



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

CAMPUS TUXPAN

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

La comunidad de Equinoideos (Echinoidea:
Echinodermata) del arrecife Tuxpan y su relación con los
atributos del sustrato

TESIS

Que para obtener el título de:

MAESTRA EN ECOSISTEMAS MARINOS Y
COSTEROS

Presenta:

BIOL. APOLINAR CRUZ GARCÍA

Director:

DR. Carlos González Gándara

La presente tesis titulada: **“LA COMUNIDAD DE EQUINOIDEOS (ECHINOIDEOS: ECHINODERMATA) DEL ARRECIFE TUXPAN Y SU RELACIÓN CON LOS ATRIBUTOS DEL SUSTRATO”**, realizada por la C. Biol. Apolinar Cruz Garcia, bajo la dirección del Dr. Carlos González Gándara, ha sido revisada y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS

CONSEJO PARTICULAR:



DR. CARLOS GONZÁLEZ GÁNDARA

DIRECTOR

Tuxpan de Rodríguez Cano, Ver; Agosto 2016.

La presente tesis titulada: "LA COMUNIDAD DE EQUINOIDEOS (ECHINOIDEA : ECHINODERMATA) DEL ARRECIFE TUXPAN Y SU RELACIÓN CON LOS ATRIBUTOS DEL SUSTRATO", realizada por la C. Biol. Apolinar Cruz Garcia, ha sido revisada y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

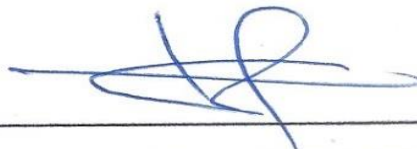
MAESTRA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS

COMISION LECTORA:



DR. FRANCISCO ALONSO SOLÍS MARÍN

LECTOR



MTRO. FRANCISCO JAVIER MARTOS FERNÁNDEZ

LECTOR



MTRO. ARTURO VALDÉS MURILLO

LECTOR

Tuxpan de Rodríguez Cano, Ver; Agosto 2016

DEDICATORIA

A mis padres

Por el apoyo y comprensión brindada estando siempre al pendiente de mí, por ser una de mis grandes motivaciones para seguir adelante y poder alcanzar mis metas.

A mis hermanos

Por estar a mi lado en esta etapa importante de mi vida, por alentarme en los momentos difíciles y apoyarme.

AGRADECIMIENTOS

Al laboratorio de arrecifes coralinos

Por su apoyo y recursos brindados para llevar a cabo este proyecto.

A la Universidad Veracruzana

Por brindarme la oportunidad de continuar formándome profesionalmente.

A mi comisión revisora

Mtro. Francisco Javier Martos Fernández, Mtro. Arturo Valdés Murillo y al Dr. Francisco A. Solís Marín; Por su observaciones y sugerencias brindadas a este trabajo de tesis.

RESUMEN

La comunidad de equinoideos que está influenciada por factores estructurales y ambientales, contribuye al equilibrio en los arrecifes de coral dado que regula la biomasa de algas, principales competidoras de los corales. En el presente trabajo se evaluó la estructura de la comunidad de erizos en el arrecife Tuxpan; Veracruz, relacionando sus atributos comunitarios con la profundidad, la zonación y las características del sustrato para definir un protocolo de monitoreo. Para esto, se efectuaron muestreos (junio-agosto 2014 y agosto-septiembre 2015), utilizando 611 transectos en banda de 5 x 2m distribuidos en la: planicie, cresta y pendientes arrecifales, en éstas se consideraron los siguientes estratos: 3-5, 5-10, 10-15; 15-20, 20-25 y 25-30 m. Sobre cada transecto se realizaron evaluaciones de la riqueza y abundancia de erizos así como del tipo de sustrato, cobertura coralina, grupos bentónicos y de complejidad estructural. Para la evaluación del bentos, se hicieron fototransectos que fueron analizados utilizando el programa Coral Point Count. Con los datos de riqueza y abundancia se estimaron las características de la comunidad que incluyeron: riqueza y abundancia así como los índices ecológicos (Simpson, Shannon-Wiener y equidad) a las diferentes escalas (arrecife, zonas y ambientes). Se realizaron comparaciones de la riqueza y abundancia entre zonas y ambientes utilizando ANOVAS de una vía paramétricas y no paramétricas. Los atributos del sustrato fueron relacionados con los aspectos comunitarios por medio de un análisis de correspondencia canónica (CCA). La comunidad de erizos en el arrecife Tuxpan está compuesta por ocho especies, de éstas, las que presentaron mayor abundancia fueron: *Echinometra lucunter* y *Echinometra viridis*, representando el 47.4 y 44 % del total respectivamente. A escala de zonas la riqueza es parecida, pero mayor en la planicie arrecifal (siete especies). La abundancia promedio fue más alta en la cresta de sotavento y menor en los pastos marinos. En las pendientes, tanto la riqueza como la abundancia, en general, descienden conforme aumenta la profundidad y esto se

refleja en los valores de los índices de dominancia y equidad. Las crestas poseen valores bajos de equidad y altos de dominancia comparados con el ambiente de pastos marinos donde se determinó una mayor equidad. El sustrato del arrecife Tuxpan está representado por diez categorías: de éstas, los corales mostraron la mayor cobertura (28%) y octocorales, zooántidos y esponjas representaron sólo el 3% del total. Los grupos bentónicos dominantes al igual que la complejidad estructural varían en función de las zonas y los ambientes arrecifales. En la pendiente de sotavento se observó un incremento en la roca con macroalgas y un decrecimiento de la cobertura coralina a medida que aumenta la profundidad. El ACC para la planicie muestra una asociación de *Lytechinus variegatus* y *Tripneustes ventricosus* con pasto marino; *Diadema antillarum* con restos de coral; *Echinometra viridis* con la roca cubierta de macroalgas y *Echinometra lucunter*, *Arbacia punctulata* y *Eucidaris tribuloides* asociados a la roca coralina. En la pendiente de sotavento, se asoció a: *E. tribuloides*, y *D. antillarum* con las zonas de 15 a 20m de profundidad y con el sustrato: roca con macroalgas. Por su parte, *A. punctulata* y *T. ventricosus* se asociaron a la roca coralina y a las capas de 5 a 10m de profundidad. La presencia de *Lytechinus williamsi*, se relaciona con roca coralina y profundidades de 3 a 5 y 10 a 15m; por último, *E. lucunter* se asocia al sustrato de roca con macroalgas, pero no muestra relación con la profundidad. En la pendiente de barlovento se definieron asociaciones de *E. lucunter* con áreas de 3 a 5 m de profundidad; *E. viridis* y *L. williamsi* con roca con algas costrosas y esponjas así como profundidades de 10 a 20m; *D. antillarum* se asoció al sustrato rocoso y profundidades de 5 a 10 y 20 a 25m. Por último, *E. tribuloides* y *A. punctulata* se asociaron la roca con algas filamentosas y restos de coral así como profundidades de 3 a 5 y 25 a 30m respectivamente. La comunidad de erizos del arrecife Tuxpan muestra una relación de los atributos del sustrato, la profundidad y la geomorfología con la riqueza y abundancia de erizos. De aquí, se desprende la propuesta para realizar monitoreos en arrecifes de tipo plataforma, que debe considerar todas las zonas arrecifales y tres estratos de profundidad: 3-5m; 5 a 15m y >20m en las dos pendientes.

ÍNDICE

I.-INTRODUCCIÓN.....	1
II.- ANTECEDENTES.....	4
III.-HIPOTESIS.....	8
IV.- OBJETIVOS	9
V.- ÁREA DE ESTUDIO.....	10
VI.-MATERIALES Y MÉTODOS	12
VII.-RESULTADOS	18
7.1.- Riqueza general de especies	18
7.2.- Riqueza a escala de zonas.....	19
ESCALA DE HABITATS	21
7.3.- Planicie Arrecifal.....	21
PENDIENTE DE SOTAVENTO	23
7.4.- Riqueza de especies	23
7.5.- Abundancia de especies	24
PENDIENTE DE BARLOVENTO.....	25
7.6.- Riqueza de especies	25
7.7.- Abundancia de especies	26
7.8.- Densidad de especies a escala de zonas.....	27
7.9.- Densidad de especies a escala de ambientes.....	28
10.- Densidad de especies a escala de estratos de profundidad	29
10.1.- Índices de diversidad a escala de zonas arrecifales.....	30
10.2.- Índices de diversidad a escala de hábitats	31
10.3.- Índices de diversidad a escala de estratos de profundidad	32
ATRIBUTOS DEL BENTOS Y COMPLEJIDAD ESTRUCTURAL	34
10.4.- Cobertura general del sustrato del arrecife Tuxpan.....	34
10.5.- Cobertura del sustrato de los ambientes de la planicie arrecifal.....	35

10.6.- Cobertura del sustrato de la pendiente de sotavento	36
10.7.- Cobertura del sustrato de la pendiente de barlovento	37
10.8.- Cobertura del sustrato por estratos de profundidad de la pendiente de sotavento.	38
10.9.- Cobertura del sustrato por estratos de profundidad de la pendiente de barlovento	39
Complejidad estructural	40
11.- Relación de la riqueza y la abundancia con la profundidad y el sustrato de la planicie arrecifal	41
11.1.- Relación de la riqueza y abundancia con la profundidad y el sustrato de la pendiente de sotavento	43
11.2.- Relación de la riqueza y abundancia con la profundidad y el sustrato de la pendiente de barlovento.	44
VIII.- PROPUESTA DE MONITOREO	46
IX.- DISCUSIÓN	48
X.- APLICACIÓN AL MANEJO	63
XI.- CONCLUSIONES.....	64
XII.- BIBLIOGRAFÍA	66

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.- Localización geográfica del arrecife Tuxpan, Veracruz.....	11
Figura 2.- Riqueza general de erizos regulares del arrecife Tuxpan.	19
Figura 3.- Abundancia de erizos regulares por unidad de muestreo y por zona del arrecife Tuxpan	20
Figura 4.- Aporte porcentual de las especies de erizos por zona en el arrecife Tuxpan.	21
Figura 5.- Riqueza de especies de erizos en la planicie del arrecife Tuxpan.....	22
Figura 6.- Abundancia de erizos en la planicie del arrecife Tuxpan..	22
Figura 7.- Riqueza de especies de erizos por estrato de profundidad en el arrecife Tuxpan.	23
Figura 8.- Abundancia de erizos regulares de la pendiente de sotavento por estratos de profundidad en el arrecife Tuxpan.	24
Figura 9.- Riqueza de especies de erizos por estrato de profundidad en la pendiente de barlovento del arrecife Tuxpan.	25
Figura 10.- Abundancia de erizos regulares de la pendiente de barlovento por estratos de profundidad en el arrecife Tuxpan.	26
Figura 11.- Densidad promedio de erizos regulares del arrecife Tuxpan.	27
Figura 12.- Densidad de erizos regulares de los ambientes de la planicie del arrecife Tuxpan..	28
Figura 13.- Densidad de erizos regulares de la pendiente de sotavento por estratos de profundidad en el arrecife Tuxpan.....	29
Figura 14.- Densidad de erizos regulares de la pendiente de barlovento por estratos de profundidad en el arrecife Tuxpan.	30
Figura 15.- Cobertura general del sustrato del arrecife Tuxpan..	34
Figura 16.- Cobertura de los tipos de sustratos de los hábitats de la planicie arrecifal.....	35
Figura 17.- Cobertura general de la pendiente de sotavento del arrecife Tuxpan.	36

Figura 18.- Cobertura general del sustrato de la pendiente de barlovento del arrecife Tuxpan.	37
Figura 19.- Cobertura del sustrato por estratos de profundidad en la pendiente de sotavento del arrecife Tuxpan.	38
Figura 20.- Cobertura por estratos del sustrato de la pendiente de barlovento del arrecife Tuxpan.	39
Figura 21.- Análisis de correspondencia canónica (CCA) de la planicie arrecifal..	42
Figura 22.- Análisis de correspondencia canónica (CCA) de la pendiente de sotavento.....	43
Figura 23.- Análisis de correspondencia canónica (CCA) de la pendiente de barlovento.....	45
Figura 24.- Dendograma que separa a las comunidades de erizos en función de los estratos de profundidad en las pendientes de barlovento y sotavento.	47

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1.- Distribución de los transectos por zona y ambiente arrecifal del sistema Tuxpan.....	12
Cuadro 2.- Distribución de los transectos para estimar la riqueza y abundancia de erizos en la segunda etapa.....	17
Cuadro 3.- Valores de los índices de diversidad para la comunidad de erizos por zonas en el arrecife Tuxpan.....	30
Cuadro 4.- Índices de diversidad para los hábitats de la planicie del arrecifal.....	31
Cuadro 5.- Valores de los índices de diversidad para la comunidad de erizos con base en los estratos de profundidad en la pendiente de sotavento.....	32
Cuadro 6.- Valores de los índices de diversidad para la comunidad de erizos con base en los estratos de profundidad en la pendiente de barlovento.....	32
Cuadro 7.- Complejidad estructural por estratos de la pendiente de sotavento del arrecife Tuxpan.....	39
Cuadro 8.- Complejidad estructural por estratos de la pendiente de barlovento del arrecife Tuxpan.....	39

I.-INTRODUCCIÓN

Los arrecifes de coral son ecosistemas marinos muy productivos que se desarrollan en zonas someras con temperaturas cálidas y aguas transparentes, que permiten el establecimiento de una gran diversidad biológica donde destacan los equinodermos (Hendler *et al.*, 1995). El *phylum* Echinodermata está constituido por organismos estrictamente marinos que se localizan en todos los océanos y profundidades e incluye aproximadamente 7000 especies distribuidas en todo el mundo (Pawson, 2007). Para el Golfo de México hay un inventario de 292 especies (Pawson *et al.*, 2009; Solís-Marín *et al.*, 2014; 2015) y para Veracruz, se cuenta con un registro de 100 especies (Solís-Marín *et al.*, 2011; 2015; González-Gándara *et al.*, 2015), sin embargo el conocimiento taxonómico de los componentes específicos de este grupo en el estado, aún es limitado (Solís-Marín *et al.*, 2007).

Los equinodermos dominan las comunidades bentónicas marinas y por esto se han utilizado como indicadores de biofacies (Solís-Marín, 2008). Entre ellos, la clase Echinoidea, misma que se distribuye ampliamente en los ambientes con sustratos rocosos y se alimentan principalmente de algas, detritus, partículas en suspensión e invertebrados (Solís-Marín *et al.*, 2007; Lawrence y Agatsuma, 2013; 2015).

