



Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
Campus: Tuxpan

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

**EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA COMUNITARIA DE
EQUINODERMOS EN LOS ARRECIFES PANTEPEC Y
TUXPAN, DEL CORREDOR ARRECIFAL
VERACRUZANO.**

TESIS

Que para obtener el título de:
**MAESTRA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y
COSTEROS**

P R E S E N T A:
Biol. Mar. Janett Aidé Mendoza García

Director:
Dr. Carlos González Gándara

Asesor: Dr. Francisco Alonso Solís Marín
Asesor: Dr. José de Jesús Salas Pérez

Tuxpan, Veracruz.

2017

Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz, México, febrero de 2017.

La presente Tesis titulada: "EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA COMUNITARIA DE EQUINODERMOS EN LOS ARRECIFES PANTEPEC Y TUXPAN, DEL CORREDOR ARRECIFAL VERACRUZANO", realizada por la Biól. Mar. Janett Aidé Mendoza García, bajo la dirección del Dr. Carlos González Gándara, ha sido revisada y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS

CONSEJO PARTICULAR:



Dr. Carlos González Gándara
Director



Dr. Francisco Alonso Solís Marín
Asesor



Dr. José de Jesús Salas Pérez
Asesor

Tuxpan de Rodríguez Cano, Ver; Febrero 2017

La presente Tesis titulada: **“EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA COMUNITARIA DE EQUINODERMOS EN LOS ARRECIFES PANTEPEC Y TUXPAN, DEL CORREDOR ARRECIFAL VERACRUZANO.”** Realizada por la Biol.Mar. Janett Aidé Mendoza García, ha sido revisada y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS

COMISIÓN LECTORA:

Leonardo D. Ortiz Lozano

Dr. Leonardo Dagoberto Ortiz Lozano
Lector

M. Maribel Ortiz Domínguez

Dra. Maribel Ortiz Domínguez
Lector

Mtra. Karla Cirila Garcés García

Mtra. Karla Cirila Garcés García
Lector

AGRADECIMIENTO

Este trabajo forma parte del proyecto: Bases para el Análisis y Síntesis de los Sistemas Costeros de Veracruz, realizado en el marco de la Red para el Análisis y Síntesis de la Zona Costera Veracruzana, Golfo de México (RASZCOV) financiado por PRODEP.

A mi director de tesis:

Dr. Carlos González Gándara; agradezco la confianza que siempre ha depositado en mí, por el apoyo incondicional que me brindó en todo momento para la revisión, corrección y asesoramiento durante la realización del presente trabajo.

A mis asesores de tesis:

Dr. Francisco Alonso Solís Marín y al Dr. José de Jesús Salas Pérez por su disponibilidad en la revisión y valoración de la tesis, debido a sus atinadas críticas constructivas, observaciones y sugerencias se enriqueció aún más el presente trabajo, muchas gracias.

Por el apoyo otorgado...

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgar la beca No. 377374, apoyo que fue utilizado para estudiar la Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros. A mi Universidad Veracruzana: Por la oportunidad de brindarme estudios para forjarme como profesional.

A compañeros-colegas del Laboratorio de Arrecifes Coralinos (LAC):

Al Dr. Adán Guillermo Jordán Garza por su apoyo incondicional, enseñanzas y paciencia a lo largo del presente trabajo. A Ana María Morales Barragán y Apolinar Cruz García por el apoyo otorgado durante los muestreos en los arrecifes.

DEDICATORIA

A DIOS

Por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el período de estudio y por permitir que mis seres amados compartan este triunfo conmigo.

A MIS PADRES

Tengo muchas cosas que agradecerles el hecho de intentar plasmarlas en un papel se me hace imposible, con solo darme la vida les debo todo, quiero dar a conocer que son los mejores padres que yo pueda tener, siempre están a mi lado, enseñándome, corrigiéndome, siempre intentando hacer de mí una persona excelente. Agradezco las oraciones, el esfuerzo, la confianza, y el amor que me tienen.

Verónica García Bribiesca y Jesús Mendoza Reyes, este trabajo es un sencillo homenaje al esfuerzo, lucha, sacrificio y tolerancia que me han brindado, son el ejemplo de lucha constante, gracias por los sabios consejos que me brindan día a día, sin duda alguna, este logro también es de ustedes y por ustedes, gracias por todo. Los amo.

A MIS HERMANAS

Teresa Ivonne Mendoza García y Nayelli Noemí Mendoza García, por estar conmigo incondicionalmente, por aconsejarme en cada momento difícil y principalmente por ser mis dos grandes amigas. Las amo.

A MIS SOBRINOS

Tamí, Kati y Leo por ser la razón de mis sonrisas, sin duda alguna ustedes tienen que superarme y yo me encargare de guiarlos. Los amo.

A Javier Eduardo Rivera Hernández porque gracias a tu apoyo, comprensión, cariño y amor me fortalecí para culminar el posgrado, espero te sientas muy orgulloso de este logro porque sin tu ayudada no lo hubiera logrado, gracias.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
HIPÓTESIS	7
III. OBJETIVOS	8
GENERAL.....	8
PARTICULARES.....	8
IV. ÁREA DE ESTUDIO	9
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
5.1 ANÁLISIS DE DATOS.....	13
5.2 ÍNDICES ECOLÓGICOS	13
VI. RESULTADOS.....	16
<i>Astrophyton muricatum</i> (Lamarck, 1816).....	19
<i>Astropyga magnifica</i> A. H. Clark, 1934	21
6.1 Estimadores Comunitarios	23
Cobertura del Sustrato	33
VII. DISCUSIÓN	38
VIII. CONCLUSIONES	47
IX. APLICACIÓN PRÁCTICA DEL TRABAJO.....	48
X. BIBLIOGRAFÍA.....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del polígono de los arrecifes: Tuxpan y Pantepec	10
Figura 2. Distribución de los cuadrantes de muestreo sobre el transecto guía.	12
Figura 3. Número de especies de equinodermos por clase en los arrecifes Pantepec y Tuxpan, Veracruz.	18
Figura 4. <i>Astrophyton muricatum</i> en el arrecife Pantepec, Veracruz. Fotografía: Vicencio De La Cruz, 2016.....	19
Figura 5. <i>Astropyga magnifica</i> en el arrecife Tuxpan, Veracruz. Fotografía: Jimmy Arguelles, 2016.	21
Figura 6. Curva de acumulación de especies observadas en el arrecife Pantepec.	24
Figura 7. Curva de acumulación de especies observadas en el arrecife.....	25
Figura 8. Índice de similitud de Jaccard aplicada a las zonas arrecifales del arrecife Tuxpan.	28
Figura 9. Índice de similitud de Bray-Curtis aplicada a las zonas arrecifales del arrecife Tuxpan	28
Figura 10. Análisis de similitud de Jaccard aplicado a los ambientes del arrecife Tuxpan; Tuxpan sotavento (TXST), Tuxpan barlovento (TXBA), cresta de sotavento (C.S), cresta de barlovento (C.B), pedacaría de coral (P.C), pastos marinos (P.M) y promontorios (PRO), los números entre paréntesis indican los estratos de profundidad.....	29
Figura 11. Análisis de similitud de Bray-Curtis aplicado a los ambientes del arrecife Tuxpan; Tuxpan sotavento (TXST), Tuxpan barlovento (TXBA), cresta de sotavento (C.S), cresta de barlovento (C.B), pedacaría de coral (P.C), pastos marinos (P.M) y promontorios (PRO), los números entre paréntesis indican los estratos de profundidad.....	30
Figura 12. Índice de similitud de Jaccard aplicada a las zonas arrecifales del arrecife Pantepec.	31
Figura 13. Índice de similitud de Bray-Curtis aplicada a las zonas arrecifales del arrecife Pantepec.	31

Figura 14. Análisis de escalamiento multidimensional aplicado a las zonas de muestreo en el arrecife Tuxpan.....	31
Figura 15. Análisis de escalamiento multidimensional aplicado a los estratos de profundidad en el arrecife Pantepec y Tuxpan; Pantepec (PA), Tuxpan sotavento (TXST), Tuxpan barlovento (TXBA), los números entre paréntesis indican los estratos de profundidad.....	32
Figura 16. Diferencia entre el tipo de sustrato del arrecife Pantepec y Tuxpan; octocoral (Oct), restos de coral (Restos), roca con macroalgas (Roma), pastos marinos (P.m.) y esponjas (Esp).	33
Figura 17. Cobertura por estrato de profundidad en el arrecife Pantepec; octocoral (Oct), restos de coral (Restos), roca con macroalgas (Roma), pastos marinos (P.m.) y esponjas (Esp).	35
Figura 18. Cobertura del sustrato por zona en los arrecifes Tuxpan y Pantepec; octocoral (Oct), restos de coral (Restos), roca con macroalgas (Roma), pastos marinos (P.m.) y esponjas (Esp).	36
Figura 19. Cobertura del sustrato por ambiente en el arrecife Tuxpan; pastos marinos (P.M), pedaceria de coral (P.C), promontorios (PRO), cresta de sotavento, (C.S), cresta de barlovento (C.B), octocoral (Oct), restos de coral (Restos), roca con macroalgas (Roma), pastos marinos (P.m.) y esponjas (Esp).	37

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Listado taxonómico de equinodermos observados en los arrecifes Pantepec y Tuxpan. El arreglo sistemático sigue el criterio de Alvarado y Solís-Marín (2013). El asterisco (*) señala los nuevos registros.....	16
Cuadro 2. Riqueza de especies con respecto a las zonas, hábitats y estratos de profundidad en los arrecifes Pantepec y Tuxpan.....	23
Cuadro 3. Abundancia e índices de especies con respecto a las zonas, hábitats y estratos de profundidad en los arrecifes Pantepec y Tuxpan.....	27

RESUMEN

Janett Aidé Mendoza García

El presente trabajo aporta los primeros datos de las comunidades de equinodermos, sus variaciones espaciales y su relación con los atributos del sustrato y profundidad en los arrecifes Pantepec y Tuxpan. Durante el periodo marzo 2015-marzo 2016 se realizaron muestreos en tres áreas arrecifales: planicie, sotavento y barlovento y en cinco estratos de profundidad, estableciéndose cinco sitios de muestreo por cada zona arrecifal, en cada uno se tendieron transectos de 25 m de longitud, sobre esta se colocó a cada 5 m un cuadrante para recabar datos de la composición y abundancia de los equinodermos. Los datos obtenidos se utilizaron para estimar la equidad, dominancia y estimadores comunitarios, además se realizó un análisis de correlación canónica para determinar la relación de los equinodermos con el tipo de sustrato presente en los arrecifes Tuxpan y Pantepec. Se registraron 23 especies de equinodermos, siendo mayor en Tuxpan (21 especies) y menor en Pantepec (17 especies) en donde se reportan nuevos registros (*Astrophyton muricatum* y *Astropyga magnifica*). La abundancia total de equinodermos fue de 6,446 organismos. A escala de zonas arrecifales, la planicie en el sistema Tuxpan presentó la mayor riqueza (18 especies). A nivel de hábitats, en el sistema Pantepec, las capas entre 15 a 20 m de profundidad mostraron la mayor riqueza (16 especies). Ecológicamente las comunidades de equinodermos son más dominantes que equitativas lo cual está ligado a la notable abundancia de *Echinometra viridis* en estratos profundos y *E. lucunter lucunter* en zonas someras. La fauna de equinodermos en los arrecifes Tuxpan y Pantepec, es en general muy parecida. El sustrato en el arrecife Tuxpan es más heterogéneo con respecto al Pantepec, siendo la profundidad un factor determinante.

Palabras clave: Equinodermos, distribución, sustrato, Arrecife Tuxpan, Arrecife Pantepec.

I. INTRODUCCIÓN

Aunque los equinodermos se distribuyen ampliamente en los ambientes oceánicos, frecuentemente utilizan las formaciones arrecifales coralinas para establecerse, especialmente, los asteroideos y equinoideos (Hendler *et al.*, 1995). En estos ambientes, los equinodermos constituyen un elemento clave en la estructura y funcionamiento del ecosistema debido a que forman parte de la cadena alimenticia y controlan las poblaciones de algas, principales competidores por el espacio de los corales escleractinios (Muthiga y McClanahan, 2003; Guzmán y Cortés, 2007). Además, intervienen activamente en el proceso de bioerosión, el cual es fundamental para el reciclamiento de carbonato de calcio (Appana y Vuki 2003; Steneck *et al.*, 2013) que también genera espacios ambientales para el establecimiento de otras comunidades de invertebrados (Ortega *et al.*, 2009).

Los equinodermos presentan una distribución amplia definida por el sustrato, los asteroideos establecen densas poblaciones sobre extensas áreas geográficas marinas; los equinoideos frecuentemente habitan la zona litoral y sub-litoral; los ofiuroideos son particularmente abundantes en las profundidades del fondo marino; en cambio los holoturoideos son comunes en áreas con sedimentos blandos especialmente en las profundidades de todos los océanos; por último los crinoideos, habitan principalmente los ambientes bentónicos-pelágicos y los arrecifes coralinos (Lebrato *et al.*, 2010) siendo este último ecosistema marino

donde están representados todas las clases de equinodermos (Solís-Marín *et al.*, 2007).

A pesar de que México concentra el 10% de la diversidad total de equinodermos y una buena parte habitan en el Golfo de México, la estructura de sus comunidades es poco conocida, ya que solo existe el estudio de Celaya-Hernández *et al.* (2008) que relaciona la presencia de equinoideos con las zonas arrecifales de un sistema del centro de Veracruz. En el norte del estado, existen al menos nueve formaciones arrecifales, destacando los emergentes y no emergentes (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013) cuyas biotas en general son semejantes, pero no se sabe si existen patrones diferenciales entre ellos.

Dada la importancia ecológica de los equinodermos y la falta de investigación sobre su estructura comunitaria en los sistemas del norte de Veracruz, en el presente estudio se describen las comunidades de equinodermos en los arrecifes: Tuxpan y Pantepec para evaluar sus variaciones espaciales, así como, su relación con los atributos del sustrato.

II. ANTECEDENTES

Las formaciones arrecifales

Los arrecifes coralinos que se desarrollan en las costas de Veracruz, corresponden a tres tipos: plataforma, bancos sumergidos y marginales (Jordán-Dahlgren, 1993; Chávez *et al.*, 2007; Ortiz-Lozano *et al.*, 2013). Los primeros presentan una zonación que incluye: planicie o laguna, cresta, pendiente de barlovento y sotavento (Lara *et al.*, 1992; Chávez *et al.*, 2007) donde se establecen comunidades que caracterizan a cada zona. Los bancos sumergidos son estructuras similares a los bancos emergentes (plataforma), donde probablemente sus comunidades coralinas no mantuvieron el ritmo de crecimiento para compensar la tasa de ascenso en el nivel del mar ocurrido durante el Holoceno (Neumann y McIntire, 1985) por lo que sus rasgos morfológicos no están bien diferenciados como ocurre en los emergentes y esto parece influir en la estructura de las comunidades asociadas.

Uno de los atributos de las formaciones arrecifales es la heterogeneidad espacial, la cual es resultado del crecimiento de los corales escleractinios y es determinante en la estructura de las comunidades bentónicas (Kelaher, 2003; Chapman y Underwood, 2008) en especial para los equinodermos. Por ejemplo, las áreas de fondos suaves favorecen el establecimiento de asteroideos y equinoideos irregulares y los fondos rocosos son más propicios para los equinoideos regulares y crinoideos (Hendler *et al.*, 1995). Por otra parte, se ha documentado que la riqueza y abundancia de los equinodermos está relacionada con varios factores, donde destacan: la profundidad y los atributos del sustrato

(Hernández, 2011). Por esto, uno de las primeras cuestiones a resolver es ¿La estructura comunitaria de los equinodermos está relacionada con la profundidad y las propiedades del sustrato en dos formaciones geomorfológicamente diferentes? Para responder esta pregunta se eligieron dos sistemas cercanos (arrecifes: Tuxpan y Pantepec), donde se contrasta el desarrollo coralino y los atributos morfológicos.

La investigación sobre equinodermos en México

Los trabajos de investigación acerca de los equinodermos en México se iniciaron en 1890 con el trabajo de Ives (Solís-Marín *et al.*, 2007), pero es hasta el siglo XX cuando los esfuerzos de muchos investigadores se encargaron de describir, ordenar y generar listados de equinodermos en varias localidades de México (Caso 1961; 1962; Herrero-Pérezrul, 1997; Solís-Marín *et al.* 2005; 2013; 2014; Durán-González *et al.* 2005; Laguarda-Figueras *et al.* 2005; 2013; Trujillo-Luna y González-Vallejo, 2006; Honey-Escandón *et al.* 2008; 2011; Massin y Hendrickx, 2010; 2011 y Arriaga-Ochoa *et al.* 2012) que permitieron generar un inventario de aproximadamente 650 especies para nuestro país (Solís-Marín *et al.*, 2014).

