p.
- Tello, M. J. L. 2000. *Distribución de biotopos en la zona de la planicie arrecifal Isla Verde, Veracruz, México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. Estado de México. 61 p.

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

- Trujillo-Luna, B. R. y N. E. González-Vallejo. 2006. Equinodermos (Echinodermata) de la colección de referencias de bentos costeros de Ecosur. Universidad y Ciencia. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco Villahermosa, México. 22 (1): 83-88.
- Ugalde-García, D. M. 2010. Equinodermos de la planicie arrecifal de Isla Sacrificios, Sistema Arrecifal Veracruzano. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. Estado de México. 58 p.
- Vargas-Hernández J. M., A. Hernández-Gutiérrez y L. F. Carrera-Parra. 1993. Sistema Arrecifal Veracruzano. *En: Biodiversidad marina y costera de México*, S. Salazar-Vallejo y N. E. González, (eds.), CONABIO y CIQRO. México, 559–575 p.
- Vázquez-Domínguez, E. 2003. Diversidad y distribución de crustáceos y equinodermos y su relación con niveles de sedimentación en arrecifes coralinos. *Revista de Biología Tropical*, 51 (1): 183-194.
- Villanueva-Sousa. V. 2008. Primer registro de equinodermos del talud del arrecife “La Galleguilla”, Veracruz con análisis ecológico. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. Estado de México. 100 p.
- Villanueva-Sousa. V. 2011. Análisis del talud, zona norte, del arrecife Sacrificios con base en la distribución de moluscos y equinodermos. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología Marina), Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 90 p.
- Wood, R. 2001. Biodiversity and the history of reefs. *Geological journal*, 36: 251-263.
- Yáñez-Arancibia, A. y R. Sánchez-Gil. 1983. Environmental behavior of Campeche Sound ecological System, of Terminos lagoon, México: preliminary results. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México. 10(1):117-136.

Análisis del Ensamblaje de Equinodermos de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

ANEXO

Coordenadas en UTM de los cuadrantes muestreados y los cuatro puntos del Faro de los arrecifes Isla Sacrificios y Rizo.

No. Cuadrante	Coordenada X	Coordenada Y
1	805624	2123038
2	805609	2123109
3	805590	2123174
4	805585	2123240
5	805530	2123346
6	805535	2123361
7	805600	2123391
8	805833	2123275
9	805823	2123265
10	805838	2123199
11	805853	2123144
12	805982	2122690
13	805977	2122670
14	805678	2123430
15	805673	2123365
16	805638	2123168
17	805648	2123092
18	805623	2123037
19	805853	2123038
20	806061	2122851
21	806021	2122730
22	805996	2122912
23	806081	2123028
24	806076	2123088
25	806021	2123129
26	805678	2123385
27	805685	2123365
28	805638	2123168
29	805648	2123097
Faro NE	805824	2122723
Faro SE	805830	2122713
Faro NO	805831	2122724
Faro SO	805822	2122718

No. Cuadrante	Coordenada X	Coordenada Y
1	192750	2109438
2	192685	2109518
3	192465	2109586
4	192285	2109803
5	192445	2109783
6	192435	2109795
7	192510	2109813
8	192600	2109796
9	192370	2109854
10	192415	2109901
11	192185	2109901
12	192080	2110021
13	192185	2110038
14	192190	2110268
15	191900	2110313
16	191998	2111011
17	192126	2110733
18	192260	2110468
19	191960	2110728
20	191840	2110699
21	191735	2110723
22	191466	2110688
23	191395	2110618
24	191385	2110613
25	191625	2111008
26	191335	2111033
27	191445	2111244
28	191775	2111414
29	191534	2111550
30	191411	2111620
Faro N	192610	2109574
Faro S	192611	2109571
Faro E	192611	2109573
Faro O	192609	2109573