Los equinoideos no sólo son importantes por su riqueza sino también por su papel en la trama trófica y su capacidad para modificar las condiciones del sustrato (Bronstein y Loya, 2014). Varios de los procesos ecológicos en arrecifes coralinos del Caribe y Golfo de México son generados por estos organismos, quizá el ejemplo más claro se observa en la comunidad de ramoneadores (Mumby *et al.*, 2006) ya que durante su actividad remueven partículas de carbonato de calcio, además de algas filamentosas y calcáreas que constituyen el alimento de los erizos (Toro *et al.*, 2002; Lozano-Cortés *et al.*, 2011), incorporando ese carbonato al medio para su reciclamiento. En este sentido, el conocimiento de los atributos de la comunidad de equinoideos en los ecosistemas marinos conduce a valorar su trascendencia dado que, el aumento de su densidad se traduce en un incremento de las tasas de erosión en los arrecifes coralinos (Toro *et al.*, 2002; Brown-Saracino *et al.*, 2007). Además, de generar espacios que incrementan la complejidad ambiental favoreciendo el asentamiento de otros organismos y la promoción de la diversidad biológica (Monroy y Solano, 2005).

Recientemente, se ha referido que los arrecifes de coral se encuentran en un cambio de fase, caracterizado por la disminución de la cobertura coralina y un incremento en la cobertura de algas (Hughes *et al.*, 2007; Cheal *et al.*, 2010; Acosta-González *et al.*, 2013; Kissling-Donald *et al.*, 2014) y esto obedece en parte a las modificaciones en la estructura de las comunidades de herbívoros (Hernández-Landa *et al.*, 2014). Por esto, estudiar la abundancia de erizos, es un aspecto muy relevante en los arrecife coralinos ya que además de participar en el control de las macroalgas ayudan a revertir el cambio de fase promoviendo el

reclutamiento de corales (Rogers y Lorenzen, 2008; Idjadi *et al.*, 2010). La evaluación de las comunidades de erizos en los arrecifes coralinos es muy importante y de manera muy especial en los sistemas del Golfo de México donde prácticamente no se sabe cómo está conformada la comunidad y menos aún se conocen los cambios en el tiempo. En el presente trabajo se evalúa la estructura de las comunidades de erizos en el arrecife Tuxpan; Veracruz, relacionando los atributos comunitarios con la profundidad, la zonación y las características del sustrato para establecer un protocolo de monitoreo y sugerir las medidas de manejo que conduzcan a la conservación de los arrecifes coralinos del norte de Veracruz.

II.- ANTECEDENTES

De las 7000 especies de equinodermos existentes en los océanos del mundo, 643 se encuentran en los mares de México. Éstas se distribuyen en las siguientes clases, 197 en la Ophiuroidea, 185 en la Asteroidea, 119 en la Echinoidea, 113 en la Holothuroidea y 29 en la Crinoidea (Solís-Marín *et al.*, 2014). Aunque el primer trabajo sobre este grupo en el Golfo de México fue publicado en el siglo XIX, fue a partir de la mitad del siglo XX que se multiplicaron las investigaciones (Solís-Marín y Laguarda-Figueras, 2011). En las costas mexicanas, el trabajo de la Dra. María Elena Caso fue fundamental, generando información sobre la composición, distribución, biología y ecología de los equinodermos (Caso, 1943; 1946; 1951; 1955; 1968; 1974; Caso *et al.*, 1994). Posteriormente, las aportaciones de Laguarda-Figueras y Solís-Marín han incrementado el conocimiento, relacionado especialmente con los componentes específicos del phylum en diferentes hábitats (Solís-Marín, 1997; 2008; Laguarda-Figueras, 2002; Laguarda-Figueras *et al.*, 2005; Solís-Marín *et al.*, 2005; 2007; 2014). Otros atributos estudiados corresponden a estudios morfológicos (Randall, 1964; Caso, 1974; San Juan, 1988; Espinoza *et al.*, 2008); aspectos de reproducción (Gómez y Gómez, 2005; Montealegre y Gómez, 2005) y aspectos poblacionales (Astudillo *et al.*, 2005; García *et al.*, 2005).

Dada la relevancia de los equinodermos en la estructura y dinámica de los sistemas arrecifales, se han efectuado evaluaciones de su estructura comunitaria principalmente en el Caribe (Bolaños *et al.*, 2005; Bechtel *et al.*, 2006; Nicida-Noriega y Del Monaco, 2006; Alvarado y Chiriboga, 2008; Nodarse, 2001; Rojero, 2011). Estos atributos se han relacionado con el sustrato (Celaya-Hernández *et al.*, 2008; Valdez y Villalobos, 1978; Zamorano y Morales, 2009). Uno de los aspectos relevantes para los ecosistemas de arrecifes coralinos es la bioerosión producida por los equinoideos, proceso estudiado por Toro-Farmer *et al.* (2002), Brown y Saracino (2009), Lozano-Cortés *et al.* (2011) y Bronstein y Loya. (2014) para demostrar la importancia de este grupo en el reciclamiento de carbonato de calcio. También se han documentado las variaciones espaciales y temporales de las comunidades de erizos (Nordarse, 2001; Capetillo *et al.*, 2011) y sus factores asociados.

Los estudios poblacionales de los equinoideos han permitido conocer: la densidad, tasas de crecimiento, mortalidad y sobrevivencia que refieren el estado de las poblaciones de erizos (Murillo y Cortez, 1984; Monroy-López y Solano, 2005; Lessios *et al.*, 1984; Bank *et al.*, 1984; Mumby *et al.*, 2006; Martín-Blanco *et al.*, 2009; Lessios, 2015). Por otra parte, los estudios tróficos y de hábitos alimenticios (Martín-Blanco *et al.*, 2011; 2009; Harborne *et al.*, 2009; Ortega *et al.*, 2009; Reyes-Lujan *et al.*, 2015) indican las estrategias de alimentación, donde, la selección de la dieta considera tanto el aspecto del alimento como la composición química, el tamaño y forma del mismo (Watts *et al.*, 2013).

Además, la estimación de la estructura poblacional de los erizos, es una medida del estado de salud arrecifal y por eso se han efectuado numerosas investigaciones particularmente de *Diadema antillarum*, desde que su abundancia fue disminuida como consecuencia de la mortalidad masiva ocurrida en los ochenta en el Caribe y el Atlántico (Bank *et al.*, 1984; Murillo y Cortés, 1984; Lessios, 1984; 989). Los cambios repercutieron en la composición y abundancia de las algas (Williams *et al.*, 2001; Noriega *et al.*, 2006; Ferrari *et al.* 2012; Harris *et al.*, 2015), así como en las comunidades de peces (Lessios *et al.*, 1984; Williams *et al.*, 2001) favoreciendo el denominado cambio de fase en un sistema arrecifal (Rioja-Nieto *et al.* ,2012). Estudios recientes indican que la recuperación de las poblaciones de *D. antillarum*, ha sido lenta, mostrando valores de densidad de 0.4 ind/m² (Harborne *et al.*, 2009; Ruiz-Ramos *et al.*, 2011). Por esto, las evaluaciones de sus poblaciones son una necesidad para valorar el estado que guardan (Weil *et al.*, 2005; Steiner y Williams, 2006; Jordán-Garza y Rodríguez-Martínez, 2008; Ruiz-Ramos *et al.*, 2011; Kissling, Precht-Miller y Chiappone, 2014; Lessios, 2015) y promover estrategias de recuperación, ya que ésta podría revertir el cambio de fase en los arrecifes de coral (Rogers y Lorenzen 2008; Idjadi *et al.*, 2010), porque el aumento en la densidad de *D. antillarum* permite a el reclutamiento de los corales (Idjadi *et al.*, 2010; Haley y Solandt, 2001).

Para los ecosistemas de arrecifes coralinos del sureste del Golfo de México prácticamente no existen trabajos que refieran la estructura de las comunidades de erizos y tampoco hay información sobre el estado de la población de *D.*

antillarum. Las investigaciones se han centrado en dar a conocer los componentes (Solís-Marín *et al.*, 2007; Solís Marín y Laguarda-Figueras, 2011; Tunnell Jr. *et al.*, 2010) que incluyen a 66 especies de equinodermos para Veracruz (Solís-Marín *et al.*, 2007; Tunnell Jr. y Whitaker, 2007; Cárdenas, 2010; Escarcega-Quiroga, 2014; Mendoza, 2014; Solís-Marín *et al.*, 2014; González-Gándara *et al.*, 2015; Morales, 2015; Rubí, 2016).

La estructura de la comunidad de erizos en Veracruz ha sido estudiada en los arrecifes del norte (Lobos, Tanhuijo, Enmedio, Tuxpan, Lobos, Pantepec y Blake) y del centro del estado (Isla Verde) señalando diferencias en su composición y abundancia relacionadas con las zonas arrecifales y con los estratos de profundidad (Barón, 2007; Celaya-Hernández *et al.*, 2008; Acosta, 2010; Cruz, 2013; Mendoza, 2014, Cruz, 2015, Morales, 2015) pero han enfatizado en las zonas someras (planicie y cresta arrecifal) evitando los estratos profundos. Otros de los aspectos estudiados son las variaciones temporal en la planicie del arrecife Tuxpan (Reyes, 2015) y aspectos de la población de *E. lucunter* en la zona costera de Cazonas (Guerrero, 2013). Debido a que los estudios de los erizos en los arrecifes de coral del golfo de México, específicamente para Veracruz, solo se han realizado en zonas que no superan los 10 m de profundidad, en este trabajo se ha generado información sobre la comunidad de erizos a diferentes estratos de profundidad con el fin de establecer su relación con las propiedades del sustrato así como detectar la presencia de patrones de distribución que permitan proponer una estrategia de evaluación para este tipo de arrecifes que conlleve a la conservación de los mismos. Para lo cual se pretende responder a las siguientes

cuestiones: ¿Hay diferencias en la estructura de la comunidad de equinoideos en función de las zonas y los hábitats arrecifales? ¿Existe una relación de la abundancia de equinoideos con la profundidad, el tipo de sustrato, la cobertura coralina y la cobertura de algas en el arrecife Tuxpan?

III.-HIPOTESIS

La comunidad de erizos regulares está fuertemente relacionada a los sustratos rocosos y su estructura obedece a los atributos ambientales típicos de cada arrecife coralino, por lo que la zonación así como las características particulares de cada ambiente arrecifal son determinantes en los patrones de riqueza, distribución y abundancia de la comunidad de erizos.

IV.- OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la estructura de la comunidad de equinoideos regulares a tres escalas espaciales en el arrecife Tuxpan relacionándola con la profundidad y los atributos del sustrato (tipo de sustrato, cobertura coralina y de algas) para generar una estrategia de monitoreo.

Objetivos particulares

- Evaluar la riqueza y abundancia de los equinoideos a tres escalas: arrecife, zonas arrecifales y hábitats en el arrecife Tuxpan.

- Estimar la densidad de cada una de las especies de equinoideos a tres escalas: arrecife, zonas arrecifales y habitat (pastos, restos, crestas y estratos de profundidad en el arrecife Tuxpan.

- Calcular los índices ecológicos (Dominancia, Shannon-Wiener; Equitatividad) de la comunidad de echinoideos a diferentes escalas en el arrecife Tuxpan.
- Relacionar los atributos comunitarios de los echinoideos con: la profundidad la complejidad estructural y los grupos funcionales bentónicos en el arrecife Tuxpan.
- Proponer una estrategia de monitoreo para la comunidad erizos en el arrecife Tuxpan.

V.- ÁREA DE ESTUDIO

El arrecife Tuxpan se ubica en el norte del estado de Veracruz y pertenece al Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (Figura1). Geográficamente se localiza a 21°00'08" latitud norte y 97°10'11 longitud oeste (Tunnell Jr., 2007).

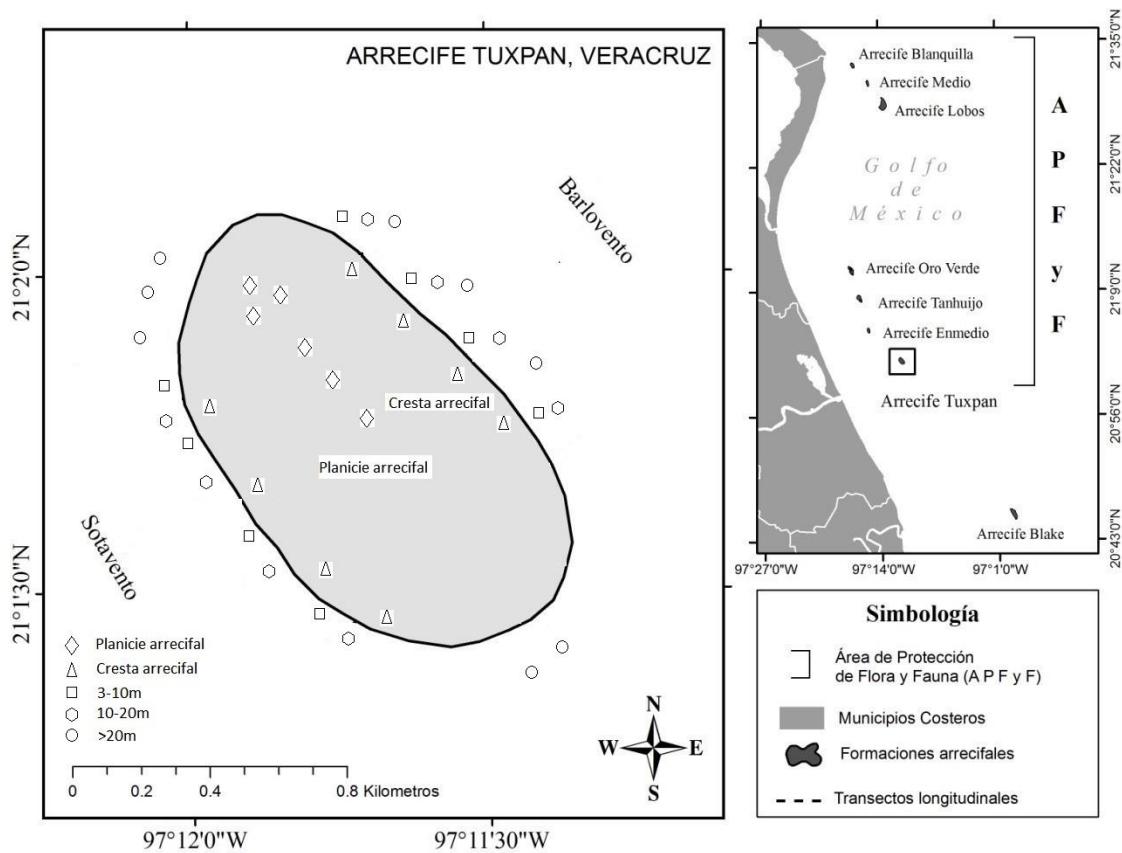


Figura 1.- Localización geográfica del arrecife Tuxpan, Veracruz.