La distribución de los equinodermos está determinada por parámetros oceanográficos como: salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y el tipo de sustrato (Caso, 1947; 1948; 1961; 1976; 1977; 1984 y 1990; Bernasconi, 1956; Buitrón, 1968; 1978; Sánchez, 1993 y Solís-Marín *et al.*, 1993) y siendo este último posiblemente el más importante. Por ejemplo, los fondos rocosos favorecen a la presencia de erizos en estos ambientes marinos (Hendler *et al.*,

1995), aunque, la profundidad puede marcar diferencias en los componentes; *Echinometra lucunter* domina en zona someras y *E. viridis* en la profundas (Acosta, 2010; Cruz, 2013).

La investigación acerca de equinodermos en Veracruz

Recientes hallazgos (Martínez-Melo *et al.*, 2014; González-Gándara *et al.*, 2014; Solís Marín *et al.*, 2015; Rubí, 2016) indican que probablemente los inventarios bióticos de Veracruz estén incompletos ya que el esfuerzo de investigación ha sido limitado en los ecosistemas arrecifales como los bancos sumergidos. En la zona costera norte de Veracruz, se han registrado un total de 77 especies de equinodermos, 39 de éstas corresponden a los arrecifes emergentes (Cárdenas, 2010 y Solís-Marín *et al.*, 2007) y 24 especies para el arrecife Blake (Mendoza, 2014; Escárcega-Quiroga, 2014; González-Gándara *et al.*, 2015).

Otros aspectos sobre los equinodermos investigados en la zona costera del norte de Veracruz, incluyen información acerca de su morfología (San Juan, 1988), propiedades poblacionales (Guerrero, 2013) y regeneración (Alarcón, 2013). Los aspectos comunitarios han sido abordados de manera parcial, ya sea espacialmente (Gamboa, 1978; Barón, 2007) o exclusivamente en erizos regulares (Barón, 2007; Celaya-Hernández *et al.*, 2008; Acosta, 2010; Cruz, 2013). Únicamente existe un trabajo que aborda las variaciones temporales, que refiere una mayor abundancia en la época de lluvias con respecto a las épocas de nortes y secas (Reyes, 2015).

Los estudios comunitarios de equinodermos en los arrecifes coralinos del Golfo de México son muy escasos (Hernández, 2011) especialmente en Veracruz donde las investigaciones de González (2009), González (2014) y Morales-Quijano (2015) definen la composición, distribución y abundancia, marcando las asociaciones con los tipos de hábitat. Por ejemplo, *Ophioderma cinereum* y *Ophiothrix lineata* se ligan a pedacera de coral, *Thalassia* y arena mientras que *E. lucunter* se asocia a los sustratos duros. Para los bancos sumergidos, existe información comunitaria en arrecifes de Campeche (Hernández, 2011) y para el arrecife Oro Verde en Veracruz (Rubí, 2016), donde se cita una riqueza baja de 14 a 25 especies. En los arrecifes del norte de Veracruz, los trabajos de Morales-Quijano (2015) en el arrecife En medio documenta la distribución y abundancia de la comunidad y el de Rubí (2016) en el arrecife Oro Verde, donde se hacen comparaciones de su riqueza con otros sistemas arrecifales de Veracruz.

Aunque existen estudios que abordan la estructura de la comunidad de equinoideos en los arrecifes Tuxpan (Barón, 2007; Reyes, 2015) y Pantepec (Cruz, 2015), hasta el momento, no existe ningún antecedente que incluya a todo el phylum Echinodermata. En la presente investigación, se presenta un inventario de las especies de equinodermos y se abordan los atributos comunitarios para comparar y relacionarlos con las propiedades del sustrato y la profundidad, lo anterior con base en la siguiente pregunta ¿Las comunidades de equinodermos en dos arrecifes morfológicamente diferentes son semejantes? Lo anterior, resulta de gran importancia en las áreas naturales protegidas porque genera información que permitirá replantear las medidas de manejo del (Área Natural Protegida) ANP.

HIPÓTESIS

La estructura comunitaria de los equinodermos está relacionada con las características del sustrato y la profundidad, encontrando diferencias en los descriptores comunitarios [riqueza, abundancia, diversidad de Shannon-Wiener (H') y Equidad de Pielou (J')] de las especies de equinodermos presentes en los arrecifes Pantepec y Tuxpan.

III. OBJETIVOS

GENERAL

♣ Describir las comunidades de equinodermos de los arrecifes Tuxpan y Pantepec para valorar sus variaciones espaciales y su relación con los atributos del sustrato y profundidad.

PARTICULARES

♣ Realizar un inventario de equinodermos en los arrecifes Pantepec y Tuxpan.

♣ Cuantificar descriptores comunitarios como: riqueza, abundancia, diversidad de Shannon, equidad de Pielou y dominancia de Simpson.

♣ Comparar a los arrecifes Pantepec y Tuxpan por medio del Índice de Similitud de Jaccard.

♣ Determinar las características del sustrato de cada uno de los arrecifes.

♣ Asociar la estructura de las comunidades de equinodermos con los atributos al sustrato y profundidad.

IV. ÁREA DE ESTUDIO

Los arrecifes Pantepec y Tuxpan forman parte del conjunto arrecifal SALT (Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan) localizado en la zona norte del estado de Veracruz. El arrecife Pantepec es un banco sumergido que se localiza a 11.5 km de la desembocadura del río Tuxpan, presenta una profundidad que oscila entre los 15 y 25 m y geográficamente se ubica a los 21°02' 43" N y 97°14' 34" O (Figura 1). Este sistema es una plataforma rocosa con una longitud máxima aproximada de 1500 m y una anchura de 800 m que se caracteriza por una baja riqueza y cobertura coralina, representada por: *Colpophyllia natans*, *Siderastrea siderea* y *Montastraea cavernosa* (González, 2010; Ortiz-Lozano *et al.*, 2013; Cortés, 2014). Por su parte, el arrecife Tuxpan, es un sistema emergente que se localiza a 12.8 km al NE de la desembocadura del río Tuxpan, con una profundidad que va de los 0.8 a los 27 m (Martos, 1993, 2010; Alfaro, 2012), geográficamente se ubica a los 21° 01' 37" N y 97° 11' 39" O (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013). Este arrecife es de forma elipsoide y tiene una longitud máxima aproximada de 1500 m y una anchura de 650 m (Figura 1). La riqueza y cobertura coralina es relativamente alta (>30 %) y está representada por: *Colpophyllia natans*, *Siderastrea siderea* y *Montastraea cavernosa* (Martos, 1993).

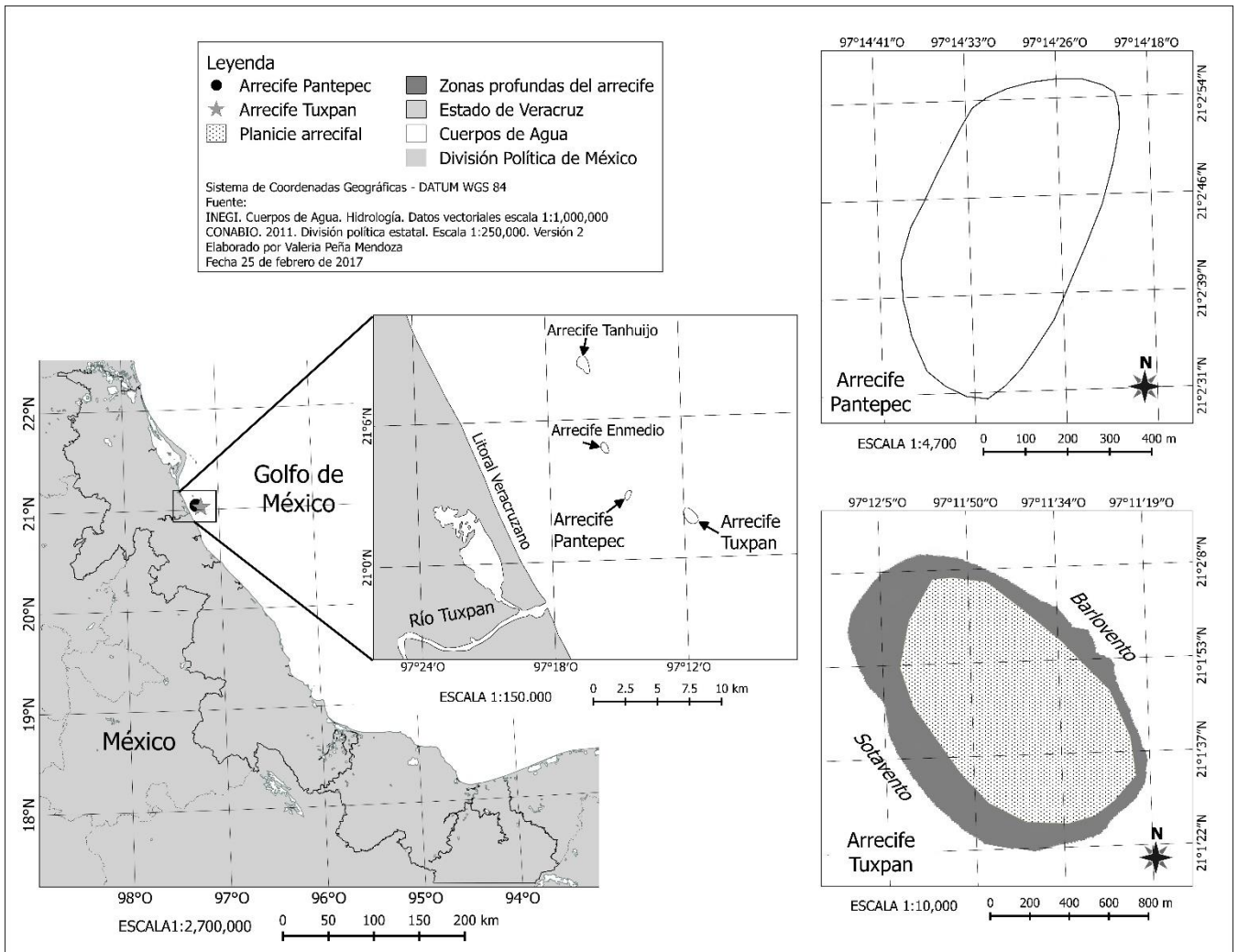


Figura 1. Ubicación geográfica del polígono de los arrecifes: Tuxpan y Pantepec

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con los objetivos propuestos en el presente trabajo, se realizaron una serie de salidas en lancha durante el periodo de marzo del 2015 a marzo del 2016 a los arrecifes Pantepec y Tuxpan. Para el arrecife Tuxpan se definieron tres zonas de muestreo de acuerdo a las características ambientales del entorno, por su posición en relación a las corrientes y vientos dominantes de las cuales cinco sitios de muestreo se distribuyeron en la planicie arrecifal, (pastos marinos, restos de coral, promontorios, cresta de barlovento y cresta de sotavento), cuatro estratos de profundidad en Sotavento y cuatro en Barlovento, mientras que para el arrecife Pantepec por ser un arrecife sumergido únicamente se tomaron muestras en estratos de profundidad de 15-20 m y de 20-25 m.

En cada uno de los hábitats, se realizaron de tres a cuatro muestreos utilizando transectos guía de 25 m de longitud, paralelos entre sí. A lo largo del transecto se colocaron seis cuadrantes de 1 x 1 m de manera alterna, distribuidos a los: 0, 5, 10, 15, 20 y 25 m (Figura 2). De modo que, se censaron entre 18 y 24 cuadrantes por cada hábitat. Los muestreos consistieron en identificar y contabilizar las especies de equinodermos incluidas en cada cuadrante, registrando los datos en una tablilla de acrílico. Aquellos ejemplares que no pudieron ser identificados por censo visual, fueron capturados y preservados en alcohol al 96% para su determinación taxonómica en laboratorio. Para esto, se utilizaron guías y claves taxonómicas para equinodermos de la costa Atlántica, entre las que destacan: Hendler *et al.* (1995); Solís-Marín y Mata-Pérez (1999) y Laguarda-Figueras *et al.* (2009).

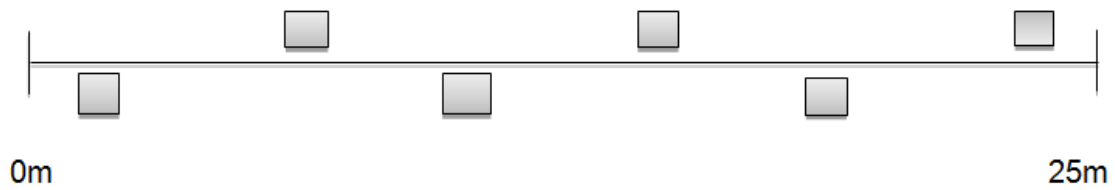


Figura 2. Distribución de los cuadrantes de muestreo sobre el transecto guía.

Adicionalmente, para caracterizar los diferentes hábitats, se hicieron fototransectos utilizando el transecto guía como referencia. En cada uno, se tomaron 25 fotografías separadas 1 m del sustrato y utilizando una cámara Canon Short de 12 kg. Posteriormente, las fotografías fueron analizadas con el programa Coral Point Cont. Con Excel (Kohlberg y Gill, 2006) considerando 25 puntos al azar, así como los siguientes grupos morfofuncionales: pastos marinos, macroalgas, corales, roca, promontorios y arena. También fue registrada la profundidad de cada sitio de muestreo con un profundímetro.

5.1 ANÁLISIS DE DATOS

Con los datos de riqueza y abundancia de los equinodermos, se construyó una base de datos y posteriormente se estimaron los atributos de la comunidad (riqueza, equidad y dominancia), para los sistemas. Para definir la riqueza se consideró el número total de especies (S) para cada arrecife. La suficiencia del muestreo para esta valoración, fue determinada utilizando los estimadores no paramétricos: Chao1, Jack 1, y Bootstrap. Se utilizó el programa Estimates (Colwell, 2013), permutando 100 veces el orden de los muestreos.

5.2 ÍNDICES ECOLÓGICOS

Se estimaron índices que cuantifican el número de especies presentes e índices que miden la estructura comunitaria a partir de la abundancia proporcional de cada especie. Esto se analizó a nivel de sitio arrecifal mediante el programa Past (Hammer *et al.*, 2006).

La valoración de la equidad fue definida a partir de los índices de Shannon-Wiener (H') y Pielou (J) Moreno (2001) cuyos cálculos se hicieron a partir de las siguientes fórmulas:

Shannon-Wiener (H)

$$H' = - \sum P_i \ln P_i$$

Donde:

- **P_i**: Es la proporción de individuos en el total de la muestra que pertenecen a la especie **i**
- **ln**: es el logaritmo de base 2 de **P_i**

Pielou (J)

$$J' = \frac{H'}{H} \text{max}$$

Donde:

- **H' max**: ln(S)

Para calcular la dominancia se empleó el índice de Simpson (λ), el cual mide la probabilidad de que dos individuos de una misma especie se tomen al azar (Moreno, 2001). Para este fin, se usó la siguiente expresión.

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Dónde:

- **p_i**: es la abundancia proporcional de la especie **i**, esto es, el número de individuos de la especie **i** dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Con la finalidad de comparar los ambientes y los arrecifes a partir de los datos de presencia-ausencia de equinodermos, se estimó la similitud utilizando el Índice de Jaccard (IJ), que mide el parecido entre dos unidades de muestreo calculado a partir de la siguiente fórmula:

$$IJ = \frac{c}{a + b - c}$$

Dónde:

- **a:** es el número de especies presentes en la estación A.
- **b:** es el número de especies presentes en la estación B.
- **c:** es el número de especies presentes en ambas estaciones, A y B.

Además, considerando que se obtuvieron datos de abundancia, se evaluó la semejanza con el índice de Bray Curtis (B) representado por la siguiente fórmula:

Bray-Curtis

$$B = \frac{\sum_{i=1}^S |X_{ij}X_{ik}|}{\sum_{i=1}^S |X_{ij}X_{ik}|}$$

Donde:

- **B:** medida de Bray-Curtis 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.

VI. RESULTADOS

El grupo de los equinodermos de los arrecifes Pantepec y Tuxpan está formado por un total de 23 especies, 17 géneros, 14 familias y 8 órdenes (Cuadro 1). Entre las especies, destacan dos nuevos registros para los sistemas del norte de Veracruz: *Astrophyton muricatum* y *Astropyga magnifica*, el primero observado en el arrecife Pantepec y el segundo en el Tuxpan. Las clases con mayor riqueza fueron Echinoidea y Ophiuroidea con nueve especies (Figura 3), mientras que las familias Ophiocomidae, Ophiotrichidae y Toxopneustidae presentaron el mayor número de especies (Cuadro 1).