Este sistema presenta profundidades muy variables que van desde 0.5 m en la planicie hasta los 30 m en la zona Sur (Tunnell Jr., 2007). Es un arrecife de tipo plataforma, al igual las demás formaciones del sistema presenta una zonación característica que contiene: **a)** La llanura arrecifal que se caracteriza por una alta tasa de sedimentación, poca profundidad (0.5-2.0 m) y escasa dinámica del agua; **b)** La cresta arrecifal que es una zona de alta energía producto del oleaje y una baja sedimentación, es somera la cual puede estar cubierta por unos cuantos cm durante la marea más baja. Abunda el sustrato duro y la litificación del sedimento

forma un piso liso y poroso así como se encuentran también algas incrustantes; **c)** La pendiente de sotavento que se caracteriza por la baja energía del oleaje y alta sedimentación terrígena. Es una zona de alta cobertura coralina dominada por corales masivos y **d)** La pendiente de barlovento que se distingue por presentar una pendiente gradual con poca cobertura coralina que termina en un sistema de surcos y canales (Tunnell Jr. y Withers, 2007). El arrecife Tuxpan es un sistema oligotrófico ($< 0.2 \text{ mg/m}^3$) con una temperatura superficial de $\sim 25.4^\circ\text{C}$ (Salas-Pérez *et al.*, 2015).

VI.-MATERIALES Y MÉTODOS

Para atender los objetivos de este trabajo se efectuaron 20 muestreos divididos en dos etapas. En la primera (junio-agosto de 2014) se tiraron un total de 612 transectos distribuidos en todas las zonas arrecifales: 342 transectos de 5 x 2 m para las pendientes arrecifales y 270 para las crestas y la planicie. Los muestreos correspondientes a la planicie y las crestas fueron colocados paralelamente al eje principal del sistema. Para los muestreos en las pendientes se utilizó como referencia tres líneas que atravesaron el sistema arrecifal en dirección este-oeste iniciando en la parte profunda de cada pendiente y concluyendo en la zona somera. En el (cuadro1) se refiere el número de transectos por zona y ambiente arrecifal. Sobre cada uno de ellos se realizaron evaluaciones de la riqueza y abundancia de erizos. Las especies se identificaron visualmente previo entrenamiento y con el apoyo de la guía de Humann y Deloach (2002). Enseguida, los muestreos fueron agrupados por estrato de profundidad y ambiente arrecifal. Para las capas de profundidad se consideraron los siguientes estratos: 3-5, 5-10, 10-15; 15-20, 20-25 y 25-30 m.

Cuadro 1.- Distribución de los transectos por zona y ambiente arrecifal en el sistema Tuxpan.

Zona	Ambiente o estrato de profundidad (m)	Número de transectos
Planicie arrecifal	Restos de coral	80
Planicie arrecifal	Pastos marinos	30
Cresta	Barlovento	80
Cresta	Sotavento	80
Pendiente de Barlovento	3 a 5	39
Pendiente de Barlovento	5 a15	38
Pendiente de Barlovento	> 20	72
Pendiente de sotavento	3 a 5	20
Pendiente de sotavento	5 a 15	94

Con los datos de riqueza y abundancia se calculó la densidad de erizos a escala de: arrecife, zonas y ambientes. Para esto, se dividió el número de erizos total entre 10 m y se expresa como el número de individuos por m². Adicionalmente se determinaron los valores de los índices ecológicos (Simpson, Shannon-Wiener y equidad) a diferentes escalas (zona y ambiente) utilizando los programas PAST (Hammer *et al.*, 2006) y Diversity 3.0 (Henderson y Seaby, 2002).

El índice de Simpson considera la probabilidad de que dos individuos tomados de una muestra correspondan a la misma especie (Moreno, 2001) y se expresa de la siguiente manera:

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

Dónde:

Σ = sumatoria sobre las especies de la población

P_i = representa la abundancia relativa de cada especie con respecto a la población

El índice de diversidad de Shannon-Wiener (H'): considera la proporción de la abundancia de las especies y su riqueza dentro de la muestra (Moreno, 2001). Este índice se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

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

Dónde:

p_i = es la proporción de una especie con respecto al número total de individuos que ocurren en i especies.

\ln = es el logaritmo natural de p_i .

Para calcular la equidad se utilizó el índice de Pielou, el cual mide la proporción de la diversidad esperada (Moreno, 2001) y se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

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

Donde:

$$H' \max = \ln(S)$$

Para caracterizar la cobertura bentónica se consideraron los siguientes grupos morfofuncionales: Arena, Restos de coral, Roca coralina, Roca con algas costrosas, Roca con algas filamentosas, Roca con macroalgas, esponjas, ocotocorales, zoántidos y corales. Estos grupos se definieron a partir de las fotografías tomadas con una cámara Cannon Shot G12 de 14 megapíxeles en cada transecto. Se obtuvieron un total de 1910 fotografías que resultaron de las

tomas distribuidas aproximadamente cada metro sobre cada uno de los transectos (1710 en las pendientes y 200 para la planicie). Las fotografías fueron analizadas utilizando el programa Coral Point Count versión 4.1 (Kohler y Gill, 2006) para determinar la cobertura de cada grupo, utilizando 25 puntos aleatorios. Además se estimó la complejidad estructural de cada zona o ambiente utilizando el método de la cadena que consiste en colocar una cadena de 5 m de longitud sobre el sustrato, que inicia en el punto cero del transecto y sigue el contorno del suelo guiándose por el transecto. Se mide la distancia desde el punto cero hasta donde llega la cadena en el transecto y posteriormente hace un cálculo con la siguiente fórmula:

Donde:

$$CE = X/Lc$$

CE=Complejidad estructural

X=longitud alcanzada por la cadena desde el punto cero.

Lc=Longitud total de la cadena

La información de riqueza y abundancia de erizos fue relacionada con los atributos del bentos utilizando el análisis de correspondencia canónica (CCA), mediante el programa CANOCO 4.5. Este análisis es un método multivariado que trata la asociación de un conjunto de variables dependientes e independientes. Para este análisis se utilizaron las variables (tipo de sustrato, profundidad y abundancia de erizos).

Además, los datos de riqueza y abundancia de erizos fueron sometidos a un análisis de varianza utilizando el programa Statgraphics Plus 5.1. Para establecer las diferencias entre ellos. A partir de esta información se realizó la segunda etapa (agosto-octubre 2015) que consistió en agrupar las capas de profundidad con base en su semejanza para probar el monitoreo de la comunidad de erizos en las pendientes de barlovento y sotavento. Durante esta fase se tiraron 50 transectos de 10 x 2 m, distribuidos en los estratos de 3-5, 5-15 y >20m de profundidad (Cuadro 2). Para valorar la semejanza de las comunidades de erizos en esta fase, se realizó un análisis de similitud con el índice de Bray-Curtis ya que este índice expresa el grado en que dos muestras son semejantes por las especies presentes y los valores de abundancia de cada una (Moreno, 2001).

Índice de Bray-Curtis

$$B = \frac{\sum_{i=1}^s |X_{ij} - X_{ik}|}{\sum_{i=1}^s [X_{ij} + X_{ik}]}$$

Dónde:

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

= número de individuos de la especie i en la muestra j

= número de individuos de la especie i en la muestra k

S = al número de especies

Además se realizaron las pruebas estadísticas para demostrar que son diferentes utilizando la prueba de Kruskal-Wallis con el programa Statgraphics 5.1.

Cuadro 2.- Distribución de los transectos para estimar la riqueza y abundancia de erizos en la segunda etapa.

Zona	Estrato de profundidad (m)	Número de transectos
Pendiente Barlovento	3-5	10
Pendiente Barlovento	5-15	10
Pendiente Barlovento	>20	5
Pendiente de sotavento	3-5	10
Pendiente de sotavento	5-15	10
Pendiente de sotavento	>20	5

VII.-RESULTADOS

7.1.- Riqueza general de especies

La comunidad de erizos regulares del arrecife Tuxpan está compuesta por ocho especies: *Arbacia punctulata*, *Diadema antillarum*, *Echinometra lucunter*, *E. viridis*, *Eucidaris tribuloides*, *Lytechinus variegatus*, *L. williamsi* y *Tripneustes ventricosus*. De éstas, las que presentaron una mayor abundancia fueron: *E. lucunter* y *E. viridis*, representando el 47.4 y 44 % del total respectivamente. En contraste, *T. ventricosus* y *L. variegatus* representan sólo el 0.3 y 0.1 % del total (Figura 2).

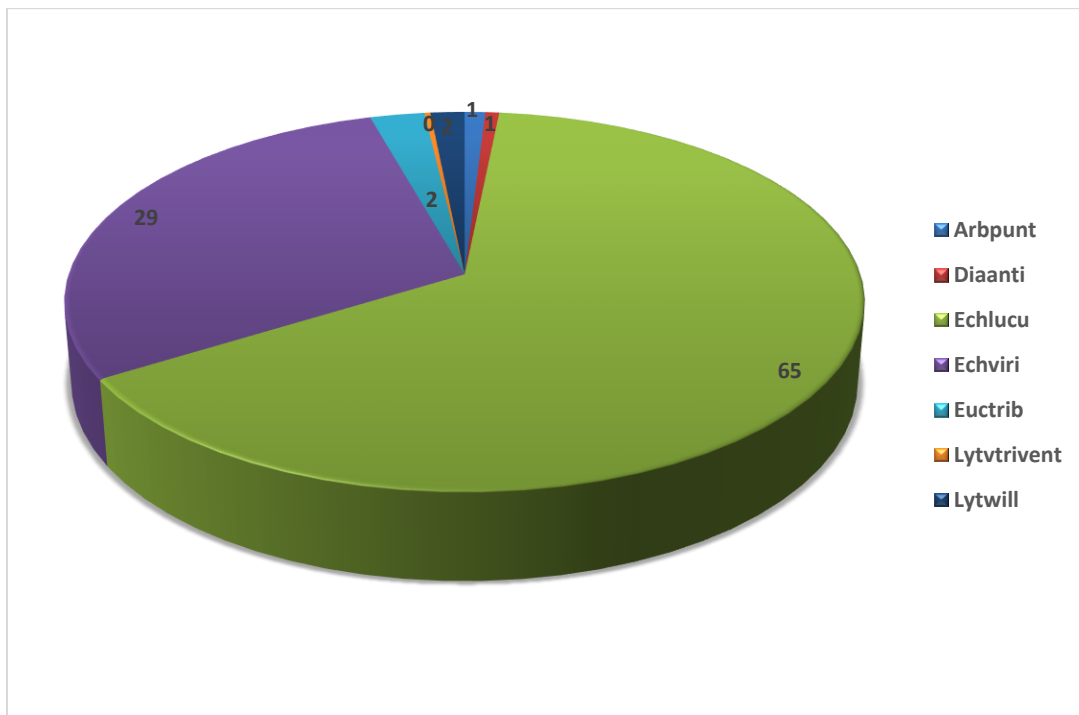


Figura 2.- Riqueza general de erizos regulares del arrecife Tuxpan.

7.2.- Riqueza a escala de zonas

Al dividir el sistema en las cuatro zonas arrecifales, se notan ligeras diferencias en la riqueza de erizos, siendo mayor en la planicie (siete especies) con respecto a la cresta (seis especies) y las pendientes (cinco especies). Por su parte, la

abundancia es muy contrastante, con los valores más altos en la cresta (156 ind/censo) y los más bajos en la planicie arrecifal (2 ind/censo) (Figura 3).

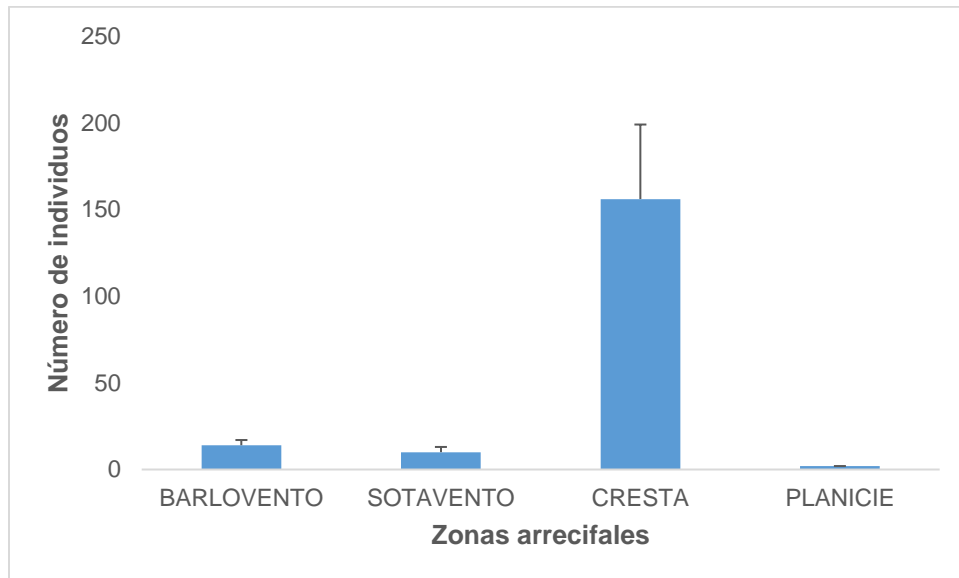


Figura 3.- Abundancia de erizos regulares por unidad de muestreo y por zona del arrecife Tuxpan. Las líneas verticales corresponden a la desviación estándar.

La aportación de cada especie a la abundancia es variable y depende de la zona arrecifal. De esta forma, *E. lucunter* es más abundante en las zonas someras y *E. viridis* en las profundas. Asimismo es notoria la presencia casi exclusiva de *T. ventricosus* y *L. variegatus* en la planicie arrecifal (Figura 4).