Cuadro 1. Listado taxonómico de equinodermos observados en los arrecifes Pantepec y Tuxpan. El arreglo sistemático sigue el criterio de Alvarado y Solís-Marín (2013). El asterisco (*) señala los nuevos registros

CLASE CRINOIDEA

Orden Comatulida (A. H. Clark, 1908)

Familia Comastulidae Fleming, 1828

Género *Davidaster* Hoggett y Rowe, 1986

1. *Davidaster rubiginosa* (Pourtalès, 1869)

CLASE ASTEROIDEA

Orden Valvatida Perrier, 1884)

Familia Ophidiasteridae Verrill, 1870

Género *Linckia* Nardo, 1834

2. *Linckia guildingii* Gray, 1840

Familia Asteriidae Gray, 1840

Género *Coscinasterias* Verrill, 1870

3. *Coscinasterias tenuispina* (Lamarck, 1816)

Familia Asteropseidae Hotchkiss y Clark, 1976

Género *Poraniella* Verill, 1914

4. *Poraniella echinulata* (Perrier, 1881)

CLASE OPHIUROIDEA

Orden Euryalida Lamarck, 1816

Familia Gorgonocephalidae Ljungman, 1867

Género *Astrophyton* Fleming, 1828

5. *Astrophyton muricatum* (Lamarck, 1816) *

Familia Ophiocomidae (Ljungman, 1867)

Género *Ophiocoma* L. Agassiz, 1836

6. *Ophiocoma echinata* (Lamarck, 1816)

7. *Ophiocoma wendtii* Müller y Troschel, 1842

Género *Ophiocomella* A.H. Clark, 1939

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

Familia Ophiactidae Matsumoto, 1915

Género *Ophiactis* Lütken, 1856

9. *Ophiactis quinqueradía* Ljungman, 1871

10. *Ophiactis savignyi* (Müller y Troschel, 1842)

Familia Ophiotrichidae Ljungman, 1866

Género *Ophiothrix* Müller y Troschel, 1840

11. *Ophiothrix angulata* Say, 1825

12. *Ophiothrix lineata* Lyman, 1860

13. *Ophiothrix suensonii* Lütken, 1856

CLASE EQUINOIDEA

Orden Cidaroida Claus, 1880

Familia Cidaridae Gray, 1825

Género *Eucidaris* Pomel, 1883

14. *Eucidaris tribuloides* (Lamarck, 1816)

Orden Diadematoida Duncan, 1889

Familia Diadematidae Gray, 1855

Género *Diadema* Gray, 1825

15. *Diadema antillarum* Philippi, 1845

Género *Astropyga* Gray, 1825

16. *Astropyga magnifica* A.H. Clark, 1934 *

Orden Arbacioida Gregory, 1900

Familia Arbaciidae Gray, 1855

Género *Arbacia* Gray, 1835

17. *Arbacia punctulata* (Lamarck, 1816)

Familia Toxopneustidae (Troschel, 1872)

Género *Lytechinus* A. Agassiz, 1863

18. *Lytechinus variegatus variegatus* (Lamarck, 1816)

19. *Lytechinus williamsi* Cheshier, 1968

Género *Tripneustes* L. Agassiz, 1841

20. *Tripneustes ventricosus* (Lamarck, 1816)

Orden Echinoidea Claus, 1876

Familia Echinometridae Gray, 1825

Género *Echinometra* Gray, 1825

21. *Echinometra lucunter* (Linnaeus, 1758)

22. *Echinometra viridis* A. Agassiz, 1863

CLASE HOLOTHUROIDEA

Orden Aspidochirotida Grube, 1840

Familia Stichopodidae Haeckel, 1896

Género *Isostichopus* Deichmann, 1958

23. *Isostichopus badionotus* (Selenka, 1867)

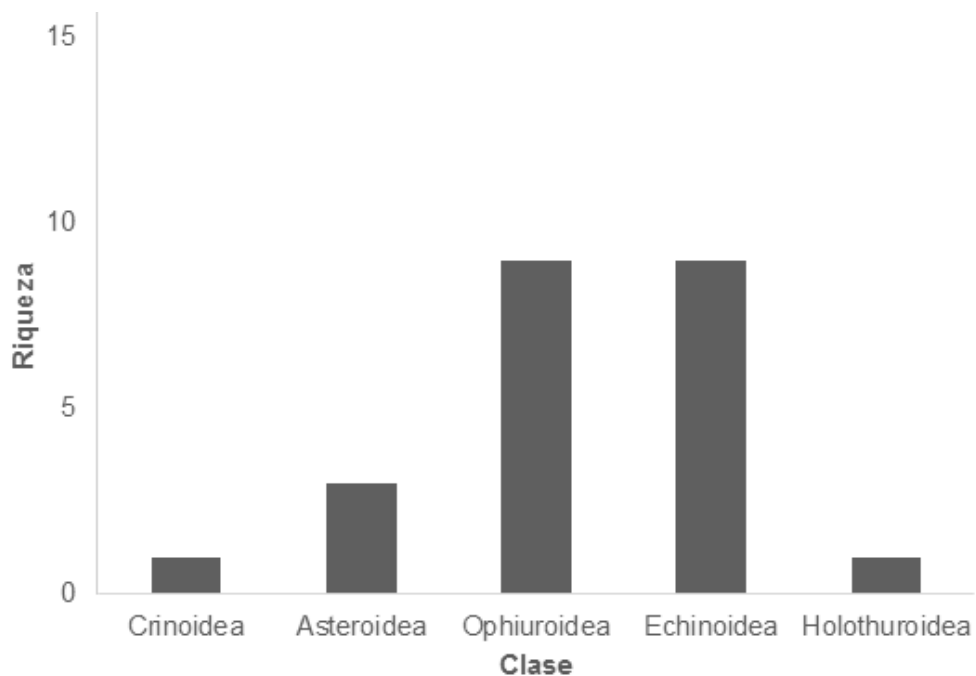


Figura 3. Número de especies de equinodermos por clase en los arrecifes Pantepec y Tuxpan, Veracruz.

A continuación se describen los nuevos registros para los arrecifes del norte de Veracruz:

Astrophyton muricatum (Lamarck, 1816)



Figura 4. *Astrophyton muricatum* en el arrecife Pantepec, Veracruz. Fotografía: Vicencio De La Cruz, 2016.

Material examinado. Se observó un ejemplar en el arrecife Pantepec a una profundidad de 20 m, sobre sustrato rocoso.

Descripción. Los individuos más grandes tienen discos de 70 mm de diámetro y brazos ramificados que llegan a medir más de 1 m de punta a punta (Tommasi, 1970). El disco y los brazos están cubiertos con gránulos aplanados, estrechamente amontonados. Presenta grupos de ganchos microscópicos cerca de la base del brazo, la cresta del gancho cubre la superficie dorsal de cada segmento distal del brazo. Con dos a tres espinas en los brazos articuladas más allá de la segunda bifurcación. Presenta tubérculos con gránulos libres distribuidos irregularmente sobre los escudos radiales y la superficie dorsal de la parte proximal del brazo. Cada uno de los cinco brazos posee dos ramas

locomotoras gruesas y dos ramas delgadas alargadas para alimentación. Las ramas externas son desiguales con una bifurcación gruesa central y otras delgadas laterales dispuestas alternamente en el brazo. La coloración de los tubérculos es bandeada en blanco y amarillo con el disco rojizo o café. Los adultos son de color negro, café, café-amarillo, verde, naranja-amarillo, gris claro o blanco sucio (Hendler *et al.*, 1995).

Hábitat: Esta especie se localiza desde los 2 hasta los 70m de profundidad, pero prefiere las zonas profundas arrecifales y se asocia con varias especies de esponjas, corales de fuego, corales pétreos, gorgonias o con el sustrato rocoso (Hendler *et al.*, 1995).

Distribución. Carolina del Norte a los Cayos de Florida y el Golfo de México, las Islas Bahamas, Cuba, Jamaica, Haití, Puerto Rico, las Islas Vírgenes, Barbados, Curazao y las costas continentales de América Central y del Sur a Brasil. También se ha reportado para Tenerife (Hendler *et al.*, 1995).

Astropyga magnifica A. H. Clark, 1934



Figura 5. *Astropyga magnifica* en el arrecife Tuxpan, Veracruz. Fotografía: Jimmy Arguelles, 2016.

Material examinado. Se observó un ejemplar en el arrecife Tuxpan en la pendiente de sotavento a 12 m de profundidad.

Descripción: Este erizo comparte rasgos morfológicos con *Diadema antillarum*, tiene una testa flexible de hasta 20 cm de diámetro, es aplanada con tubérculos crenulados y perforados. Las espinas rellenas de calcita, son largas, delgadas y frágiles. Las áreas interambulacrales de la testa están desnudas en la parte superior. Las espinas bandeadas de color café rojizo y blanco amarillento. Las áreas desnudas de la testa color amarillo-dorado y los ambulacros de color café bordeados por hileras de puntos azules iridiscentes. El cono anal inflado es blanco azulado, con un anillo periférico café y el ano café oscuro, cuando se ve desde arriba, el cono parece un ojo de buey (Hendler *et al.*, 1995).

Hábitat. Esta especie ha sido reportada en terrazas de arena en barlovento del arrecife Cayo Largo, Florida, en arenas algales, carbonatadas, restos de conchas y afloramientos de piedra caliza, a profundidades de 11 a 88 m (Hendler *et al.*, 1995).

Distribución. Se distribuye desde Carolina del Sur y el sureste del Golfo de México hasta las Antillas, Colombia, Venezuela y Surinam (Hendler *et al.*, 1995).

6.1 Estimadores Comunitarios

La riqueza general de equinodermos determinada en los arrecifes Pantepec y Tuxpan fue de 23 especies, 17 para el primero y 21 para el segundo, aunque el promedio de riqueza es ligeramente mayor en el Pantepec. A escala de zonas arrecifales, se observó una mayor riqueza total en la planicie del sistema Tuxpan (18 especies) mientras que el valor más bajo corresponde a la cresta arrecifal (8 especies). Al considerar el promedio, se observa una mayor riqueza en la pendiente de sotavento del arrecife Tuxpan. A nivel de hábitats, el estrato de 15 a 20 m del arrecife Pantepec mostró la mayor riqueza total (16 especies) pero el promedio es mayor en la pendiente de sotavento de la formación Tuxpan (Cuadro 2).

Cuadro 2. Riqueza de especies con respecto a las zonas, hábitats y estratos de profundidad en los arrecifes Pantepec y Tuxpan.

Arrecife			Zonas		Hábitats y estratos			
Riqueza	Riqueza promedio		Riqueza	Riqueza promedio		Riqueza	Riqueza promedio	
Tuxpan	21	10±4	Planicie	18	5±2	Pedacería	10	6±1
						Pastos marinos	9	6±1
						Promontorios	6	3±1
			Cresta	8	6±1	Barlovento	7	6±1
						Sotavento	8	5±1
			Pendiente barlovento	14	5±1	0-5m	10	5±1
						5-10m	8	5±1
						10-15m	7	5±1
						15-20m	7	5±1
						20-25m	11	6±2
Pendiente sotavento	15	9±2	0-5m	11	8±1			
			5-10m	10	9±1			
			10-15m	10	11±1			
			15-20m	9	11±1			
			20-25m	9	6±1			
Pantepec	17	15±4				15-20m	16	3±1
						20-25m	10	4±1

Los muestreos realizados en los sistemas Pantepec y Tuxpan representan el 94.4 % y 95.5 % de la riqueza de equinodermos respectivamente de acuerdo con los estimadores Chao 1, Jack 1 y Bootstrap. El número de especies que se pueden observar tiene un máximo de 18 para el Pantepec y 22 para el Tuxpan (Figuras 6 y 7).

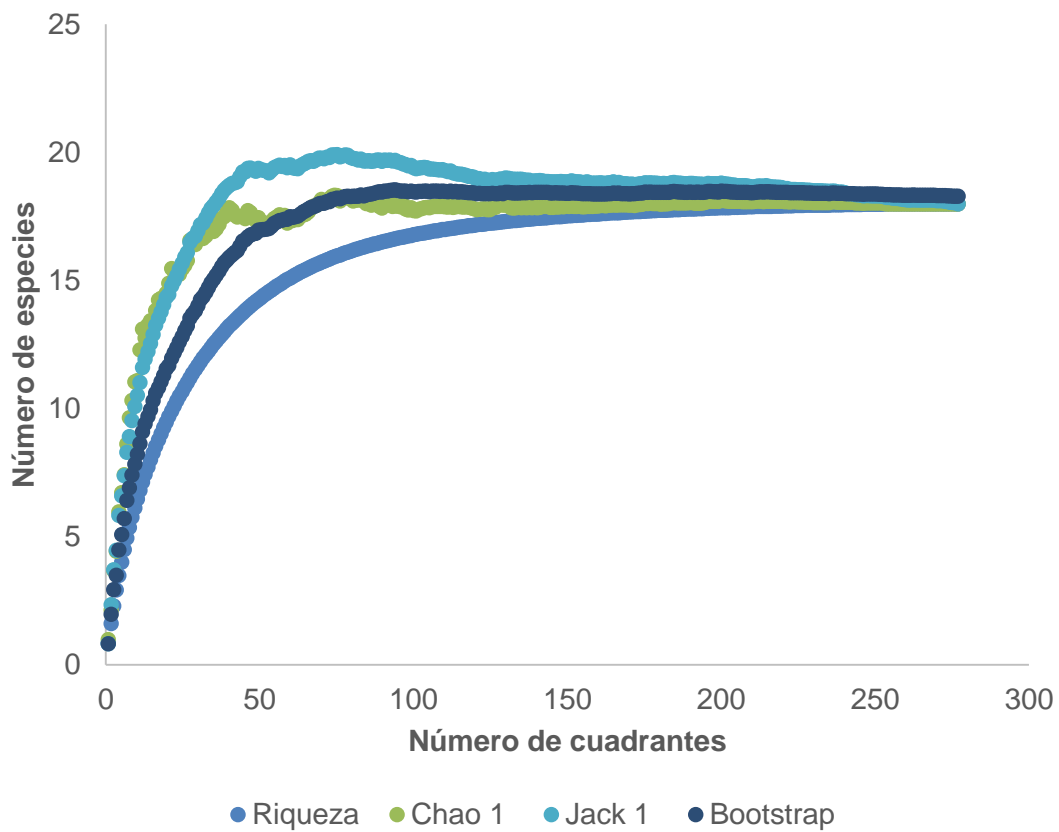


Figura 6. Curva de acumulación de especies observadas en el arrecife Pantepec.

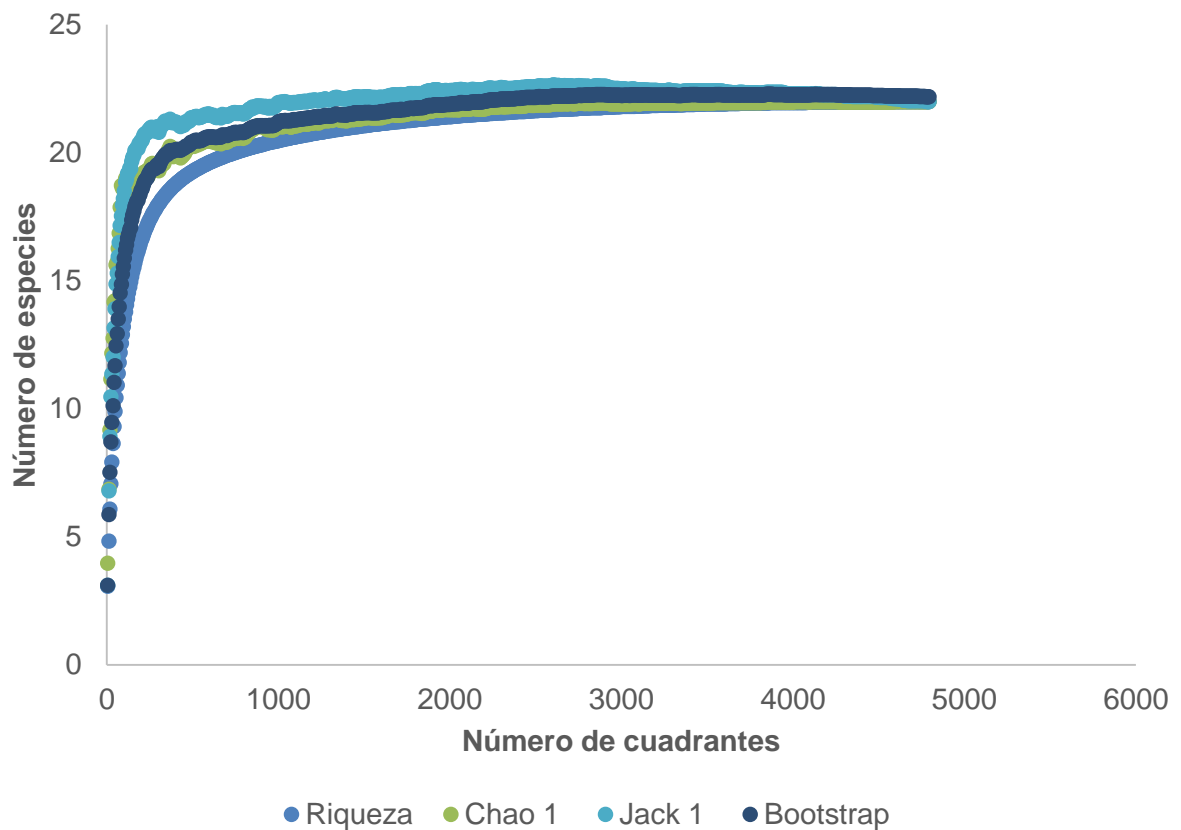


Figura 7. Curva de acumulación de especies observadas en el arrecife Tuxpan.