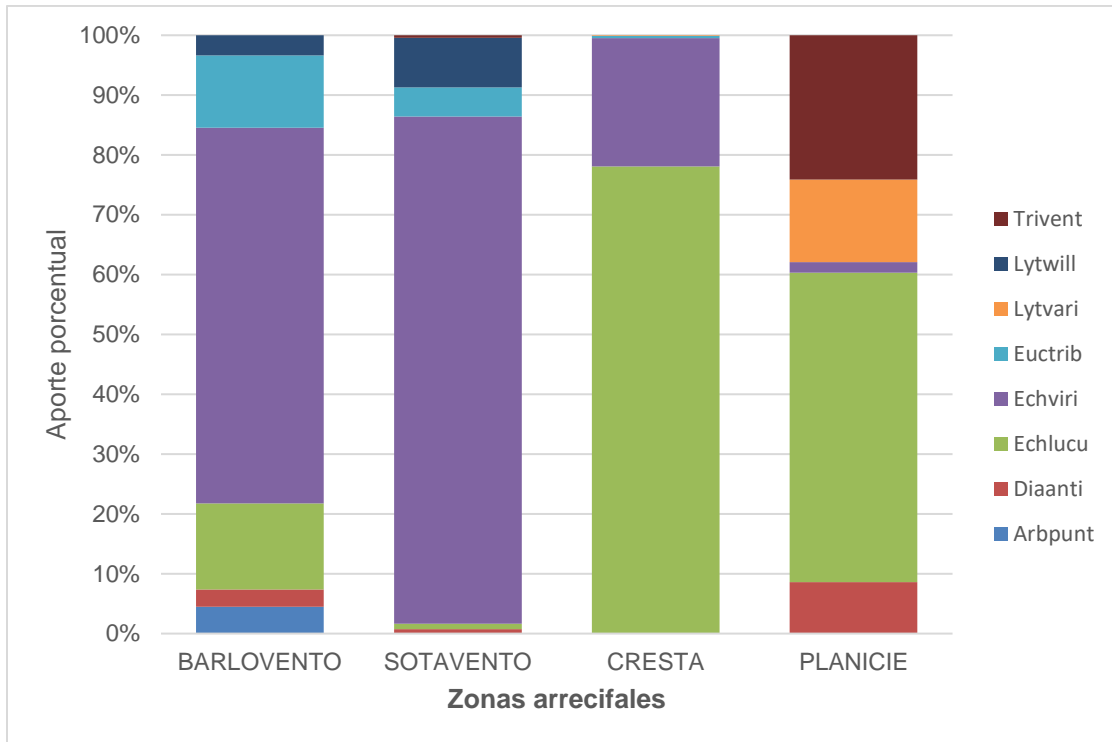


Figura 4.- Aporte porcentual de las especies de erizos por zona en el arrecife Tuxpan.

ESCALA DE HABITATS

7.3.- Planicie Arrecifal

El número de especies de erizos para los ambientes de la planicie es variable, la zona de pastos marinos presentó la menor riqueza y la de restos de coral la mayor (Figura 5). De la misma forma, la abundancia de los erizos en la planicie fue contrastante, ya que presentó hábitats con una gran abundancia como las crestas (646 ± 154) y otros con escasa abundancia como el ambiente de pastos marinos (6 ± 3), (Figura 6).

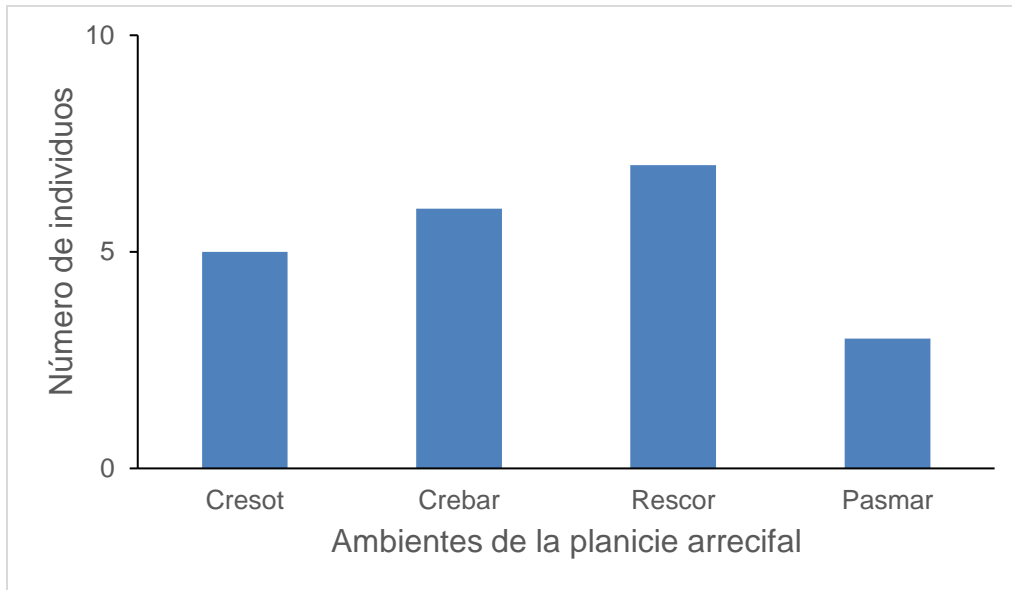


Figura 5.- Riqueza de especies de erizos en la planicie del arrecife Tuxpan.

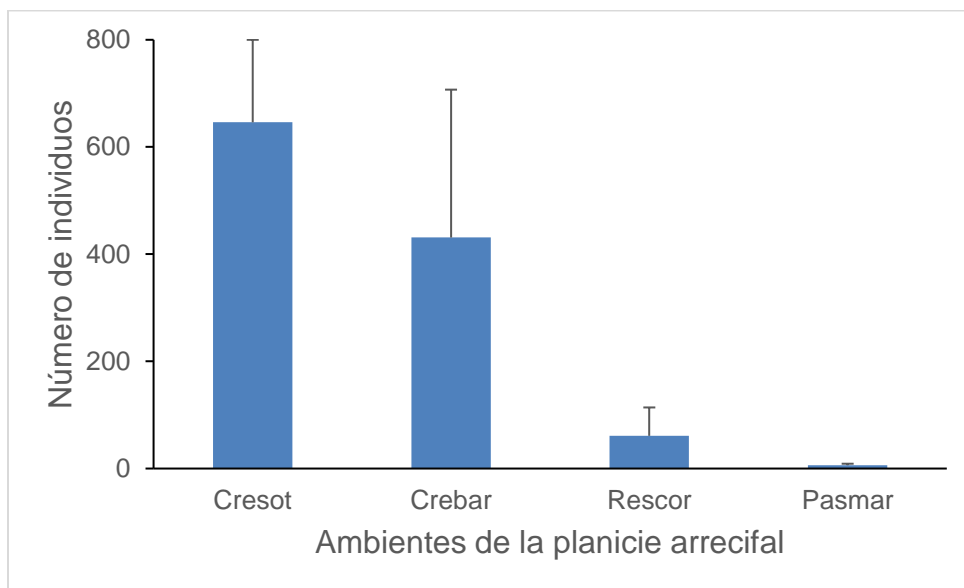


Figura 6.- Abundancia de erizos en la planicie del arrecife Tuxpan. Cresot= cresta de sotavento; Crebar= cresta de barlovento; Rescor= restos de coral y Pasmal= pastos marinos.

PENDIENTE DE SOTAVENTO

7.4.- Riqueza de especies

En la pendiente de sotavento se observaron siete especies de erizos en total (*Arbacia punctulata*, *Diadema antillarum*, *Echinometra lucunter*, *Echinometra viridis*, *Eucidaris tribuloides*, *Lytechinus williamsi* y *Tripneustes ventricosus*) y con base en los muestreos realizados, se determinó una menor riqueza en los estratos de 3 a 5 m y de 20 a 25 m de profundidad. En el estrato de 25 a 30 m no fue observado ningún erizo y entre los 5 y 20 m el número de especies es parecida (Figura 7).

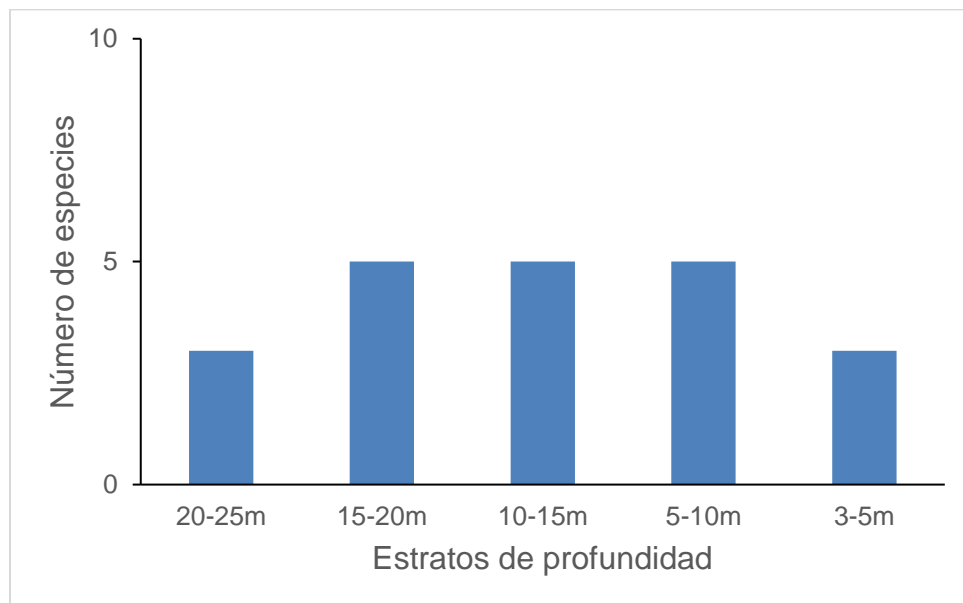


Figura 7.- Riqueza de especies de erizos por estrato de profundidad en el arrecife Tuxpan.

7.5.- Abundancia de especies

La abundancia de erizos en la pendiente de sotavento muestra un ligero gradiente que decrece a medida que aumenta la profundidad (Figura 8). *E. viridis* es más abundante en los estratos de 3 a 20 m, mientras que, *E. tribuloides* y *L. williamsi* fueron más abundantes en los estratos someros. El análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis indica que existen diferencias estadísticamente significativas en la abundancia de erizos entre las diferentes profundidades ($F=49.79$; $p<0.0001$). La prueba posterior (de rangos múltiples) define dos grupos, el primero reúne a las áreas con profundidades de 10 a 30 m y el segundo a la zonas someras entre 3 y 10 m.

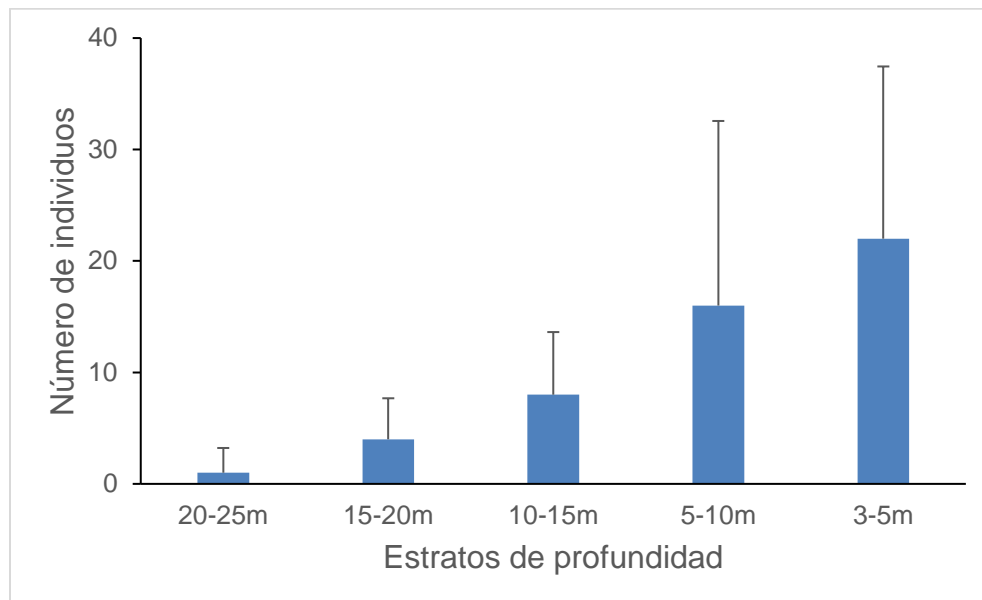


Figura 8.- Abundancia de erizos regulares de la pendiente de sotavento por estratos de profundidad en el arrecife Tuxpan.

PENDIENTE DE BARLOVENTO

7.6.- Riqueza de especies

El número de especies de erizos para la pendiente de barlovento fue de seis en total (*A. punctulata*, *D. antillarum*, *E. lucunter*, *E. viridis*, *E. tribuloides* y *L. williamsi*) fue variable pero no se detectó un patrón en función de la profundidad aunque fue ligeramente mayor en el estrato de 3 a 5 m (seis especies). La menor riqueza fue observada en la capa de 10 a 15 m (dos especies) (Figura 9).

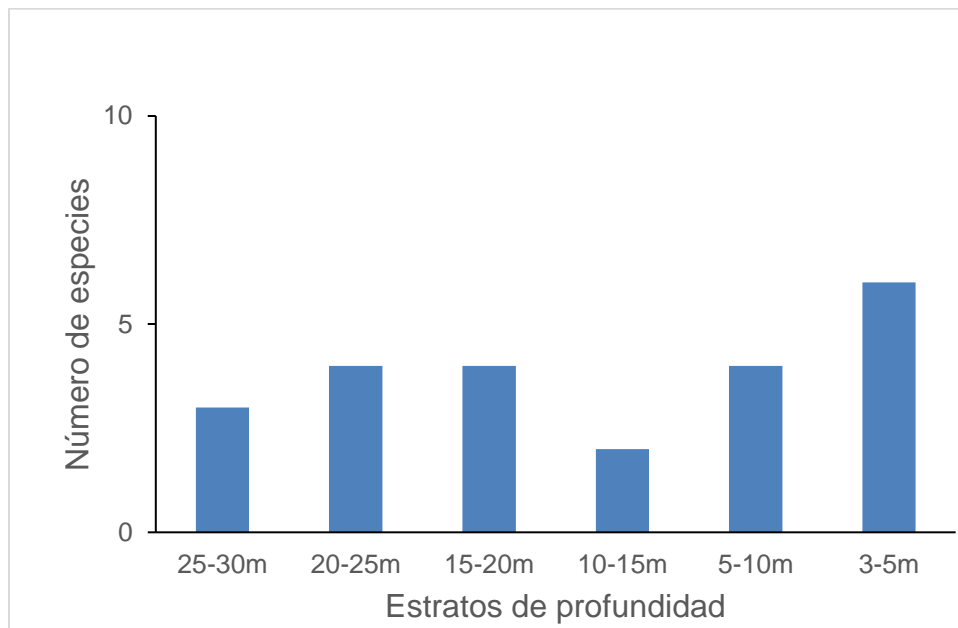


Figura 9.- Riqueza de especies de erizos por estrato de profundidad en la pendiente de barlovento del arrecife Tuxpan.

7.7.- Abundancia de especies

La evaluación de la abundancia de erizos en los diferentes estratos de profundidad en la pendiente de barlovento, muestra que las zonas profundas (20-30 m) tienen un menor número de erizos y las someras (3-5m) una mayor abundancia (Figura 10). El análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes profundidades ($F=99.12$; $p<0.0004$). La prueba posterior (de rangos múltiples) define tres grupos, el primero reúne a las áreas con profundidades de 20 a 30m, el segundo a los estratos entre 5 y 15 m y el tercero a la capa de 3 a 5m.

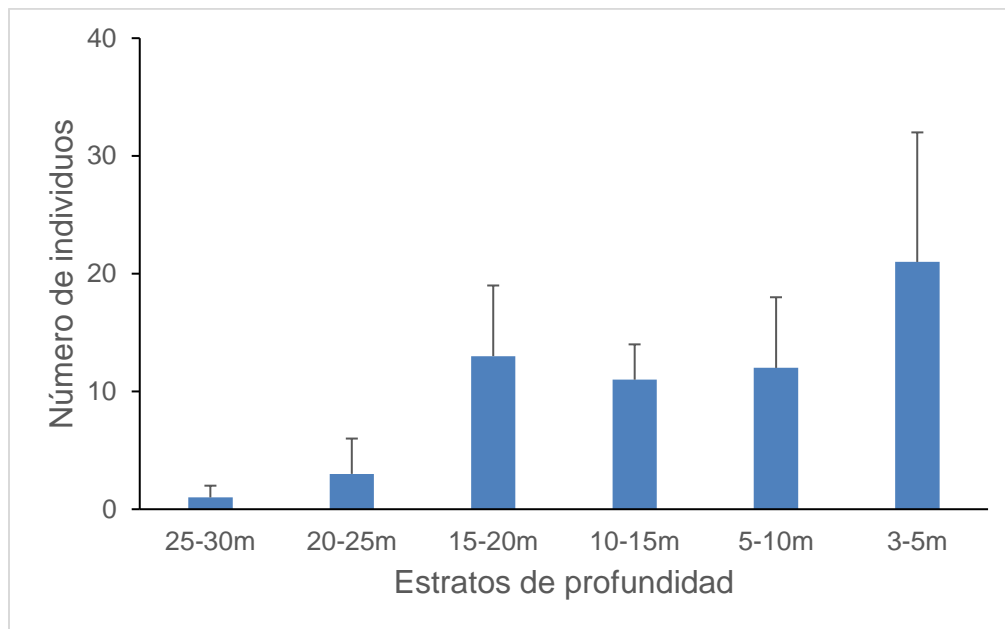


Figura 10.- Abundancia de erizos regulares de la pendiente de barlovento por estratos de profundidad en el arrecife Tuxpan.

7.8.- Densidad de especies a escala de zonas

La densidad promedio de erizos en el arrecife Tuxpan fue de 1.25 ± 1.53 ind/m². A escala de zonas arrecifales la mayor densidad se observó en las crestas (5.38 ± 2.43 ind/m²) y la menor en la planicie (0.51 ± 0.47 ind/m²). Mientras que las pendientes presentaron densidad similar, aunque ligeramente mayor en barlovento 1.17 ± 1.01 con respecto a sotavento 1.00 ± 1.26 (Figura 11).

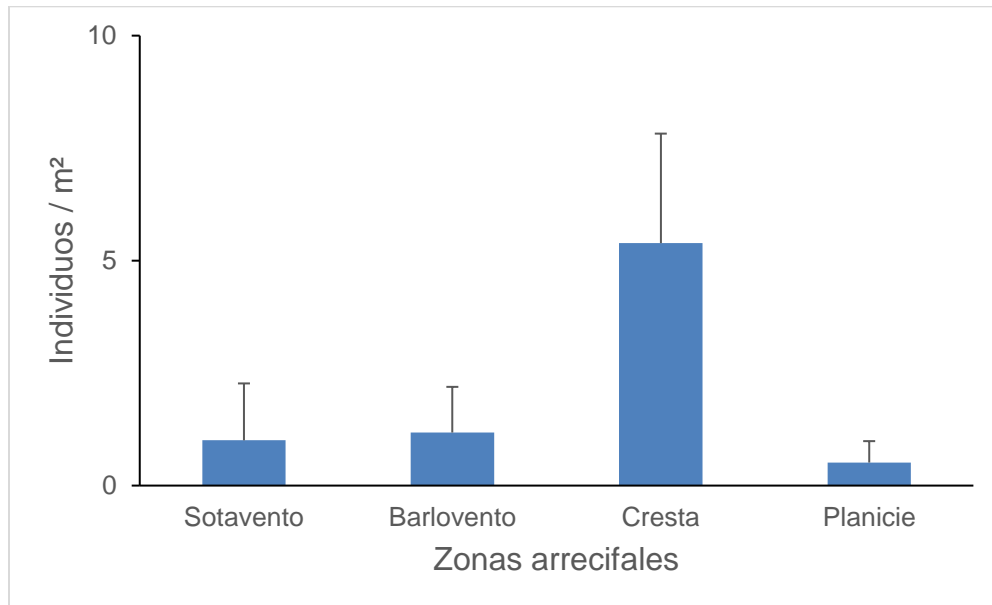


Figura 11.- Densidad promedio de erizos regulares del arrecife Tuxpan.

7.9.- Densidad de especies a escala de ambientes

La densidad de erizos a nivel de ambientes en la planicie arrecifal, es considerablemente mayor en las crestas especialmente en la de sotavento (6.46 ± 1.53 ind/m²) en contraste, el área de pastos marinos (0.24 ± 0.12 ind/m²) presentó una densidad muy baja (Figura 12).

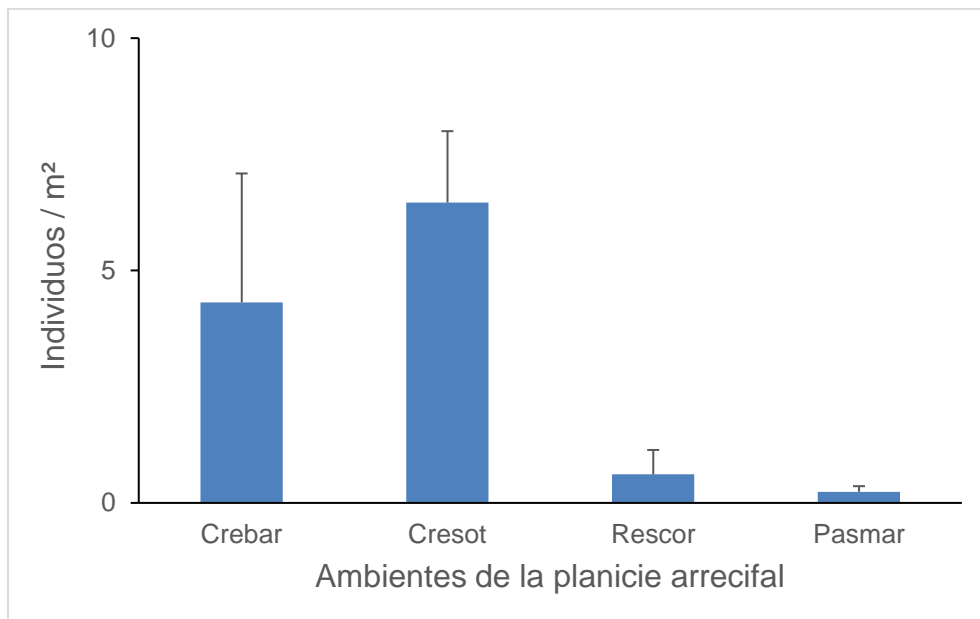


Figura 12.- Densidad de erizos regulares de los ambientes de la planicie del arrecife Tuxpan. Cresot= cresta de sotavento; Crebar= cresta de barlovento; Rescor= restos de coral y Pasmal= pastos marinos.

10.- Densidad de especies a escala de estratos de profundidad

A nivel de estratos de profundidad, la densidad de erizos en la pendiente de sotavento muestra un patrón, donde a medida que aumenta la profundidad el número de erizos disminuye. El estrato de 3 a 5m presenta la mayor densidad (2.23 ± 1.54 ind/m²) mientras que, el estrato de 20 a 25m mostró el valor más bajo (0.14 ± 0.22 ind/m²) (Figura 13). Por otra parte, en la pendiente de barlovento no se observa ninguna tendencia clara, sin embargo al igual que en sotavento en el estrato de 3 a 5m se observó la mayor densidad (2.08 ± 1.06 ind/m²) y la más baja en el estrato de 25 a 30m (0.06 ± 0.09 ind/m²) (Figura 14).

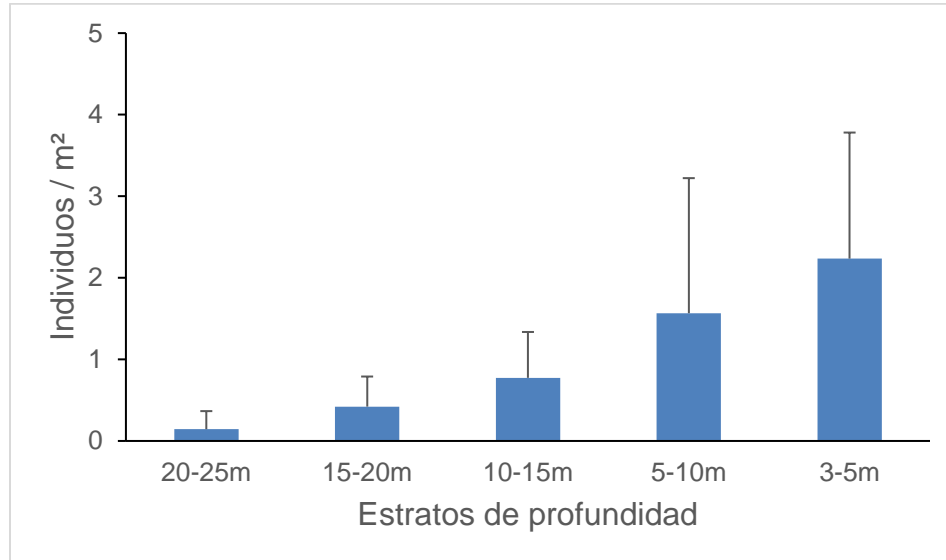


Figura 13.- Densidad de erizos regulares de la pendiente de sotavento por estratos de profundidad en el arrecife Tuxpan.

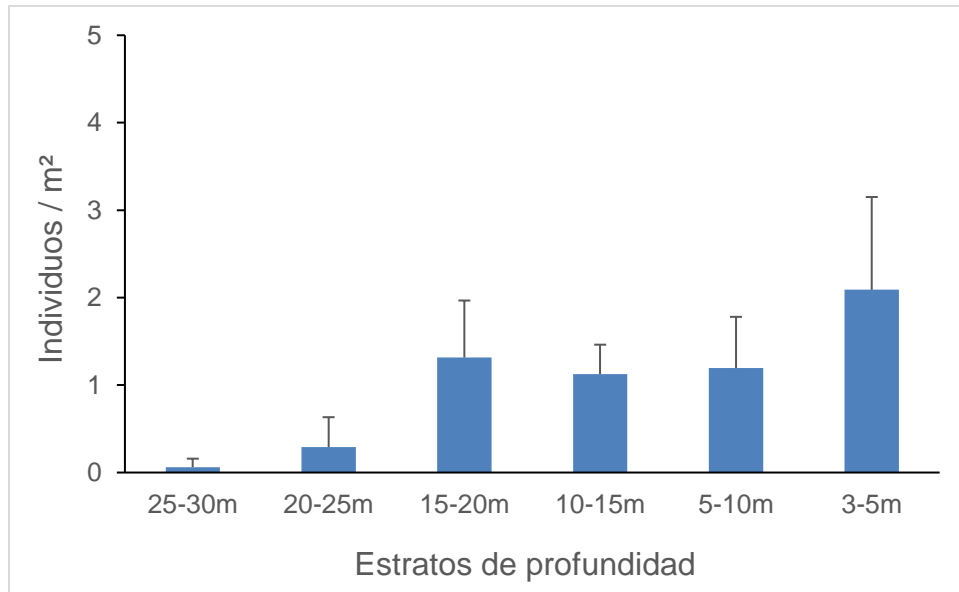


Figura 14.- Densidad de erizos regulares de la pendiente de barlovento por estratos de profundidad en el arrecife Tuxpan.

10.1.- Índices de diversidad a escala de zonas arrecifales

Los valores de los índices ecológicos para las diferentes zonas arrecifales en general, muestran una distribución no equitativa de las especies de erizos. Los valores más altos del índice de Shannon-Wiener y equidad corresponden a la pendiente de barlovento. Por el contrario, las otras zonas poseen valores bajos de equidad y altos de dominancia, resultado de que especies como *E. lucunter* en las zonas someras y *E. viridis* en las profundas son muy abundantes (Cuadro 3).

Cuadro 3.- Valores de los índices de diversidad para la comunidad de erizos por zonas en el arrecife Tuxpan.

	BARLOVENTO	SOTAVENTO	CRESTA	PLANICIE
DOMINANCIA	0.4334	0.7272	0.7599	0.7389
SHANNON	1.182	0.6009	0.4464	0.6383
EQUIDAD	0.6598	0.3088	0.2492	0.307

10.2.- Índices de diversidad a escala de hábitats

Los índices de diversidad de la comunidad de erizos en los hábitats de la planicie arrecifal reflejan la dominancia de especies como *E. lucunter* por esto, los valores del índice de Shannon-Wiener y equidad son relativamente bajos especialmente en la cresta de sotavento ($H' = 0.3991$, $J = 0.248$) y en contraste, el valor del índice de dominancia de Simpson es alto en este hábitat (0.7874). En pastos marinos es donde existe una distribución más equitativa de las especies y de la abundancia de erizos y por esto los valores de Shannon-Wiener y equidad son más altos ($H' = 0.6547$; $J = 0.5959$). La prueba de Kruskal Wallis aplicada a los valores del índice de Shannon, indica que no hay diferencias significativas entre ellos ($H = 3.32474$ $P = 0.3442$). En el (cuadro 4), se citan los valores calculados para cada ambiente de la planicie.

Cuadro 4.- Índices de diversidad para los habitas de la planicie arrecifal en el arrecife Tuxpan.