Se cuantificaron en total 6,446 equinodermos, 1846 para el Pantepec y 4600 para el Tuxpan con un promedio de abundancia más alto para el segundo arrecife. A escala de zonas, en el arrecife Tuxpan, se determinó una mayor abundancia promedio en la cresta arrecifal (63 ± 15) y la menor en la laguna arrecifal (20 ± 10). El análisis a escala de ambientes, indica que el estrato de 10 a 15 m (71 ± 20) y la cresta de sotavento (70 ± 12) presentan la abundancia promedio mayor en contraste, las capas de 20 a 25 m (11 ± 6) y 0 a 5 m (14 ± 5) en la pendiente de barlovento presentaron los valores promedio más bajos. Por su parte, los estratos someros del arrecife Pantepec presentaron los valores de abundancia promedio más altos (42 ± 8) (Cuadro 3).

Los índices de equidad (Shannon y Pielou) son más altos en el Pantepec ($H' = 2.335$; $j = 0.824$) que en el Tuxpan ($H' = 1.703$; $j = 0.5594$). En contraste, el índice de dominancia es mayor en el Tuxpan ($\lambda = 0.2522$) con respecto al Pantepec ($\lambda = 0.1407$). A escala de zonas, el arrecife Tuxpan, presentó los valores de equidad mayores en la planicie ($H' = 1.85$; $j = 0.65$) y los menores en la cresta ($H' = 1.05$; $j = 0.47$) que contrastan con la dominancia, mayor en la cresta ($\lambda = 0.53$) y menor en la pendiente de barlovento ($\lambda = 0.23$). Los estratos de profundidad del arrecife Pantepec, muestran una mayor equidad en la capa de 15 a 20 m ($H' = 2.45$; $j = 0.88$) comparada con el estrato de 20 a 25 m ($H' = 1.78$; $j = 0.77$) y al contrario, la dominancia es menor en esta capa ($\lambda = 0.22$) con relación a la de 15 a 20 m ($\lambda = 0.11$). En el cuadro 3 se resume la información.

Cuadro 3. Abundancia e índices de especies con respecto a las zonas, hábitats y estratos de profundidad en los arrecifes Pantepec y Tuxpan.

Arrecife		Zonas					Hábitats y estratos							
N	N media	N	N media	H'	J'	D'	N	N media	H'	J'	D'			
Tuxpan	4,600	1,150±835	Planicie	355	20±10	1.85±0.37	0.65±0.10	0.28±0.13	Pedacería	119	19±6	1.60±0.37	0.69±0.11	0.29±0.11
									Pastos marinos	183	31±5	1.49±0.38	0.68±0.11	0.35±0.11
									Promontorios	53	9±5	2.04±0.39	0.88±0.12	0.16±0.12
			Cresta	752	63±15	1.05±0.34	0.47±0.09	0.53±0.15	Barlovento	330	55±14	1.09±0.38	0.52±0.11	0.50±0.12
									Sotavento	422	70±12	0.96±0.38	0.49±0.10	0.57±0.11
			Pendiente barlovento	1,203	23±20	1.27±0.32	0.64±0.12	0.23±0.07	0-5m	162	14±5	1.67±0.36	0.69±0.10	0.26±0.08
									5-10m	280	23±8	1.52±0.38	0.66±0.10	0.29±0.08
									10-15m	525	58±22	1.55±0.40	0.67±0.11	0.27±0.09
									15-20m	141	16±5	1.64±0.42	0.74±0.11	0.23±0.09
									20-25m	95	11±6	1.44±0.45	0.65±0.12	0.31±0.10
			Pendiente sotavento	2,290	45±20	1.74±0.40	0.45±0.13	0.34±0.04	0-5m	471	52±10	1.14±0.48	0.49±0.13	0.44±0.11
									5-10m	609	51±11	1.14±0.50	0.54±0.12	0.38±0.10
									10-15m	637	71±20	1.14±0.50	0.59±0.11	0.37±0.09
									15-20m	331	28±5	1.31±0.48	0.67±0.10	0.30±0.08
									20-25m	242	27±6	1.61±0.44	0.67±0.10	0.26±0.07
Pantepec	1,846	36±15				15-20m	1,087	42±8	2.45±0.47	0.88±0.07	0.11±0.08			
						20-25m	759	30±16	1.78±0.45	0.77±0.07	0.22±0.11			

Las faunas de equinodermos de los arrecifes Pantepec y Tuxpan son muy parecidas entre sí. El índice de Jaccard indica una semejanza del 74 % y el de Bray-Curtis de 64 %. A escala de zonas arrecifales, según los índices de Jaccard y de Bray-Curtis, aquellas consideradas en el arrecife Tuxpan, se dividen en dos grupos, las que corresponden a las pendientes y las de la planicie arrecifal (Figuras 8 y 9).

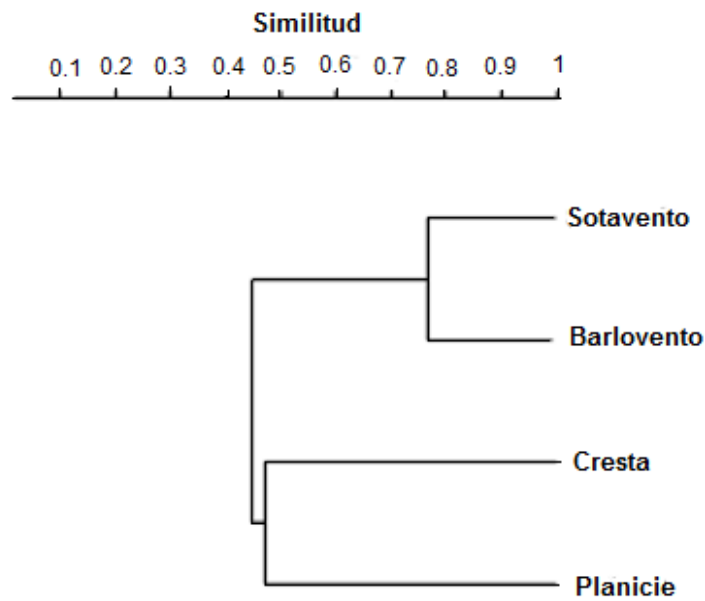


Figura 8. Índice de similitud de Jaccard aplicada a las zonas arrecifales del arrecife Tuxpan.

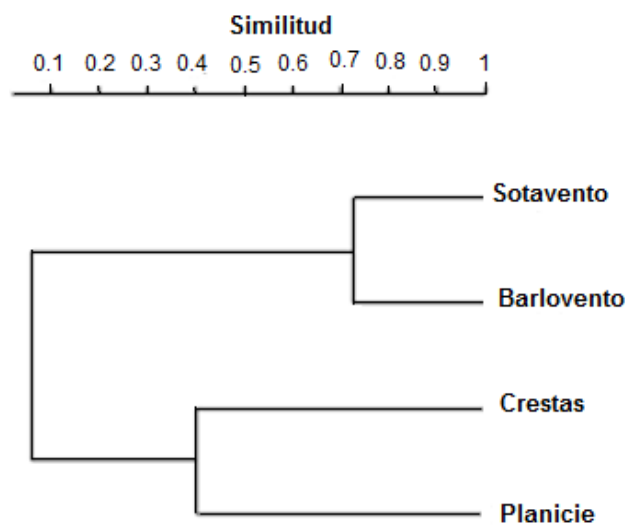


Figura 9. Índice de similitud de Bray-Curtis aplicada a las zonas arrecifales del arrecife Tuxpan

Por su parte, la comparación de los ambientes del arrecife Tuxpan, con el índice de Jaccard define que, las zonas menores a 5 m de profundidad forman un grupo separado de las zonas con más de 5 m de profundidad y de los promontorios (Figura 10). Este patrón es más claro al utilizar el índice de Bray Curtis, donde se forma un grupo para las pendientes y otro que reúne a los ambientes localizados en la planicie arrecifal (Figura 11).

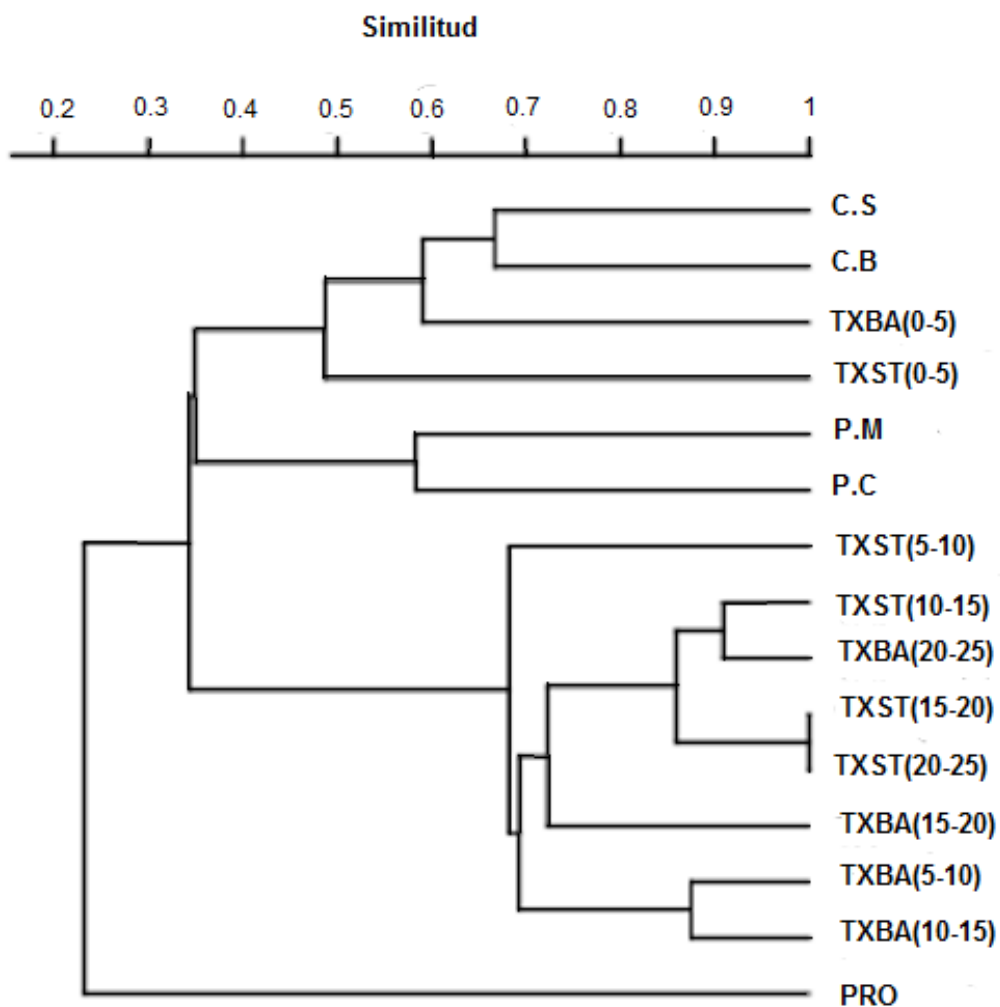


Figura 10. Análisis de similitud de Jaccard aplicado a los ambientes del arrecife Tuxpan; Tuxpan sotavento (TXST), Tuxpan barlovento (TXBA), cresta de sotavento (C.S), cresta de barlovento (C.B), pedacera de coral (P.C), pastos marinos (P.M) y promontorios (PRO), los números entre paréntesis indican los estratos de profundidad.

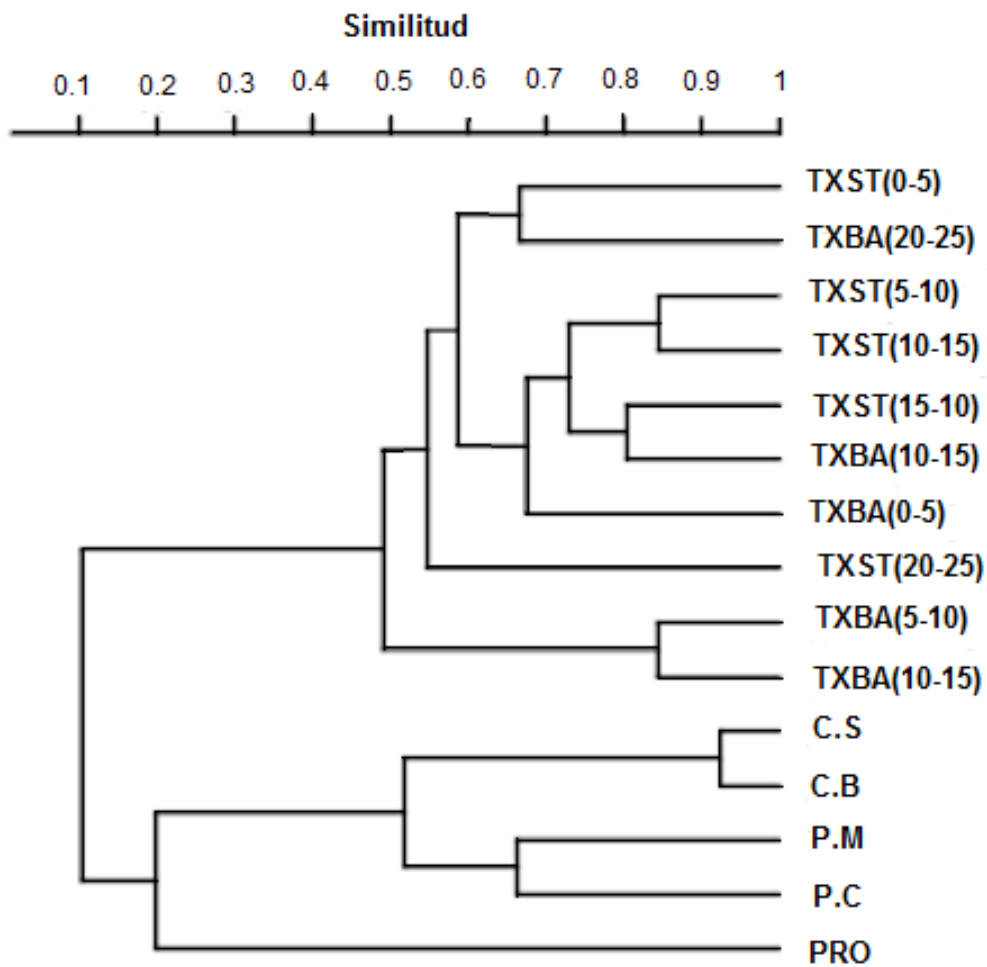


Figura 11. Análisis de similitud de Bray-Curtis aplicado a os ambientes del arrecife Tuxpan; Tuxpan sotavento (TXST), Tuxpan barlovento (TXBA), cresta de sotavento (C.S), cresta de barlovento (C.B), pedacería de coral (P.C), pastos marinos (P.M) y promontorios (PRO), los números entre paréntesis indican los estratos de profundidad.

La similitud de la fauna de equinodermos en el sistema Pantepec es muy alta, de acuerdo con Jaccard es de 88 % (Figura 12) y con el de Bray-Curtis se determinó un 73% de semejanza (Figura 13).

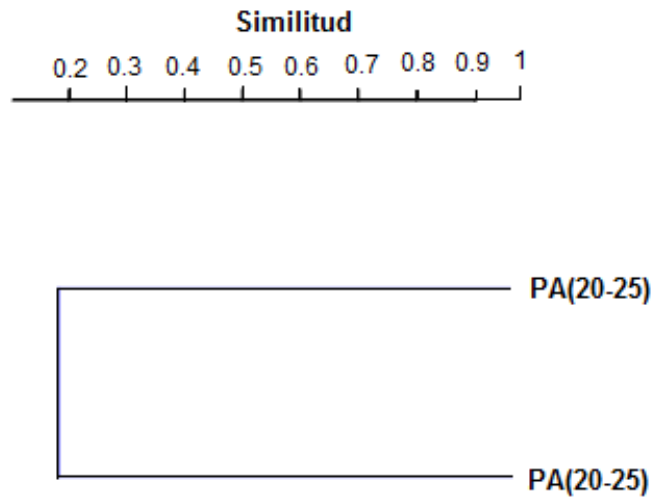


Figura 12. Índice de similitud de Jaccard aplicada a las zonas arrecifales del arrecife Pantepec.

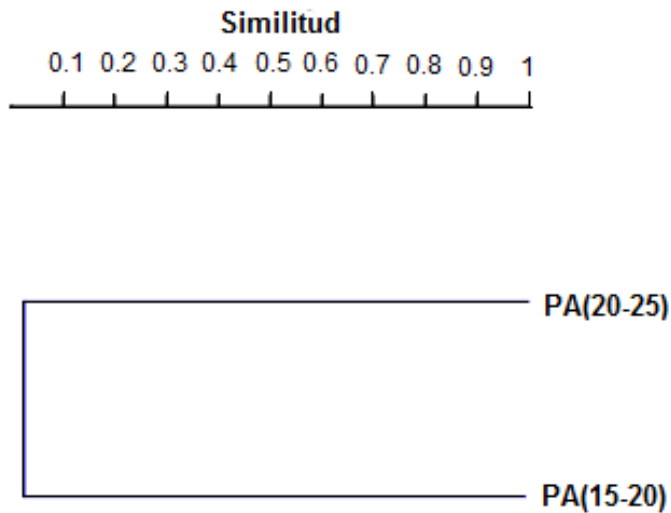


Figura 13. Índice de similitud de Bray-Curtis aplicada a las zonas arrecifales del arrecife Pantepec.

El Análisis non-metric Multi Dimensional Scaling (nMDS) aplicado a las zonas y ambientes del arrecife Tuxpan, corrobora el patrón definido anteriormente. Las zonas someras separadas de las pendientes dadas sus diferencias en la composición y abundancia (Figura 14). El ANOSIM indica la existencia de diferencias significativas ($p= 0.0014$) en las comunidades equinodermos a esta escala.

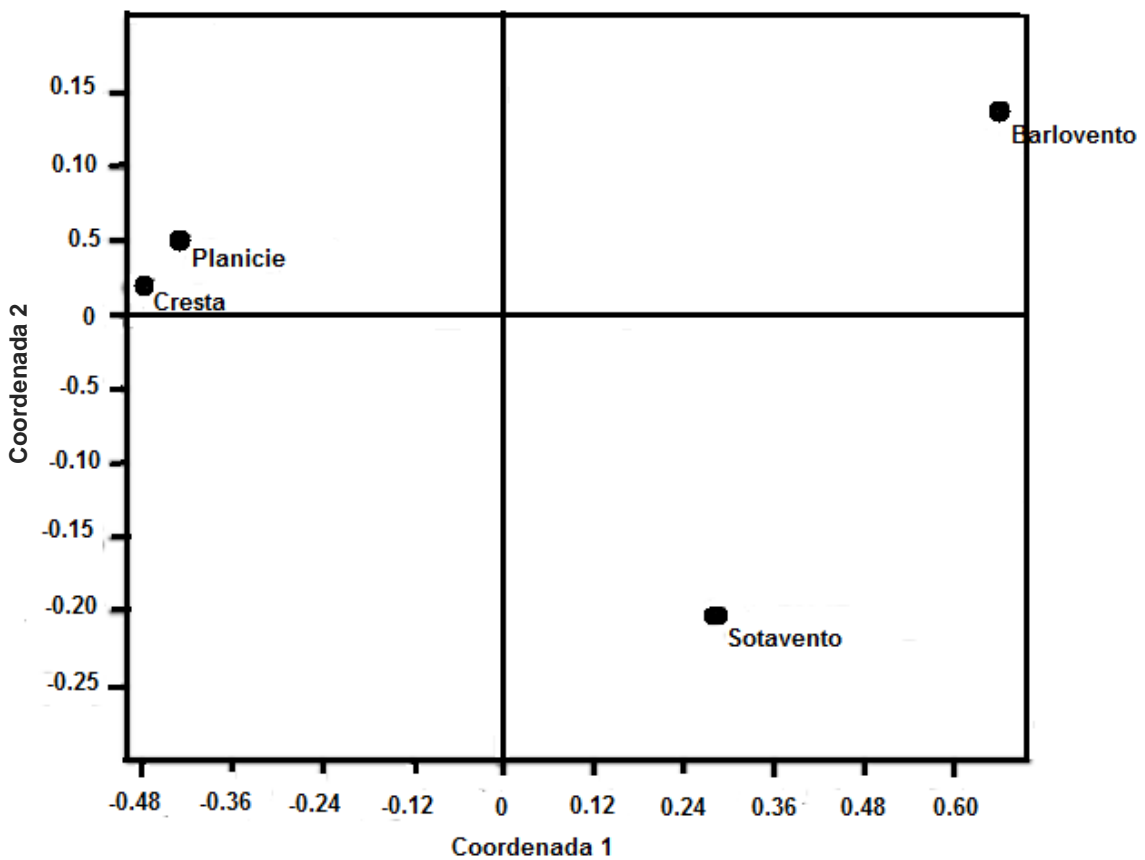


Figura 14. Análisis de escalamiento multidimensional aplicado a las zonas de muestreo en el arrecife Tuxpan.

EL NMDS a escala de ambientes considerando los dos arrecifes y los estratos de profundidad parecidos, permite observar una agrupación de los estratos de 15 a 20 m profundidad con los de 20 a 25 m en ambos sistemas, no existiendo diferencias significativas ($p= 0.0512$) (Figura 15).

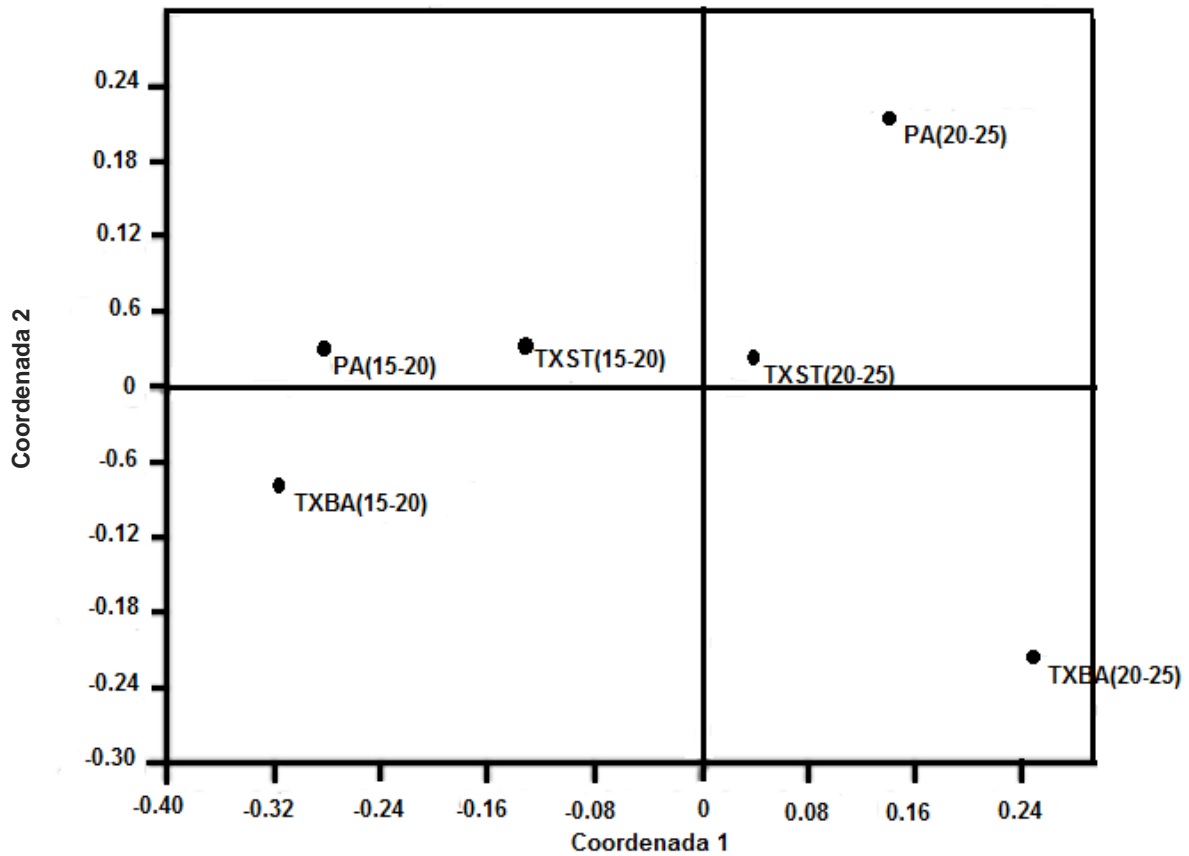


Figura 15. Análisis de escalamiento multidimensional aplicado a los estratos de profundidad en el arrecife Pantepec y Tuxpan; Pantepec (PA), Tuxpan sotavento (TXST), Tuxpan barlovento (TXBA), los números entre paréntesis indican los estratos de profundidad.

Cobertura del Sustrato

Los grupos morfofuncionales de los arrecifes Pantepec y Tuxpan son muy similares. En el primero, domina el grupo de roca, mientras que en el segundo la roca con macroalgas es más dominante. La cobertura coralina es ligeramente mayor en el arrecife Tuxpan y la cobertura de las esponjas en el Pantepec (Figura 16).

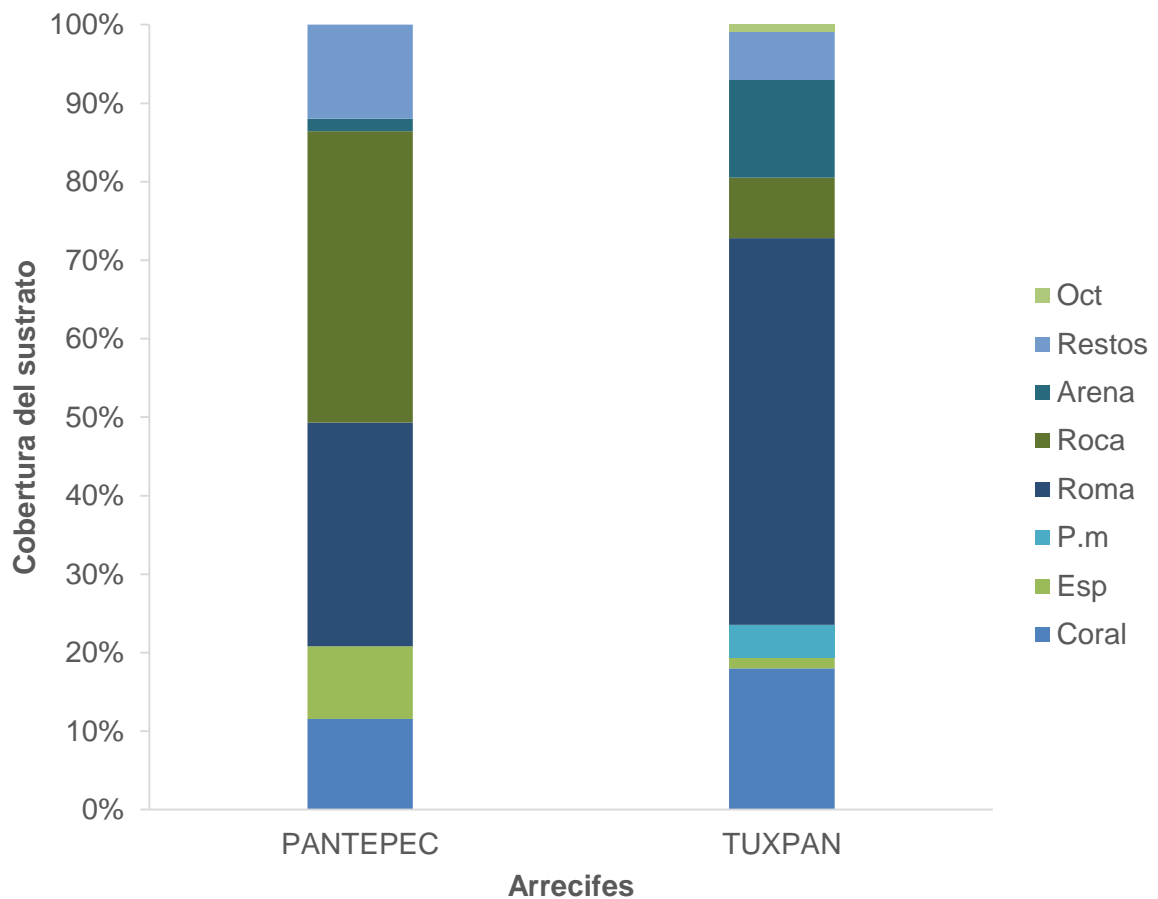


Figura 16. Diferencia entre el tipo de sustrato del arrecife Pantepec y Tuxpan; octocoral (Oct), restos de coral (Restos), roca con macroalgas (Roma), pastos marinos (P.m.) y esponjas (Esp).

El sustrato en el arrecife Pantepec es muy parecido en los dos estratos de profundidad, pero la cobertura coralina es ligeramente mayor en la capa de 15 a 20 m (Figura 17).

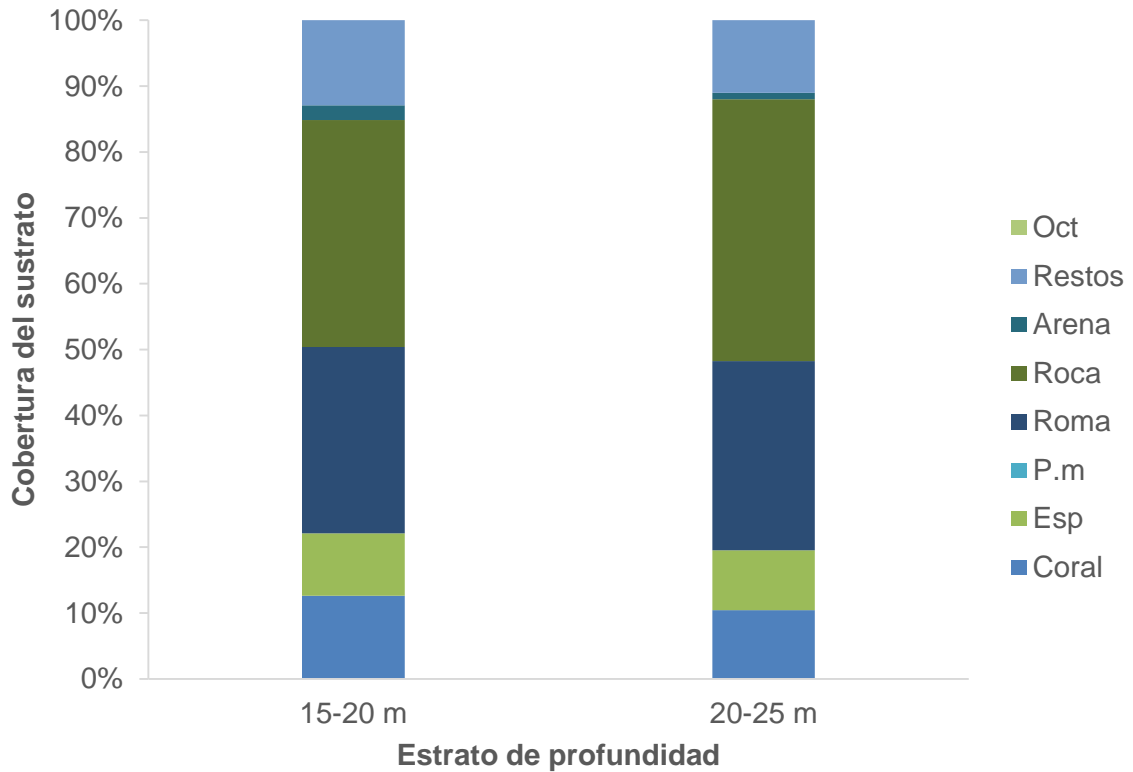


Figura 17. Cobertura por estrato de profundidad en el arrecife Pantepec; octocoral (Oct), restos de coral (Restos), roca con macroalgas (Roma), pastos marinos (P.m.) y esponjas (Esp).

El análisis del sustrato arrecifal del Tuxpan a escala de zonas muestra diferencias muy marcadas, en la planicie, donde es muy importante la cobertura de arena, padecería de coral y pastos marinos. En contraste la presencia de roca determina el principal atributo de la cresta, mientras que la roca con macroalgas así como la cobertura coralina caracterizan a las pendientes (Figura 18).