	CREBAR	CRESOT	RESCOR	PASMAR
DOMINANCIA	0.721	0.7874	0.7895	0.6358
SHANNON	0.5042	0.3991	0.5044	0.6547
EQUIDAD	0.2814	0.248	0.2592	0.5959

10.3.- Índices de diversidad a escala de estratos de profundidad

Los valores del índice de Shannon en la pendiente de sotavento son bajos en general, el valor más alto corresponde al estrato de 20 a 25 m y el menor a la capa de 3 a 5 m. Por otra parte, la equitatividad es mayor en la zona de 20 a 25 m y la menor en el estrato de 5 a 10 m como producto de la presencia de tres y cinco especies respectivamente así como por el número de individuos (23 y 877 respectivamente). La dominancia de Simpson muestra sus valores más altos en los estratos de 3 a 5, 5 a 10 y 15 a 20 m de profundidad, que resulta de la abundancia de *E. viridis* y *E. lucunter* (Cuadro 5).

Cuadro 5.- Valores de los índices de diversidad para la comunidad de erizos con base a los estratos de profundidad en la pendiente de sotavento.

	20-25M	15-20M	10-15M	5-10M	3-5M
DOMINANCIA	0.3875	0.7489	0.5717	0.7902	0.7555
SHANNON	1.022	0.5199	0.8298	0.474	0.4413
EQUIDAD	0.93	0.323	0.5156	0.2945	0.4017

Los índices de equidad en la pendiente de barlovento, muestran los valores más altos en los estratos de 25 a 30m y 3 a 5m y contrastan con lo calculados para los estratos de 10 a 15 y 15 y 20m. La dominancia de Simpson muestra sus valores mayores en los estratos de: 10 a 15 y 15 a 20m, que resulta de la abundancia de *E. viridis* (Cuadro 6).

Cuadro 6.- Valores de los índices de diversidad para la comunidad de erizos con base en los estratos de profundidad en la pendiente de barlovento.

	25-30M	20-25M	15-20M	10-15M	5-10M	3-5M
DOMINANCIA	0.4876	0.605	0.7615	0.978	0.5463	0.3118
SHANNON	0.86	0.7128	0.4953	0.06105	0.8128	1.311
EQUIDAD	0.7828	0.5142	0.3573	0.08807	0.5863	0.7319

ATRIBUTOS DEL BENTOS Y COMPLEJIDAD ESTRUCTURAL

10.4.- Cobertura general del sustrato del arrecife Tuxpan

El sustrato del arrecife Tuxpan está representado por diez categorías: coral, esponjas, arena, restos de coral, roca, octocorales, zooántidos, roca con algas filamentosas, roca con algas costrosas, roca con macroalgas. De éstas, la categoría de coral presenta la mayor cobertura (28%), y las categorías de menor cobertura fueron: octocales, zooantidos y esponjas (otros) que representan el 3% (Figura15).

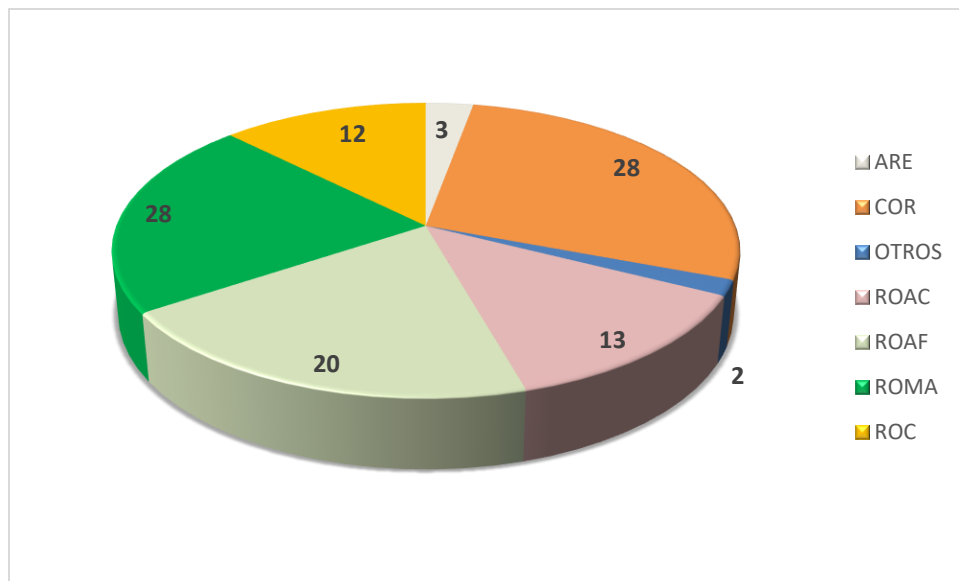


Figura 15.- Cobertura general del sustrato del arrecife Tuxpan. (ROMA= roca con macroalgas; COR=coral; ARENA=arena; ROC=roca; ROAC=roca con algas costrosas; ROAF=roca con algas filamentosas).

10.5.- Cobertura del sustrato de los ambientes de la planicie arrecifal

El sustrato en los ambientes de la planicie arrecifal es muy contrastante, mientras que en las crestas dominan la roca coralina cubierta de algas costrosas o filamentosas (alrededor del 80%), en la zona de restos y pastos marinos, los fragmentos de coral y la arena son los más importantes. La cobertura coralina en general es baja, pero más importante en las crestas (14 y 8 % en sotavento y barlovento respectivamente), en estas zonas los octocorales representados por *Eritropodium caribbaeorum* cubren hasta el 9 % (Figura 16).

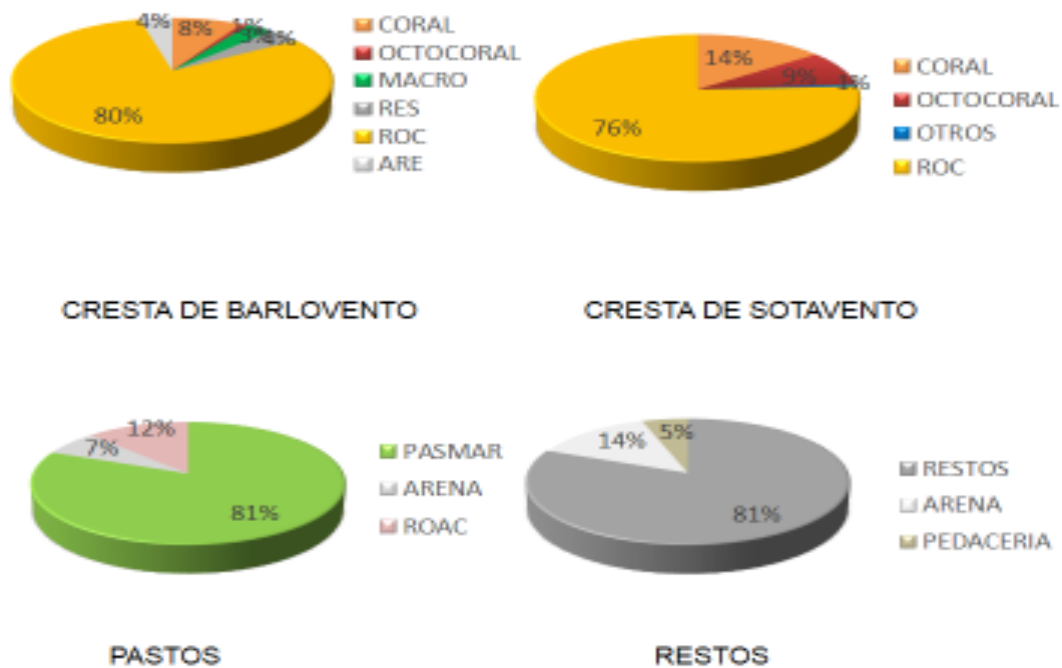


Figura 16.- Cobertura de los tipos de sustratos de los hábitats de la planicie arrecifal.

10.6.- Cobertura del sustrato de la pendiente de sotavento

El sustrato de la pendiente de sotavento del arrecife Tuxpan está compuesto por nueve categorías: restos de coral, arena, corales, roca coralina, roca con algas filamentosas, esponjas, roca coralina con macroalgas, octocorales, zoántidos y roca con algas costrosas. De éstos, los grupos dominantes son: el coral (38%) y roca con macroalgas (31%) las categorías de menor cobertura fueron: esponjas, roca con algas costrosas, restos de coral y octocorales-zooantidos (otros) con el 4% (Figura 17).

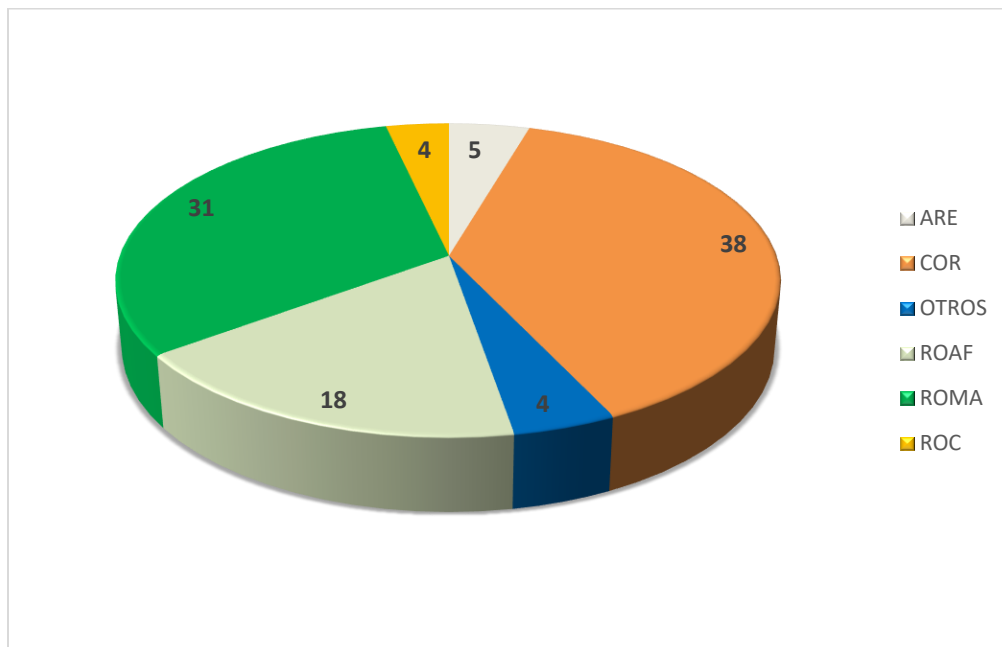


Figura 17.- Cobertura general de la pendiente de sotavento del arrecife Tuxpan.

10.7.- Cobertura del sustrato de la pendiente de barlovento

El sustrato de la pendiente de barlovento del arrecife Tuxpan está compuesto por ocho categorías: arena, restos de coral, coral, roca coralina, roca con algas filamentosas, esponjas, roca coralina con macroalgas, y roca con algas costrosas. Los grupos de mayor cobertura fueron: roca con algas costrosas (30%), seguido de la roca coralina (26%) y la roca con algas filamentosas (24%). Los de menor cobertura fueron: esponjas, restos de coral y arena que se incluyen en el grupo de otros (1%) (Figura 18).

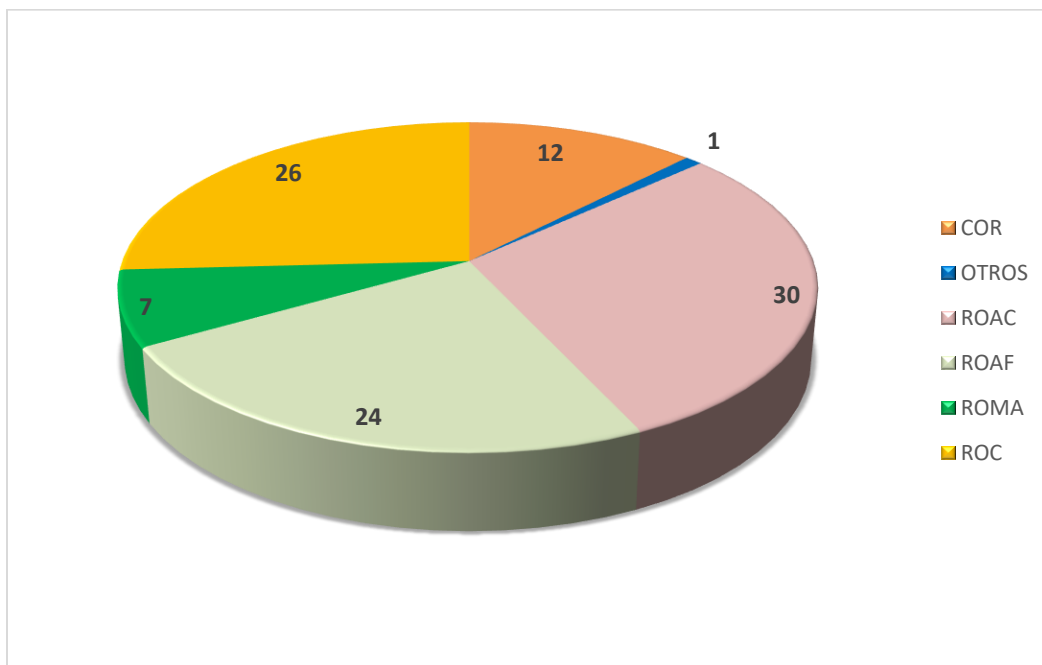


Figura 18.- Cobertura general del sustrato de la pendiente de barlovento del arrecife Tuxpan.

10.8.- Cobertura del sustrato por estratos de profundidad de la pendiente de sotavento.

Los estratos de la pendiente de sotavento se caracterizan por presentar una gran cobertura de roca con macroalgas (ROMA) que se incrementa a medida que aumenta la profundidad. En contraste, la cobertura coralina (COR) decrece en función de la profundidad (Figura 19).

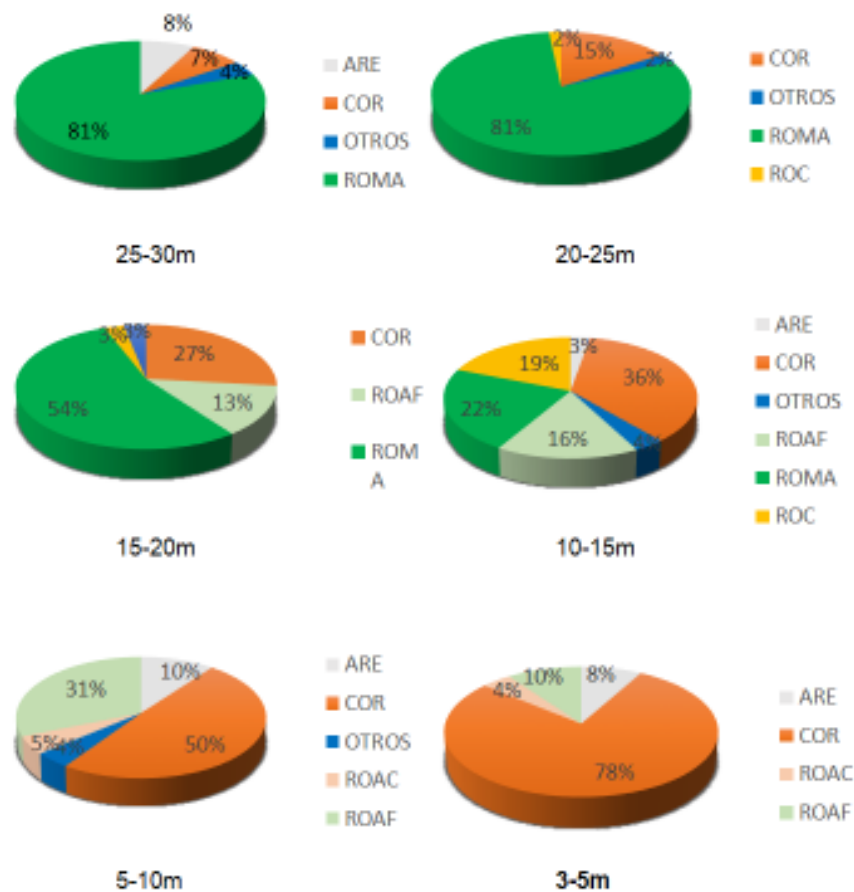


Figura 19.- Cobertura del sustrato por estratos de profundidad en la pendiente de sotavento del arrecife Tuxpan.