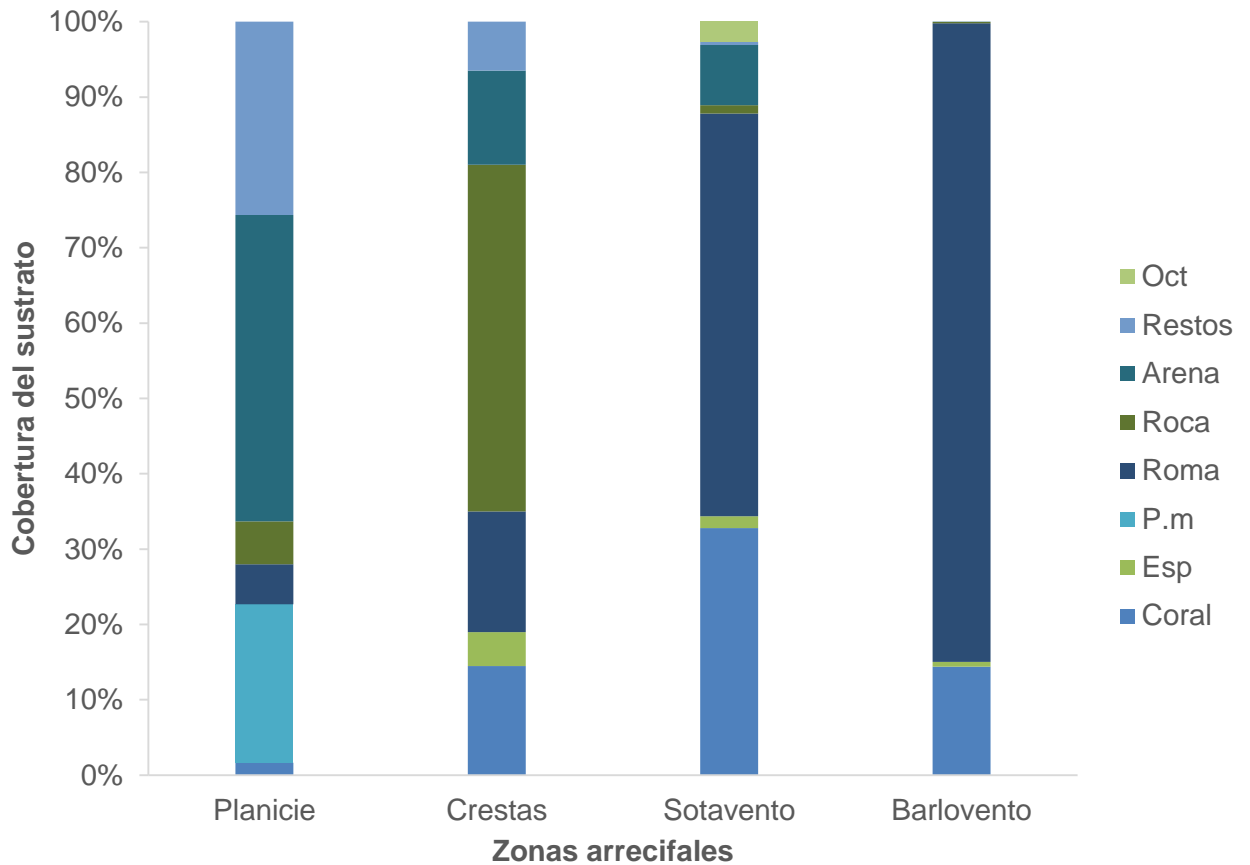


Figura 18. Cobertura del sustrato por zona en los arrecifes Tuxpan y Pantepec; octocoral (Oct), restos de coral (Restos), roca con macroalgas (Roma), pastos marinos (P.m.) y esponjas (Esp).

A escala de ambientes arrecifales, se observan grupos morfofuncionales que los tipifican, especialmente a aquellos ubicados en las zonas someras. De esta forma, pastos marinos y restos de coral caracterizan a esos ambientes, la roca a las crestas y la arena a promontorios. Los estratos de las pendientes presentan roca con macroalgas con diferentes proporciones así como una cobertura coralina diferencial, mayor en las capas menores a 15 m de sotavento (Figura 19).

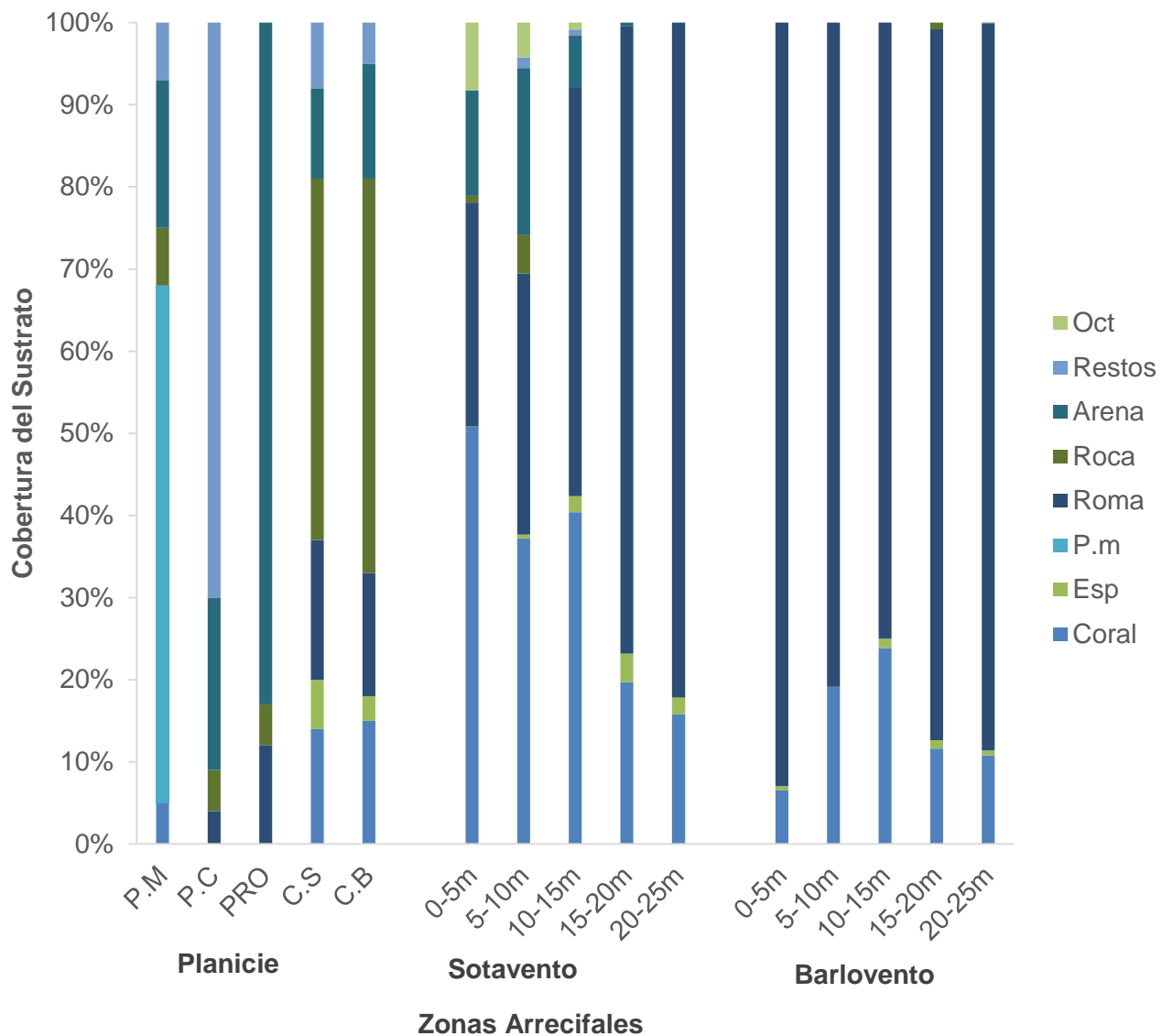


Figura 19. Cobertura del sustrato por ambiente en el arrecife Tuxpan; pastos marinos (P.M), pedacera de coral (P.C), promontorios (PRO), cresta de sotavento, (C.S), cresta de barlovento (C.B), octocoral (Oct), restos de coral (Restos), roca con macroalgas (Roma), pastos marinos (P.m.) y esponjas (Esp).

La presencia de roca con macroalgas no mostró relación con la riqueza de equinodermos ($r=0.065$; $F=0.06$, $p=0.8032$) pero sí con la abundancia ($r=0.51$; $F=5.28$; $p=0.0368$) aunque es una relación moderada, donde el modelo explica el 26.02 % de la variabilidad. Por otra parte, la cobertura coralina se relaciona con la riqueza de equinodermos, de acuerdo con el coeficiente de correlación de Spearman ($r=0.691$; $p=0.002$) pero no con la abundancia ($r=0.316$; $p=0.217$).

VII. DISCUSIÓN

Recientemente se han incluido nuevos registros de equinodermos para los arrecifes del norte de Veracruz, donde se incluyen a *Ophiolepis impressa*, *O. paucispina*, *Amphipholis* sp., *Amphiura stimpsoni* y *Amphiura* sp. (Vázquez, 2014); *Ophioblenna antillensis* (Solís-Marín *et al.*, 2015) y *Ophiomyxa flaccida* (Rubí, 2016) que aunados a las observaciones de *Astrophytum muricatum* en el Pantepec y *Astropyga magnifica* para el Tuxpan, hacen un total de 49 especies. Este valor de riqueza es muy parecido a lo referido para el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) (Solís-Marín *et al.*, 2007) y para el arrecife Alacranes (Hernández, 2011) donde se reportan 46 y 61 especies, respectivamente.

De manera particular, para el arrecife Tuxpan las 21 especies reportadas en este documento más las registradas por Barón (2007), Cruz (2013), Vázquez (2014), Avendaño (2015) y Reyes (2015) conforman una riqueza de 28 especies de equinodermos. Para el arrecife Pantepec, en el trabajo de Cortés (2014) efectuado en los arrecifes: Blake, Pantepec y Oro Verde se reportan seis especies de equinodermos, pero no es claro a cual sistema pertenecen. Considerando que todas esas especies están presentes en el Pantepec, el número total es de 19 para este sistema.

En general, los componentes de los arrecifes Pantepec y Tuxpan son muy parecidos, aunque en el segundo, posiblemente la presencia de áreas someras favorecen la heterogeneidad ambiental y una mayor riqueza (González-Gándara *et al.*, 2015). Por otra parte, a pesar de que los modelos no paramétricos indican

una suficiencia del muestreo en ambos sistemas, probablemente hay más especies dado que no se han incluido a las especies crípticas que viven asociadas a esponjas principalmente (Cruz, 2013, Avendaño, 2015).

La fauna de equinodermos en los bancos sumergidos oscila entre 7 y 24 especies y probablemente; los atributos ambientales, tales como dimensiones, profundidad mínima y grupos bentónicos característicos son determinantes. De esta forma, la baja riqueza en los arrecifes Madagascar en Campeche (14 especies) (Hernández, 2011) y Palo Seco (11 especies) y Tripie (siete especies) en Veracruz (Escarcega Quiroga, 2014; González-Gándara *et al.*, 2015) puede ser explicado por las dimensiones o por la turbidez provocada por el transporte de sedimentos del Río Coatzacoalcos en Palo Seco y Tripie (Salas-Pérez *et al.*, 2015). Otros sistemas con dimensiones mayores, como los arrecifes: Blake, Oro Verde y Serpiente presentan una composición de especies parecida (Hernández, 2011; Escarcega-Quiroga, 2014; Mendoza, 2014; González-Gándara *et al.*, 2015; Rubí, 2016) aunque contrastan en su turbidez, especialmente el Oro Verde que es más turbio (Maruri, 2012). Por otra parte, las variaciones en el número de especies, se atribuyen a las diferencias en el esfuerzo de muestreo, el cual debe ser reforzado, para detectar las especies que viven enterradas en la arena o como endobiontes de esponjas y otros grupos taxonómicos.

Al analizar los componentes por clase de equinodermos, dos son las más representativas en los sistemas del norte de Veracruz: la clase Ophiuroidea representada por 14 especies, explicado por la ocupación de los espacios en grietas, esponjas, algas (Calva, 2002; Cruz, 2013; De la Cruz, 2013; Vázquez,

2014; Avendaño, 2015, Rubí, 2016); y la clase Echinoidea, que está muy bien representada en todos los arrecifes del norte de Veracruz (Cárdenas, 2010; Acosta, 2010; De la Cruz, 2013; González-Gándara *et al.*, 2015; Morales-Quijano, 2015), particularmente en los emergentes, donde al parecer la disponibilidad de alimento y las características del sustrato son importantes. La diversidad de ambientes favorece la presencia de equinodermos, debido a que presentan diversos hábitos alimenticios que incluyen adaptaciones en sus estructuras digestivas (Hendler *et al.*, 1995). De esta forma, los detritívoros son comunes en las áreas de arenales, los que se alimentan de macroalgas en las zonas de restos, roca y corales, mientras que los que se nutren de invertebrados son más comunes en las zonas coralinas.

La abundancia es uno de los atributos importantes en la estructura comunitaria (González-Gándara *et al.*, 2015), el número de individuos contabilizados, 4,600 en el Tuxpan y 1,846 en el Pantepec marcan diferencias muy claras entre arrecifes, la mayor densidad promedio (5.6 ind/m^2) para el primer arrecife contrasta con la del segundo (1.79 ind/m^2) y parece ser un reflejo de la mayor heterogeneidad ambiental del arrecife Tuxpan, en donde existen ambientes con pastos marinos, algas del género *Halimeda*, restos de coral entre otros, los cuales marcan diferencias en la riqueza, pero especialmente en la abundancia. En este sentido, Cintra *et al.* (1998), Laguarda-Figueras (2001) y Hernández (2011), exponen que las diferencias en la distribución de los equinodermos está determinada por factores ambientales tales como: la salinidad, la temperatura, el tipo de sustrato y la profundidad. Un patrón parecido ha sido documentado para

los equinodermos del suroeste del Golfo de México, donde el sustrato y la profundidad definen las asociaciones entre ellos (Vázquez-Bader *et al.* 2008).

Las diferencias en la abundancia de equinodermos a escala de zonas arrecifales son más evidentes en el arrecife Tuxpan, dado que estas zonas presentan rasgos diferenciales de profundidad, sedimentos y dinámica del oleaje. La destacada abundancia de equinodermos, en la planicie, particularmente de equinoideos, ha sido documentada para el arrecife Lobos (Acosta, 2010; De la Cruz, 2013), Tanhuijo (Cruz, 2013) y Tuxpan (Barón, 2007; Reyes, 2015) en la zona costera el norte de Veracruz y para el arrecife Sacrificios (Celaya-Hernández *et al.*, 2007) en el SAV. Por otra parte, la profundidad, también juega un papel importante en la distribución y abundancia de equinodermos (Vázquez-Bader *et al.* 2008) se ha observado que las zonas más profundas manifiestan una menor abundancia especialmente de equinoideos, sin embargo, los crinoideos son más abundantes en estas áreas. Los equinoideos presentan patrones de abundancia bien documentados. En general, las zonas profundas mayores a 15 m presentan una menor abundancia (Acosta, 2010; Cruz, 2013; Calle, 2014), lo cual puede ser atribuido a una mayor presencia de depredadores como los peces o al decrecimiento en la penetración de luz (Steneck, 1983; Lewis, 1986; Morrison 1988; McClanahan y Muthiga, 1989).

Los ambientes arrecifales se caracterizan por grupos taxonómicos típicos (*Thalassia testudinum* en el ambiente de pastos marinos) o un sustrato (roca en el ambiente de cresta) y esto influye tanto en la composición como en la

abundancia de equinodermos. De esta forma, en el hábitat de pastos marinos, son más abundantes: *Tripneustes ventricosus* y *Lytechinus variegatus* (Reyes, 2015) y en contraste, en el ambiente de cresta abundan: *Echinometra lucunter* y *Eucidaris tribuloides* (Blanco *et al.*, 2011; Cruz, 2013; Reyes, 2015). La exclusividad de *T. ventricosus* y *L. variegatus* en *Thalassia testudinum* se explica porque estas especies se alimentan de las hojas de pasto marino (Hendler *et al.*, 1995; Bolaños *et al.*, 2005; Reyes, 2015). Por otra parte, los restos de coral ofrecen refugio para algunos ofiuroideos como *Ophiocoma echinata* y *Linckia guildingii*. En el arrecife Pantepec, la profundidad define una mayor abundancia en las zonas menores a 20 m, lo cual parece tener una explicación en la disponibilidad de alimento (Cruz, 2015; Rubí, 2016).

La clase Echinoidea presenta patrones de abundancia diferencial a escala de ambientes, lo cual es muy evidente tanto en los hábitats someros (p. e. restos de coral) como en los profundos. Varios factores participan en esas diferencias. Por ejemplo, la profundidad que está asociada a la penetración de luz que favorece el florecimiento de macroalgas. En ese sentido, Cho y Woodley (2000) han relacionado la presencia de *Diadema antillarum* con la mayor abundancia de macroalgas. A medida que incrementan la profundidad, la cobertura coralina disminuye y al parecer se relaciona con una menor abundancia de erizos (Acosta, 2010; Cruz, 2013). Algunos autores han relacionado la abundancia de equinodermos con la presencia de depredadores naturales (De la Cruz, 2013). Una de las especies dominantes en los ambientes someros de los arrecifes veracruzanos es *Echinometra lucunter*, mientras que *E. viridis* domina las zonas profundas (Acosta, 2010; Cruz, 2013; Celaya-Hernández *et al.*, 2008).

Las comunidades de equinodermos tienden a ser más dominantes que equitativos en las distintas zonas y ambientes de los arrecifes Tuxpan y Pantepec; esto es resultado de la adaptación de las especies a los factores ambientales de los arrecifes. A escala de arrecifes, los valores más altos en los promedios de los índices calculados en el Pantepec, pueden indicar una mayor estabilidad y homogeneidad ambiental que es más notable en la zona entre 15 y 20m de profundidad. A escala de zonas en el arrecife Tuxpan, la equidad muestra contrastes muy claros, las partes someras con alta dominancia de *Echinometra lucunter* y *Linckia guindilgii* entre otras disminuyen en la equidad. Los valores de los índices de equidad (Shannon y equitatividad) en los sistemas del norte de Veracruz son bajos (entre 1 y 2 nats y entre 0.28 y 0.53) pero ligeramente mayores a los determinados por Hernández (2011) en arrecifes de Campeche y Yucatán, donde se calcularon valores de H' , menores a 0.25 nats y de J menores a 0.14, lo cual parece indicar que existen especies dominantes en general.

Echinometra lucunter es una especie típica de las zonas someras y particularmente a las crestas arrecifales (Barón, 2007, Celaya Hernández *et al.*, 2007; Acosta, 2010, Cruz, 2013, Reyes, 2016) debido a sus preferencias por el oleaje intenso, así como por la disponibilidad de macroalgas. Los valores de los índices de Shannon y equitatividad, son mayores en la planicie y en la pendiente de barlovento en el arrecife Tuxpan. Por otra parte, el índice de dominancia es más alto y es debido a la abundancia de *E. lucunter* en las crestas y de *E. viridis* en la pendiente. Este patrón ha sido documentado para los arrecifes Lobos (Acosta, 2010) y Tanhuijo (Cruz, 2013).

A nivel de ambientes en el arrecife Tuxpan, los contrastes en los valores de los índices de dominancia y equidad son más evidentes, dado que existen ambientes como el de pastos marinos, pedacera y promontorios con una equidad alta y las crestas así como los estratos de 5 a 10 m en barlovento con una alta dominancia (Cuadro 3). Los trabajos de Barón (2007) y Reyes (2015) coinciden con estas tendencias en general para la planicie del arrecife Tuxpan y son explicadas por la disponibilidad de alimento.

En los ambientes del Pantepec, los valores de los índices fueron más altos en las zonas de 15 a 20 m de profundidad y esto parece tener relación con la penetración de luz y los florecimientos de macroalgas, las cuales requieren de luz y las dimensiones de sus poblaciones influyen en los equinodermos, particularmente en los equinoideos que se alimentan principalmente de esas macroalgas (Borrero-Pérez *et al.*, 2012). Por otra parte, la ausencia en el arrecife Pantepec de especies como *Lytechinus variegatus* y *Tripneustes ventricosus* es debido a que estas especies son típicas de las áreas someras de arrecifes emergentes con presencia de *Thalassia testudinum* (Watts *et al.*, 2013) como lo es el caso de los arrecifes Tuxpan y Lobos (Acosta, 2010; González-Gándara *et al.*, 2015).

Las comunidades de equinodermos en los arrecifes Pantepec y Tuxpan, de acuerdo a los índices de similitud de Jaccard y Bray Curtis son muy parecidas especialmente en sus composición; esto puede deberse a la cercanía entre ambos arrecifes que permite que las larvas se distribuyan por de las corrientes

marinas que fluyen de norte a sur en la época de nortes y de sur a norte en verano (Sánchez-Díaz y Salas Pérez, 2012). Las diferencias entre los sistemas están definidas por la abundancia, donde el sustrato y sus atributos son los responsables.

A escala de zonas arrecifales, tanto en el cluster como en el NMDS, los contrastes son muy evidentes entre las zonas someras y las pendientes arrecifales, tal como lo han referido Acosta (2010), Cruz (2013), De la Cruz (2013) para los arrecifes Lobos y Tanhuijo, lo cual es resultado de la dominancia de *Echinometra lucunter* en las zonas someras y de *E. viridis* en las profundas. Finalmente, a escala de ambientes, los contrastes en los componentes y la abundancia reúnen a los ambientes de zonas someras, como crestas, pastos marinos y promontorios, donde dominan *E. lucunter*, *Linckia guildingi*, *Tripneustes ventricosus* y *Lytechinus variegatus*. En contraste, las pendientes caracterizadas por *E. viridis*, *Eucidaris tribuloides*, *Lytechinus williamsi* y *Davidaster rubiginosus* forman otro grupo separado. Estas asociaciones se relacionan especialmente con las características del sustrato especialmente (Cruz, 2013; De la Cruz, 2013) y con la dominancia de algas turf (Maruri, 2012; Cortes, 2014). Los ambientes del arrecife Pantepec son homogéneos, pero la profundidad parece ser determinante en la mayor abundancia de equinodermos en la zona menos profunda.

Los atributos del sustrato de los arrecifes Pantepec y Tuxpan son contrastantes, especialmente en el segundo, donde hay grupos taxonómicos y sustratos únicos, como es el caso de los pastos marinos y los restos de corales, además de las

crestas caracterizadas por un oleaje intenso que define las comunidades de macroalgas e invertebrados y por tanto la fauna de equinodermos asociada. Aunque los mismos grupos morfofuncionales (coral, esponja, macroalgas, coral muerto, roca y arena) caracterizan a ambos arrecifes, sus proporciones son diferentes y los factores abióticos tales como: la geomorfología, la profundidad, la dirección e intensidad de las corrientes, el oleaje, la sedimentación, la iluminación, así como las características de las especies presentes y particularmente de las especies dominantes, parecen ser los determinantes de las características de la cobertura del sustrato (Martos, 2010; Maruri, 2012; Freeman *et al.*, 2013).

El estudio de las comunidades marinas, particularmente la de equinodermos debe realizarse mediante un enfoque ecológico, especialmente porque esta comunidad participa en el ciclo de carbonatos (Lebrato *et al.*, 2010) y son agentes bioerosivos muy importantes en los arrecifes coralinos (Appana y Vuki, 2003; Steneck, 2013). Además de que los equinodermos funcionan como controladores de las comunidades de algas (Muthiga y McClanahan, 2003; Guzmán y Cortés, 2007), principales competidores por espacio con los corales escleractinios. Además su actividad produce nuevos ambientes para el establecimiento de otras comunidades de invertebrados (Ortega *et al.*, 2009).

VIII. CONCLUSIONES

La fauna de equinodermos presente en los arrecifes Pantepec y Tuxpan se representa por 23 especies, 17 géneros y 14 familias incluyendo dos nuevos registros para la zona costera norte de Veracruz *Astrophytum muricatum* y *Astropyga magnifica*.

La mayor riqueza y abundancia de equinodermos se presentó en el arrecife Tuxpan con respecto al arrecife Pantepec, resultado de las diferencias ambientales entre ambos arrecifes *Echinometra lucunter* fue más abundante en las zonas someras y *E. viridis* en las profundas.

Los valores de los índices de equidad y dominancia del arrecife Tuxpan contrastan con los del arrecife Pantepec, debido a la mayor heterogeneidad ambiental del arrecife Tuxpan que favorece la dominancia de *E. lucunter* en los ambientes someros y de *E. viridis* en los profundos.

La fauna de equinodermos en los arrecifes Tuxpan y Pantepec, es en general muy parecida, pero muestra diferencias a escala de zonas y ambientes arrecifales.

El sustrato es más heterogéneo en el arrecife Tuxpan con respecto al Pantepec, donde la profundidad es un factor determinante.

IX. APLICACIÓN PRÁCTICA DEL TRABAJO

La información que se obtuvo en este trabajo de investigación es una herramienta clave, ya que para llevar a cabo programas de protección al medio marino, los datos de la composición, distribución y abundancia permitirán definir estrategias para el manejo y la restauración del Área Natural Protegida (ANP), especialmente porque especies como *Diadema antillarum* presenta valores de abundancia muy bajos. Ante esto, es necesario hacer estudios ecológicos y poblacionales de *D. antillarum* y buscar estrategias para la recuperación de sus poblaciones

Este trabajo enriquece el conocimiento de equinodermos para la zona costera de Veracruz. Las diferencias detectadas en la riqueza específica y la abundancia, que se relacionan con las características de cada formación, zona y ambiente arrecifal son muy importantes para señalar o reforzar las diferentes funcionalidades de la zonación propuesta en el plan de manejo. Por ejemplo, la zona de planicie en el arrecife Tuxpan debe ser restringida, porque es un área vulnerable ante la presencia de turistas y el tránsito de embarcaciones.

El erizo *D. antillarum*, se encuentra en ambos arrecifes, debido a que es el principal controlador de las algas, ya que su función fue reconocida luego de su mortalidad en la década de 1980 (Idjadi *et al.*, 2010) ocasionada por un patógeno desconocido hasta la fecha, su ausencia generó cambios en la estructura de los arrecifes, principalmente la cobertura de algas se incrementó notablemente, situación que empeoró la recuperación de la cobertura coralina (McClanahan, 1999; Noriega *et al.*, 2006, Furman y Heck, 2009, Martin-Blanco y Davis 2011).

Estos argumentos resultan suficientes para definir medidas de protección, conservación y vigilancia en los arrecifes, debido a que son escasas las poblaciones de *D. antillarum*. Únicamente son numerosos en la porción de la planicie en el arrecife Tuxpan, por lo tanto tal zona debe ser restringida ante cualquier actividad humana.

La zona de sotavento en el arrecife Tuxpan, por ser un área en que la cobertura coralina es importante y resguarda una alta diversidad de equinodermos, debe ser protegida ya que los corales son los principales constructores del arrecife no deben ser deteriorados por lo que se propone restringir el anclaje de embarcaciones y la realización de actividades y arrastres pesqueros.

Es importante que el arrecife Pantepec también sea una zona resguardada dado que albergan comunidades de equinodermos que son muy diversos, otra razón es la escasez de comunidades coralinas, por lo que se debe restringir la entrada de turistas a estos sitios dado que estas áreas son fácilmente accesibles o bien determinar la capacidad de carga. Además, ante la presencia de especies macrobentónicas de interés comercial se sugiere restringir cualquier tipo de extracción pesquera hasta aplicar periodos de veda y establecer tallas mínimas de captura, con la finalidad que las poblaciones se recuperen a tal grado que pueden soportar el esfuerzo pesquero a mediano y largo plazo, además se debe restringir la extracción de conchas.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, E. A. 2010. Estructura comunitaria de los Echinoideos en el Arrecife Lobos, Ver. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.
- Alarcón, R. Y. E. 2013. Caracterización de la regeneración del brazo de la ofiura *Ophiothrix lineata* (Lyman, 1860). Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Tuxpan, Veracruz, México.
- Alfaro, G.K.P. 2012. Modelo de distribución del hábitat bentónico para el arrecife Tuxpan, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Tuxpan, Veracruz, México.
- Alvarado, J.J., y Solís-Marín, F.A. 2013. Echinoderm research and diversity in Latin America. Springer Berlin Heidelberg. 1-9 p.
- Appana, S. D., y Vuki, V. C. 2003. A novel method of assessing bioerosion by the sea urchin *Echinometra* sp. A on a Fijian reef. The South Pacific Journal of Natural and Applied Sciences, **21(1)**: 25-30.
- Arriaga-Ochoa, J. A., Solís-Marín, F. A., Laguarda-Figueras, A. y Solís-Weiss, V. 2012. First record of *Lissothuria antillensis* (Echinodermata: Holothuroidea) from the Gulf of Mexico. Revista Mexicana de Biodiversidad. **(83)**: 291-293.
- Avendaño, S., G. 2015. Estructura DE Comunidades de Ophiuras en estratos profundos en el Arrecife Tuxpan. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.
- Barón, M. B. I. 2007. Estudio de los Equinodermos Asociados a la Planicie del Arrecife Tuxpan, Veracruz, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.
- Bernasconi, I. 1956. Equinoideos y asteroideos de la colección del Instituto Oceanográfico de la Universidad de San Pablo: segunda contribución, **7(1-2)**: 119-149.
- Blanco, O.R., Cantera, K., Reyes Bonilla, H. y Arizpe Covarrubias, O. 2011. Composición taxonómica de las asociaciones de equinodermos en los ecosistemas litorales del Pacífico Colombiano. Biología Tropical. **53(3)**: 195-206
- Borrero-Pérez, G. H., M. Benavides-Serrato y Díaz-Sánchez C. M. 2012. Equinodermos del Caribe colombiano II: Echinoidea y Holothuroidea, Serie de Publicaciones Especiales de Invermar, Santa Marta, 250 p.

- Bolaños, R., C.A., Márquez, J. C. y J. M. Díaz. 2005. Interacciones entre corales y macroalgas: dependencia de las especies involucradas. *Biología de la Investigación del Mar*. 34:227-242.
- Buitrón, B. E. 1968. Catálogo de Equinoideos Fósiles de México. *Paleontología Mexicana*, 26 p.
- Buitrón, B. E. 1978. Distribución de los equinoideos terciarios en la Planicie Costera del Golfo de México en América Central, en el norte de América del sur y en Las Antillas. *Instituto de Geología*, **(101)**: 66-113.
- Calle, M., T.J. 2014. Equinodermos de la franja superior del talud continental del Caribe Colombiano. Tesis, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.
- Calva, B. L. G. 2002a. Hábitos alimenticios de algunos equinodermos, parte 1, Estrellas de mar y estrellas serpiente. **(46)**: 59-68.
- Calva, B. L. G. 2002b. Hábitos alimenticios de algunos equinodermos, parte 2 erizos de mar y pepinos de mar. **(47)**: 54-63.
- Cárdenas, A. S. I. 2010. Equinodermos en el Arrecife Lobos, Ver. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.
- Caso, M. E. 1948. Contribución al conocimiento de los equinoideos de México II. Algunas especies de Equinoideos litorales de la costa Atlántica mexicana. *Anales del Instituto de Biología, UNAM*. **28 (3)**: 450-505.
- Caso, M.E. 1947. Asteroideos del Caribe mexicano colectados en las campañas oceanográficas. Proibe II-III-IV-V a bordo del B/O "Justo Sierra". *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*. **22(1)**: 27-57.
- Caso, M.E. 1961. Contribución al conocimiento de los holoturoideos de México. 2. Algunas especies de holoturoideos litorales de la costa Atlántica mexicana. *Anales del Instituto de Biología, UNAM*. **26 (2)**: 501-525.
- Caso, M.E. 1962. Las especies del género *Luidia* Forbes y *Astropecten* Gray del Caribe Mexicano, colectadas en las campañas oceanográficas Proibe II-III-IV-V a bordo del B/O "Justo Sierra". *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*. **22(1)**: 1-25.
- Caso, M.E. 1976. El estado actual del estudio de los equinodermos de México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*. **3(1)**: 1-56.
- Caso, M. E. 1977. Especies de la familia Asterinidae en la costa Pacifico de México. Descripción de una nueva especie del género. *Asterina agustincasoii* sp. nov. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*. **6(4)**: 1-43.
- Caso, M. E. 1984. Descripción de un género nuevo y una especie nueva de holoturoideo *Parathyonecta* gen. nov. *Parathyonecta bonifaznuñoi* sp.

nov. Colectada en la campaña oceanográfica SIPCO III a bordo dell B/O" El Puma".

- Caso, M.E. 1990. Contribución al conocimiento de los holothuroideos de México. II. Algunas especies de los holoturoideos litorales de la costa Atlántica Mexicana. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM* 26: 501-525.
- Celaya-Hernández, E. V., Solís-Marín F. A, Laguarda-Figueras A, Durán-González A y Ruiz-Rodríguez. T. 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.
- Chapman, M., y Underwood, A. 2008. Scales of variation of gastropod densities over multiple spatial scales: comparison of common and rare species. *Marine Ecology Progress Series*, **354**, 147-160.
- Chávez, E. A., Hidalgo, E., Sevilla, M. L. 2007. Datos acerca de las comunidades bentónicas del arrecife de Lobos, Veracruz. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*. 31:211-280.
- Chávez, E. A., Tunnell Jr, J. W. y Withers. K. 2007. Reef Zonation and Ecology: Veracruz Shelf and Campeche Bank. Cap. 5. Pp. 41-67. In: Tunnell Jr. J. W., E. A. Chávez y K. Withers (Ed.). *Arrecifes coralinos del Sur del Golfo de México*. AyM University Press College Station. Texas. 194 pp.
- Cho, L. L., y Woodley, J. D. 2000. Recovery of reefs at Discovery Bay, Jamaica and the role of *Diadema antillarum*. In *Proc. 9th Int. Coral Reef Symp.* (1) 331-337.
- Cintra Buenrostro, C. E., Reyes Bonilla, H., y Arizpe Covarrubias, O. 1998. Los equinodermos (Echinodermata) del arrecife de Cabo Pulmo, Pacífico de México. *Revista de Biología Tropical*, **46(2)**: 341-344.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales y Protegidas). 2012. [actualizado 17 de septiembre]. (www.conanp.gob.mx).
- Colwell, J. H. 2013. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, **199(4335)**: 1302-1310
- Cortes, U.C.A. 2014. Herramientas para incluir tres arrecifes no emergentes en el área de protección de fauna y flora sistema arrecifal lobos Tuxpan. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.
- Cruz, G. A. 2013. Echinoideos del arrecife Tanhuijo Veracruz México: Atributos comunitarios. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.
- Cruz, F., M.I.2015. Distribución y Abundancia de *Ircinia strobilina* e *Ircinia fistularis* (*Demospongiae: Irciniidae*) y su fauna asociada en el arrecife

Tuxpan, Veracruz. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana, Tuxpan, Veracruz. 45p.