10.9.- Cobertura del sustrato por estratos de profundidad pendiente de barlovento

El sustrato de las diferentes capas de la pendiente de barlovento presentan atributos diferenciales, la roca con algas costrosas (ROAC) está mejor representada en los estratos de 3 a 20 m de profundidad, la roca con algas filamentosas (ROAF) es más importante en los estratos de 3 a 5m y de 15 a 20m de profundidad, los corales (COR) en la capa de 10 a 20 m, la roca coralina (ROC) presenta una alta proporción entre los 20 y 30m, mientras que la roca con macroalgas (ROMA) es alta en la capa de 25 a 30m (Figura 20).

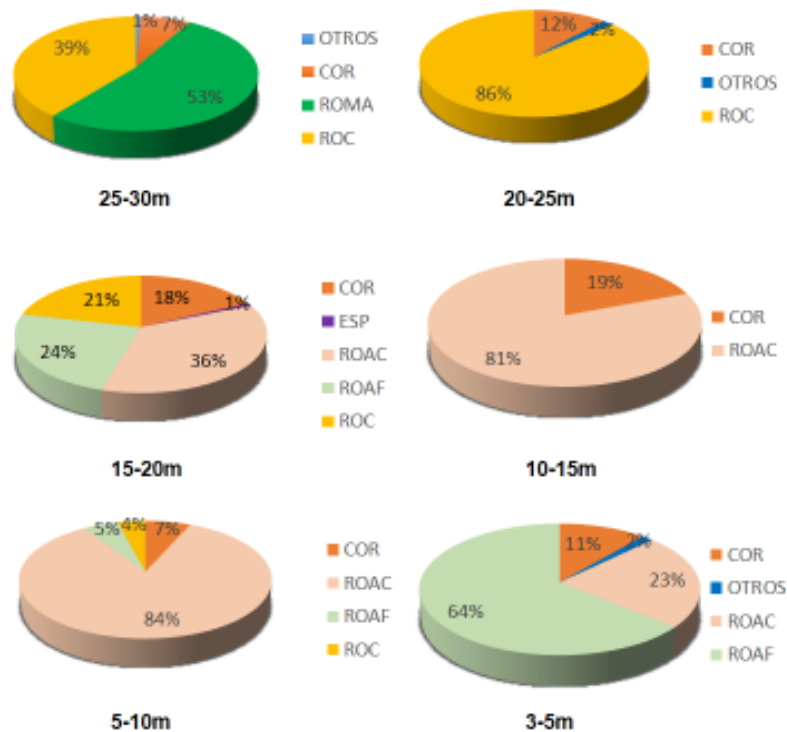


Figura 20.- Cobertura por estratos del sustrato de la pendiente de barlovento del arrecife Tuxpan.

Complejidad estructural

La complejidad estructural del sustrato del arrecife Tuxpan fue de 1.6, valor que indica una estructura moderadamente compleja que resulta del crecimiento coralino. La complejidad para las pendientes en general, es parecida aunque ligeramente mayor en sotavento (1.67) con respecto a barlovento (1.48). El análisis por estrato de profundidad revela que la complejidad estructural es variable, siendo mayor en los estratos de 3 a 5, 10 a 15 y 20 a 25 m en barlovento, así como en las capas de 15 a 20 y 20 a 25 en sotavento (Cuadros 7 y 8).

Cuadro 7.- Complejidad estructural por estratos de la pendiente de barlovento del arrecife Tuxpan.

PENDIENTE DE BARLOVENTO

ESTRATOS	25-30m	20-25m	15-20m	10-15m	5-10m	3-5m
COMPLEJIDAD	1.43723249	1.5535379	1.48618761	1.52630573	1.32972684	1.51991385

Cuadro 8.- Complejidad estructural por estratos de la pendiente de sotavento del arrecife Tuxpan.

PENDIENTE DE SOTAVENTO

ESTRATOS	25-30m	20-25m	15-20m	10-15m	5-10m	3-5m
COMPLEJIDAD	1.59448095	1.92610836	2.0124292	1.69716123	1.47565119	1.55412673

11.- Relación de la riqueza y la abundancia con la profundidad y el sustrato de la planicie arrecifal

El análisis de correspondencia canónica (CCA) explica en los dos primeros ejes cerca del 96.6% de la variación, este análisis separa a la comunidad de erizos regulares en tres grupos: el primero compuesto por: *L. variegatus* y *T. ventricosus* que se asocian exclusivamente con el área de pastos marinos (PASMAR), el segundo formado por *D. antillarum* asociado más a restos de coral (RES) y *E. viridis* asociado a sustrato con roca con macroalgas (ROMA), en el tercer grupo se encuentran *E. lucunter*, *A. punctulata* y *E. tribuloides* mayormente asociado a sustrato coralino y también muestran una asociación con la complejidad estructural a diferencia de las demás especies (Figura 21).

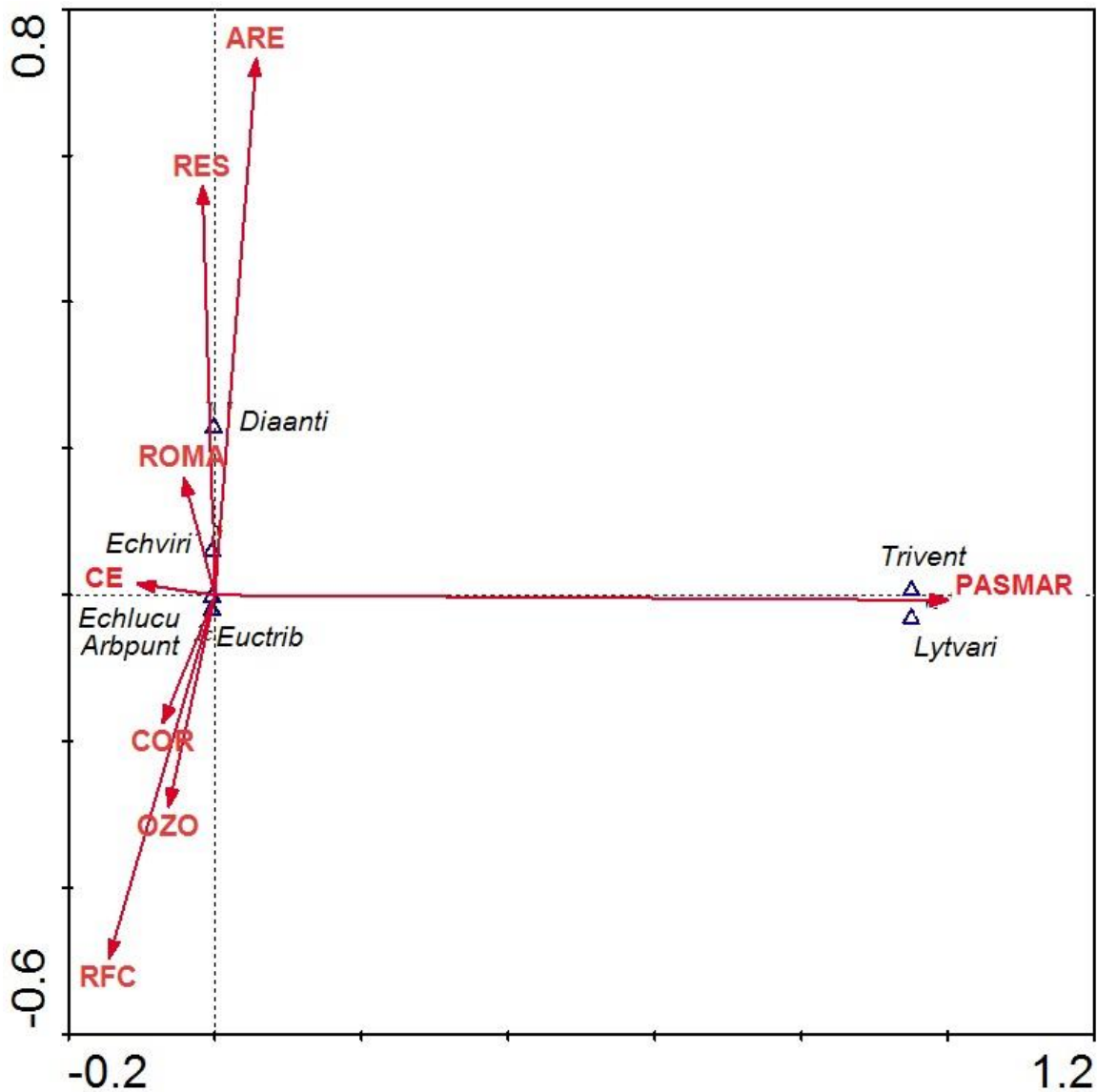


Figura 21.- Análisis de correspondencia canónica (CCA) de la planicie arrecifal. Diaanti= *Diadema antillarum*; Echlucu= *Echinometra lucunter*; Echviri= *Echinometra viridis*. Arbpunt= *Arbacia punctulata*; Euctrib= *Eucidaris tribuloides*; Trivent= *Tripneustes Ventricosus* y Lytvari= *Lytechinus variegatus*. ARE= arena OZO= octocorales y zooantidos; PASMAR= pasto marino; RFC= roca con algas filamentosas y costrosas; COR=coral; RES= restos; ROMA= roca con macroalgas y CE= complejidad estructural. Las especies están representadas por triángulos.

11.1.- Relación de la riqueza y abundancia con la profundidad y el sustrato de la pendiente de sotavento

El análisis de correspondencia canónica (CCA) explica en los primeros dos ejes el 74.7% de la variación obtenida en esta zona. Este análisis separa a la comunidad de erizos regulares en cuatro grupos, el primero compuesto por: *E. tribuloides*, y *D. antillarum* que se asocia al sustrato de roca con algas costrosas (ROAC) y roca con macroalgas (ROMA) distribuidas a profundidades de 15 a 20m. *E. viridis* no muestra un patrón asociado a los estratos de profundidad, dado que es común en todos los ambientes de la pendiente; el segundo grupo está formado por *A. punctulata* y *T. ventricosus* las cuales se asocian a sustrato coralino (CO) y a profundidades de 5 a 10m; el tercer grupo corresponde a *L. williamsi*, se relaciona con el sustrato rocoso (ROC) y profundidades de 3 a 5 y 10 a 15m; por último, *E. lucunter* se asocia al sustrato de roca con macroalgas (ROMA) pero no muestra relación con la profundidad (Figura 22).

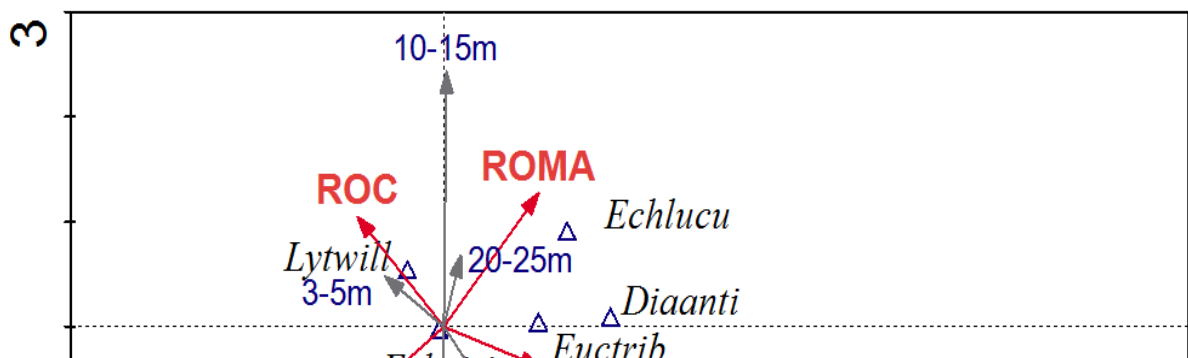


Figura 22.- Análisis de correspondencia canónica (CCA) de la pendiente de sotavento. Diaanti= *Diadema antillarum*; Echlucu= *Echinometra lucunter*, Echviri= *Echinometra viridis*. Arbpunt= *Arbacia punctulata*; Euctrib= *Eucidaris tribuloides*; Trivent= *Tripneustes Ventricosus*; Lytvari= *Lytechinus variegatus* y Lytwill= *Lytechinus williamsi*. ROAC= roca con algas costrosas; COR=coral; ROC= roca y ROMA= roca con macroalgas. Las especies están representadas por triángulos.

11.2.- Relación de la riqueza y abundancia con la profundidad y el sustrato de la pendiente de barlovento.

El análisis de correspondencias canónicas (CCA) relacionando todas a las especies con la profundidad y los tipos de sustrato explica en los primeros dos ejes el 83.3% de la variación obtenida para esta zona y muestra la formación de cuatro grupos el primero formado por *E. lucunter* con el estrato de 3 a 5m y se observa que el sustrato no influyó en su distribución; el segundo lo forman *E. viridis* y *L. williamsi* asociadas a la roca con algas costrosas (ROAC) y esponjas (ESP) así como a las capas de 10 a 15 y 15 a 20m de profundidad respectivamente; el tercer grupo corresponde a *D. antillarum* que se asocia al sustrato rocoso (ROC) y profundidades de 5 a 10 y 20 a 25m; el último grupo formado por: *E. tribuloides* y *A. punctulata* se ve asociado al tipo de sustrato de roca con algas filamentosas (ROAF) y restos de coral (REC) en profundidades de 3 a 5 y 25 a 30m respectivamente (Figura 23).