- De La Cruz, F. V. 2013. Estructura de las comunidades macrobentónicas y nectónicas asociadas a los sustratos rocosos coralinos del arrecife Lobos, Veracruz, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.
- Durán-González, A., A. Laguarda Figueras, F.A. Solís Marín, Buitrón B. E, y J. Torres Vega J. 2005. Equinodermos (*Echinodermata*) de la zona marina económica exclusiva del Golfo de México. Revista de Biología. Tropical. **53(3)**: 53-68.
- Escárcega, Q. P. A. 2014. Equinodermos asociados a los arrecifes de cinco regiones marinas prioritarias de Veracruz (Golfo de México occidental): composición y distribución. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Tuxpan, Veracruz, México.
- Freeman, L.A, Kleypas J. A, y Miller. A.J. 2013. Coral Reef Habitat Response to Climate Change Scenarios.**(8)**: 12-31.
- Furman, B. y L. H. Kenneth. 2009. Differential impacts of echinoid grazer on coral recruitment. Bulletin of Marine Science. **85(2)**:121-132.
- Furman, B. y L. H. Kenneth. 2013. Differential impacts of Echinoidea grazer on coral recruitment. Bulletin of Marine Science. **85(2)**:121-132.
- Gamboa, C. A. 1978. Estudio preliminar acerca de la fauna de equinodermos de la costa norte del estado de Veracruz. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México.
- González, A.A. 2009. Estructura de las asociaciones y diversidad morfológica de erizos de mar (Echinoidea) en los Parques Nacionales Sistema Arrecifal Veracruzano y Arrecifes de Cozumel, México. Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- González, A.A. 2014. Estado poblacional de *Echinometra lucunter* (*Echinoidea*: *Echinometridae*) y su fauna acompañante en el litoral rocoso del Caribe Colombiano. Revista de Biología. Tropical. **53 (3)**: 291-297.
- González, A.A. 2015. Abundancia y distribución del erizo *Echinometra lucunter* (Linnaeus) (*Echinodermata*, *Echinoidea*) en un arrecife del litoral norte de Ciudad de la Habana. Revista de Investigaciones del Mar. **22(2)**: 107-115
- González-Gándara, C., Solís-Marín F.A., De la Cruz F.V., Granados-Barba A., Salas-Pérez J.J., Argüelles-Jiménez J. y Escárcega-Quiroga P.A. 2014. Equinodermos asociados a sistemas arrecifales del norte y sur de Veracruz, México. Laboratorio de Arrecifes Coralinos. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Revista Mexicana de Biodiversidad. **80 (1)**:15-20.

- González-Gándara, C., Patiño García, A., Asís Anastasio U, A. Serrano y Gómez. P. 2015. Lista de esponjas marinas asociadas al arrecife Tuxpan, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. **80 (1)**:15-20.
- Guerrero, C. G. M. 2013. Análisis poblacional de *Echinometra lucunter lucunter* (Linnaeus, 1758) en la Playa rocosa El pulpo de Barra de Cazonés, Veracruz, en la temporada de Nortes-Fríos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Tuxpan, Veracruz, México.
- Guzmán, H. M., y Cortés, J. 2007. Reef recovery 20 years after the 1982–1983 El Niño massive mortality. *Marine Biology*, **151 (2)**, 401-411.
- Hammer, O., Harper A.T, y Ryan.P. D. 2006. PAST: Palaentological statisticts software package for education and data analysis. Ver. 1.44. *Paleontología Electrónica (4)*: 1.
- Hendler, G., Miller, J.E., Pawson, D.L. y Kier, P.M. 1995. Sea stars, sea urchins, and allies. Ed. Smithsonian Institution Press, Washington and London. 390 p.
- Hernández, D. Y. Q. 2011. Zoogeografía de los equinodermos (Echinodermata) de los bajos de Sisal y Arrecife Alacrán, Yucatán, México. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Mérida, Yucatán México.
- Herrero-Pérezrul, M. D., Solís-Marin. F. A. y Reyes B. 1997. Systematics and distribution of the echinoderms from Bahía de La Paz. *Review Oceanographic Literature*. **11(44)**, 1323.
- Honey-Escandón, M., Solís-Marín, F. A., y Laguarda-Figueras, A. 2008. Equinodermos (Echinodermata) del Pacífico Mexicano. *Revista de Biología Tropical*, **56 (3)**: 57-73.
- Honey-Escandon, M., Solis-Marin, F. A., y Laguarda-Figueras, A. 2011. *Holothuria (Selenkothuria) carere*, a new species of sea cucumber (Echinodermata: Holothuroidea) from the Mexican Pacific. *Zootaxa*, 2922, 27-33.
- Idjadi, J. A., Haring, R. N. y W. F. Precht. 2010. Recory of the sea urchin *Diadema antillarum* promotes scleractinian coral growth and survivorship on shallow Jamaican reefs. *Marine Ecology Progress Series*. **403**:91-100.
- Jordán Dahlgren, E., y Dahlgren, E. J. 1993. Atlas de los arrecifes coralinos del Caribe mexicano No. G 1546. L1. J67 1993.
- Kelaher, B.P. 2003. Changes in habitat complexity negatively affect diverse gastropod assemblages in coralline algal turf. *Ecologia*. **135: 431**. **Doi: 10.1007/s00442-003-1196-5**.
- Kohlberg, K. E., y Gill, S. M. 2006. Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and

substrate coverage using random point count methodology. *Computers and Geosciences*, **32(9)**: 1259-1269.

Laguarda-Figueras, A., F. A. Solís-Marín, A. Durán-González, C. Gustahearn, Buitrón-Sánchez, B.E. y Torres-Vega, J. 2005. Equinodermos (*Echinodermata*) del Caribe Mexicano. *Revista de Biología Tropical*, **53 (3)**: 109-122.

Laguarda-Figueras, A., Gutiérrez-Castro A.I, Solís-Marín F.A, Durán-González A y Torres-Vega J. 2008. Equinoideos (*Echinodermata: Echinoidea*) del Golfo de México. *Revista de Biología Tropical*, **53 (3)**: 69-108.

Laguarda-Figueras, A., Hernández-Herrejón, L. A., Solís-Marín, F. A., y Durán-González, A. 2009. Ofiuroideos del Caribe mexicano y Golfo de México. Conabio, ICMYL-UNAM, México.

Laguarda-Figueras, A., Torres-Vega, J., Solís-Marín, F.A., Mata-Pérez, E., Durán-González, A. y Abreu-Pérez, M. 2013. Los asteroideos (*Echinodermata: Ophiuroidea*) del Caribe Mexicano: Puerto Morelos, Quintana Roo, México. *Avicennia*. **(15)**: 1-8.

Lara, M. Padilla, C. García, C. y Espejel, J. J. 1992. Coral reef of Veracruz Mexico. Zonation and Community. Proceedings of the Seventh International. Coral Reef Symposium, Guam 1:535:544.

Lebrato. M, Rodríguez I. D, Feely R. A. Greeley D, Jones. D.O. Green D. R. H y Alker B. 2010. Global contribution of echinoderms to the marine carbon cycle: CaCO₃, Budget and benthic compartments. *Review Ecologi*. **80**: 441 467.

Lewis, D. 1986. On the plurality of worlds (Vol. 322). Oxford.

Martin-Blanco, J. W. y Davis, G. E. 2011. An updated classification of the recent crustacea. Natural History Museum of Los Angeles County. Science series No. 39: 1-132.

Martínez-Melo, A., Solís-Marín, F.A. y Laguarda-Figueras, A. 2014. New record of the irregular sea urchin *Rhynobrissus cuneus* (*Echinoidea: Brissidae*). *Revista Mexicana de Biodiversidad*. **85**:617-620.

Martos, F.F.J. 1993. Estudio sobre los Corales Escleractíneos Hermatípicos (Cnidaria, Anthozoa, Scleractinia) del arrecife Tuxpan, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.

Martos, F.F.J. 2010. Evaluación de la salud de los corales del arrecife Blake, Cazonos, Veracruz. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver.

Maruri, C.M. 2012. Evaluación de la comunidad de los corales pétreos del arrecife no emergente Oro Verde, Tuxpan, Veracruz. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana, Tuxpan, Veracruz, México.

- Massin, C., y Hendrickx, M. E. 2010. A new species of deep-water Holothuroidea (Echinodermata) of the genus *Synallactes* from off western Mexico. *Review Scientia Marina*, **74(3)**: 599-603.
- Massin, C., y Hendrickx, M. E. 2011. Deep-water Holothuroidea (*Echinodermata*) collected during the TALUD cruises off the Pacific coast of Mexico, with the description of two new species. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, **82(2)**: 413-443.
- McClanahan, T. R., y Muthiga, N. A. 1989. Patterns of predation on a sea urchin, *Echinometra mathaei* (de Blainville), on Kenyan coral reefs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. **126(1)**: 77-94.
- McClanahan, T.R. 1999. Predation and the control of the sea urchin *Echinometra viridis* and fleshy algae in the path reefs of gloves reef, Belice. *Ecosystems*, **2**:511-523.
- Mendoza, G.J.A. 2014. Los equinodermos del arrecife Blake, Veracruz, Golfo de México occidental. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Tuxpan, Veracruz, México.
- Morales-Quijano, I. 2015. Análisis ecológico de los equinodermos del arrecife Enmedio, Veracruz: Composición, abundancia, densidad y semejanza a escala, Tesis de Licenciatura, Universidad Veracruzana, Tuxpan, Veracruz.
- Moreno, C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T. Manuales y Tesis SEA, Vol. 1. Zaragoza. 84 p.
- Morrison, A.M. y Solano O.D. 1988. 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.
- Muthiga, N.A. y McClanahan. T. R. 2003. *Diadema*. Ed. Sea Urchins: Biology and Ecology. Lawrence, J.W. Ed. Elsevier. Florida, USA. 257-274 p.
- Neumann, A.C. y McIntire. I. 1985. Reef response to sea level rise: keep-up, catch-up or give-up. p. 105-110 in Gabrie, C., J. L Toffart and B. Salvat (Eds.) *Proceedings Of The Fifth International Coral Reef Congress*. Tahiti, 27 May -1 June 1985. Vol. 3. Symposia and Seminars (A).
- Noriega, N., Pauls, S.M. y Del Mónaco C. 2006. Abundancia de *Diadema antillarum* (Echinodermata: Echinoidea) en las costas de Venezuela. *Revista de Biología. Tropical*. **54(3)**: 793-802.
- Ortega, L.F. Tuya A. y Harou J. 2009. El erizo de mar *Diadema antillarum* Phillipi, 1845 influye sobre la diversidad y composición de la comunidad de mega-invertebrados vágiles en fondos rocosos del Archipiélago Canario. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. **44(2)**: 489-495.
- Ortiz-Lozano, L., Pérez-España, H., Granados-Barba, A., González-Gándara, C. Gutiérrez-Velázquez, A. y Martos, J. 2013. The Reef Corridor of the

Southwest Gulf of Mexico: Challenges for its management and conservation. *Ocean and Coastal Management*. **86**: 22-32.

Reyes-Santiago, R. 2015. Variación espacio-temporal de la comunidad de erizos (*Echinoidea*) en la planicie del arrecife Tuxpan, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana, Tuxpan, Veracruz. 44p.

Rubí, E.Y.D. 2016. Análisis ecológico de los equinodermos del arrecife Enmedio, Veracruz: Composición, abundancia, densidad y semejanza a escala. Tesis de Licenciatura, Universidad Veracruzana, Tuxpan, Veracruz.

Salas-Pérez, J.D.J., Ocaña-Valencia, A. N., y González-Gándara, C. 2015. Temperatura superficial del mar y concentración de Clorofila-a en zonas arrecifales y desembocadura de sus ríos en el Golfo de México occidental. Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México, 315-332 p.

San Juan, R.S. 1988. Estudio descriptivo de la morfología externa de *Tripneustes ventricosus* (Lamarck) y *Lytechinus variegatus* (Lamarck) (*Echinoidea*, *Echinodermata*) colectados en el arrecife de Lobos, Tesis de Licenciatura, Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Tuxpan Veracruz, México.

Sánchez, M.J.E.1993. Variación espacio-temporal en la composición de las comunidades de animales asociadas a macroalgas como respuesta al cambio en el medio. Implicaciones en la caracterización ambiental de las áreas costeras. Tesis de Doctorado. Universidad de Sevilla. 400 p.

Sánchez-Díaz, D., y Salas-Pérez, J.D.J. 2011. Circulación estacional (2008-2011) en la plataforma continental del norte del estado de Veracruz (Golfo de México occidental) mediante percepción remota. Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología del Mar.

Solís-Marín, F.A., Herrero-Pérez, M. D., Laguarda-Figueras, A., y Torres-Vega, J. 1993. Asteroideos y equinoideos de México (*Echinodermata*). Biodiversidad Marina y Costera de México. CONABIO y CIQRO, México, 91-105 p.

Solís-Marín, F.A, Bravo-Tzompantzi, D, Laguarda-Figueras, A., Abreu-Pérez, M., y Durán-González, A. 1999. Equinoideos (*Echinodermata: Echinoidea*) del Caribe Mexicano: Puerto Morelos, Quintana Roo, México. *Avicennia*, **10(11)**: 43-72.

Solís-Marín, F.A., Laguarda-Figueras, A., Durán-González, A., Ahearn, C.G., y Vega, J.T. 2005. Equinodermos (*Echinodermata*) del Golfo de California, México. *Revista de Biología Tropical*, **53**: 123.

Solís-Marín, F.A., Laguarda-Figueras, A. y Gordillo-Hernández, M.A. 2007. Estudio taxonómico de los equinodermos del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *Investigaciones científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano*, A. Granados-Barba, LG Abarca-Arenas y JM Vargas-

- Hernández (eds.). Universidad Autónoma de Campeche, Campeche, 73-100 p.
- Solís-Marín, F.A., Honey-Escandón, M. B., Herrero-Pérezrul, M. D., Benitez-Villalobos, F., Díaz-Martínez, J. P., Buitrón-Sánchez, B. E. y Durán-González, A. 2013. The echinoderms of Mexico: biodiversity, distribution and current state of knowledge. *In: Echinoderm research and diversity in Latin America*. 11-65 p.
- Solís-Marín, F. A., Laguarda-Figueras, A. y Gordillo, M. A. 2014. Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano. Granados-Barba, A., Abarca-Arenas, L.G. y Vargas-Hernández, J.M. (ed.). Ed. Universidad Autónoma de Campeche, México. 73-100 p.
- Solís-Marín, F.A., Laguarda-Figueras, A., y Honey-Escandón, M. 2015. Biodiversidad de equinodermos (Echinodermata) en México. *Revista Mexicana de biodiversidad*, **85**: 441-449.
- Solís-Marín, F. A. y Mata-Pérez, E. 1999. Taxonomía de equinodermos (No. QL 382. S64 1999).
- Steneck, R. S. 1983. Quantifying herbivory on coral reefs: just scratching the surface and still biting off more than we can chew. *In Symp Ser Undersea Res.* 1:103-111.
- Steneck, R.S., Leland, A., McNaught, D.C., y Vavrinec, J. 2013. Ecosystem flips, locks, and feedbacks: the lasting effects of fisheries on Maine's kelp forest ecosystem. *Bulletin of Marine Science*, **89(1)**; 31-55.
- Tommasi, T.H. 1974. Ampliación de la Zona de distribución de *Amphiura crassipes* Ljungman, 1867 (*Ophiuroidea, Amphiuridae*). *Physis*, 33, 135-138.
- Trujillo-Luna, B.R. y González-Vallejo N.E. 2006. Equinodermos (*Echinodermata*) de la colección de referencia de bentos costero de ECOSUR. *Universidad y Ciencia* **22, (1)**: 83-88.
- Vázquez, E. R. I. 2014. Macrofauna asociada al alga calcárea *Halimeda opuntia* (Linnaeus) J.V.Lamouroux, 1816 en dos arrecifes de Tuxpan, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Tuxpan, Veracruz, México.
- Vázquez-Bader, A.R., Laguarda-Figueras, A., Gracia, A., Solís-Marín, F.A., Celaya-Hernández, E.V., y Durán-González, A. 2008. Seasonal changes in the density and species composition of the epifaunal echinoderms recorded from the southwestern Gulf of Mexico. *Revista de Biología Tropical*. **56(3)**: 297-310.
- Watts, S. A., McClintock, J. B., y Lawrence, J. M. 2013. *Lytechinus*. Sea Urchins: Biology and Ecology. *In* J. M. Lawrence (Ed.) London: Elsevier. 475-490 p.