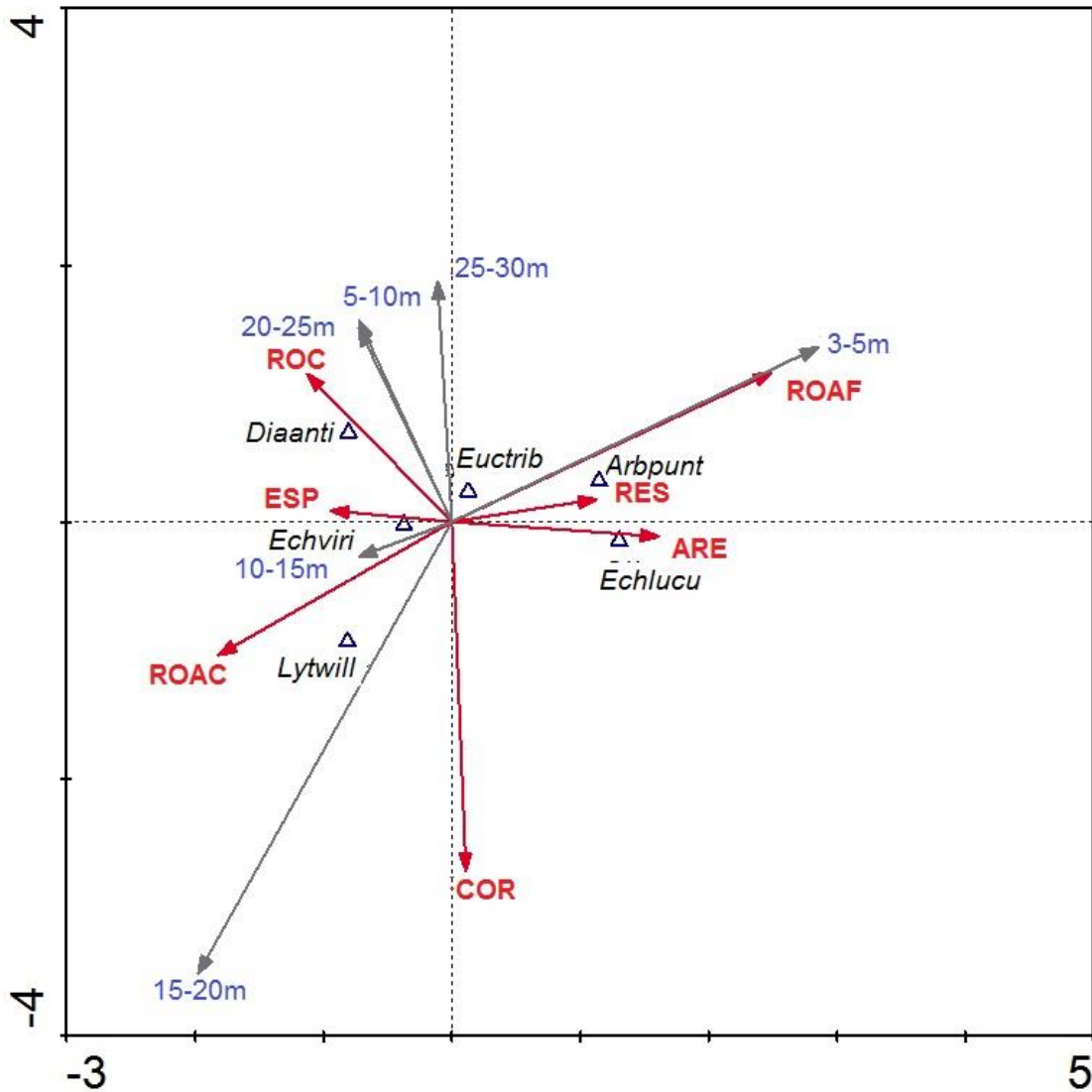


Figura 23.- Análisis de correspondencia canónica (CCA) de la pendiente de barlovento. Diaanti= *Diadema antillarum*; Echlucu= *Echinometra lucunter*; Echwiri= *Echinometra viridis*. Arbpunt= *Arbacia punctulata*; Euctrib= *Eucidaris tribuloides*; Trivent= *Tripneustes Ventricosus* y Lytwill= *Lytechinus williamsi*. ARE= arena; COR= coral; ROAC= roca con algas costrosas; ESP= esponja; ROC= roca; RES= restos de coral y ROAF=roca con algas filamentosas. Las especies están representadas por triángulos.

VIII.- PROPUESTA DE MONITOREO

Para realizar monitoreos de las comunidades de erizos en el arrecife Tuxpan y otros con el mismo patrón estructural, debe considerarse al menos tres escalas: sistema, zonas y ambientes arrecifales. Las zonas deben ser: planicie, cresta y las pendientes de barlovento y sotavento. En la planicie, deben tomarse los siguientes ambientes al menos áreas de algas o pastos marinos y zonas con cobertura coralina no mayor al 5%, dado que existen especies típicas. Aunque no hay diferencias significativas entre las crestas, es conveniente dividir las en función de su localización con respecto a los vientos dominantes (barlovento y sotavento). Por su parte, en la pendientes barlovento es recomendable dividir la zona en tres estratos de profundidad (3 a 5 m, 5 a 15 m y >20 m), los cuales permiten diferenciarlos claramente (Figura 24) con base en su composición y abundancia. Las pruebas de Kruskal-Wallis indican que existen diferencias significativas en la abundancia de erizos entre estratos de profundidad en barlovento ($H=17.5$; $p=0.00016$) y sotavento ($H=14.779$; $p=0.00062$).

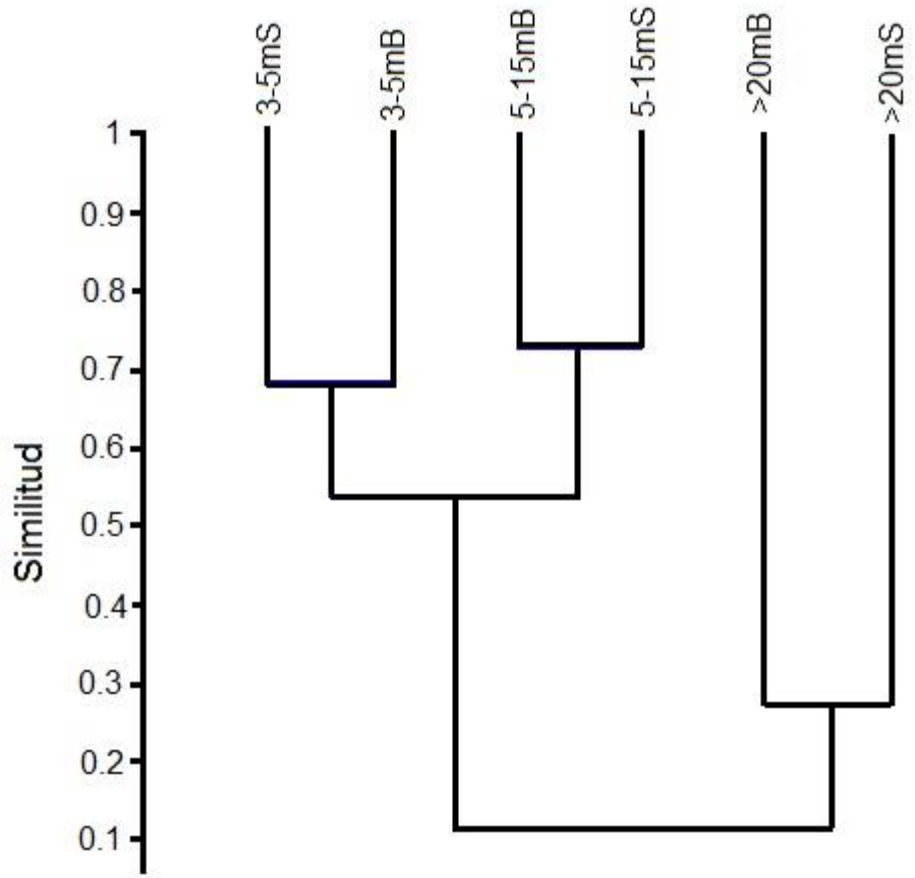


Figura 24.- Dendrograma que separa a las comunidades de erizos en función de los estratos de profundidad en las pendientes de barlovento y sotavento.

IX.- DISCUSIÓN

La riqueza de equinoideos regulares observada en el arrecife Tuxpan (ocho especies) en general es muy parecida a la registrada para otros sistemas del norte de Veracruz (Gamboa, 1978; Cárdenas, 2010; Escárcega-Quiroga, 2014; Mendoza, 2014; González-Gándara *et al.*, 2015; Morales, 2015; Rubí, 2016) y es ligeramente mayor comparada con otros sistemas, como el Pantepec, donde sólo se reportan cuatro especies (Cruz, 2015) o los arrecifes: Blake, Blanquilla y Medio que tienen una riqueza entre 4 y 6 especies (González-Gándara *et al.*, 2015). Por otra parte, al contrastar con los arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano, existe una gran similitud con los datos de: Sánchez (1993); Solís-Marín *et al.* (2007); Solís-Marín y Laguarda-Figueras (2011) y Pérez-España *et al.*, (2015). Las diferencias con algunos sistemas son atribuibles a que no se ha realizado un muestreo suficiente (p. e. Blanquilla) o bien a que son sistemas que por su profundidad (p. e. Pantepec) presentan una escasa iluminación que es desfavorable para la fotosíntesis y se reduce la cobertura de algas o el desarrollo de praderas que son propias para el establecimiento de algunas especies (p. e. *L. variegatus*) (Watts *et al.*, 2013). Por otro lado, los giros que se generan cerca de los arrecifes en Veracruz (Salas-Pérez *et al.*, 2015) pueden limitar la dispersión de las larvas y por tanto el asentamiento de erizos. Uno de las observaciones a destacar, es la presencia de *L. williamsi* especialmente en la pendiente de sotavento, la cual ya había sido reportada por Acosta (2010) y Cárdenas (2010) para el arrecife Lobos y Cruz (2013) para el Tanhuijo, Morales (2015) para el arrecife En medio y Rubí (2016) para el arrecife Oro Verde.

La valoración de la riqueza a escala de zonas arrecifales define que las zonas someras presentan un mayor número de especies comparadas con las profundas (Pérez-España *et al.*, 2015) dado que algunas de ellas se asocian con los pastos marinos (p. e. *L. variegatus*) o con las áreas expuestas a oleaje intenso (p.e. *E. lucunter*). En este sentido, la disponibilidad de alimento parece ser el detonante de la riqueza de erizos, así como, las condiciones estructurales y ambientales del hábitat (Bronstein y Loya, 2014).

A escala de hábitats se notan diferencias en la riqueza, las áreas de pastos marinos y restos de coral son las más pobres (tres especies), mientras que las crestas y pendientes someras las de mayor diversidad específica (seis especies). Al igual que en la escala anterior, los atributos del ambiente suelen definir esa riqueza, entre los cuales destacan la cobertura de roca coralina que permite el establecimiento de las comunidades de algas. Por ejemplo, *A. punctulata* en el arrecife Tuxpan fue observada en la cresta arrecifal compartiendo con *E. viridis* y *E. lucunter* (Barón, 2010; Reyes, 2015) ya que prefiere las zonas someras de los ambientes rocosos, arenosos y de restos de coral (Gianguzza y Bonaviri, 2013) y ocurre ocasionalmente junto con *L. variegatus* (Hendler *et al.*, 1995) dados sus hábitos omnívoros, ya que consume algas filamentosas, pastos marinos, algas incrustantes, balanús y poliquetos (Agnetta *et al.*, 2013). *L. variegatus* al igual que *T. ventricosus* son comunes en el ambiente de pasto marino, incluso se han observado organismos cubiertos de hojas de *Thalassia testudinum*, posiblemente para protegerse de los rayos solares o como camuflaje ante posibles

depredadores, además de que son parte de su dieta alimenticia (Bolaños *et al.*, 2005; Celaya-Hernández *et al.*, 2007; Capetillo *et al.*, 2011; Watts *et al.*, 2013).

Para las pendientes arrecifales, existen diferencias en función de los estratos de profundidad. Los valores más altos corresponden a la capa de 5 a 20 m (Figura 7) que coincide con la zona de mayor riqueza coralina. En contraste los estratos profundos presentan una riqueza menor que puede explicarse por la tendencia de varias especies a asociarse a las áreas someras de alta dinámica y disponibilidad de algas que son el principal alimento.

La fauna de equinoideos registrada para el Golfo de México y el Caribe incluye 81 especies (Hendler *et al.*, 1995; Bolaños *et al.*, 2005; Duran-González *et al.*, 2005; Del Valle García *et al.*, 2008; Pawson *et al.*, 2009; Quinn-Lampson *et al.*, 2015). En Veracruz se han reportado un total de 14 especies, nueve de ellas son regulares (Celaya-Hernández *et al.*, 2007; Solís-Marín *et al.*, 2007; Solís-Marín y Laguarda-Figueras, 2011; González-Gándara *et al.*, 2015) y casi todas están presentes en el arrecife Tuxpan especialmente porque el sistema arrecifal es un sustrato adecuado para el establecimiento de los erizos y en este ambiente existe suficiente alimento así como las condiciones variables del sustrato que definen la distribución de las especies en función de sus requerimientos. De esta forma, las especies que no toleran la turbidez como es el caso de *L. variegatus* (Moore *et al.*, 1963) se localizan en las zonas someras de calma representados por las praderas de pastos marinos (Watts *et al.*, 2013) y otras como *E. lucunter* que requieren de sustrato duro y gran dinámica del oleaje, se establecen en las crestas arrecifales (Celaya-Hernández *et al.*, 2007; McClanahan y Muthiga, 2013).

Existe variación en la densidad de erizos entre arrecifes lo cual tiene relación con procesos como: la reproducción, el reclutamiento, la competencia, la depredación o con las condiciones ambientales (Lawrence y Agatsuma, 2013; McClanahan y Muthiga, 2013; Muthiga y McClanahan, 2013; Watts *et al.*, 2013). Los valores de la densidad de erizos son importantes en los arrecifes coralinos ya que ellos son responsables de más del 90 % de la bioerosión en el Caribe (Hendler *et al.*, 1995) mediante este proceso pueden modificar la estructura arrecifal, formando oquedades en el sustrato que son colonizadas por otros organismos (Monroy y Solano, 2005; Brontein y Loya, 2014). Por otra parte, forman parte de la dieta de al menos 34 especies de peces (Brown-Saracino *et al.*, 2014; Randall, 1967) entre esos erizos destacan; las especies de los géneros: *Echinometra* y *Diadema* (McClanahan y Muthiga, 2013; Watts *et al.*, 2013). En el arrecife Tuxpan, la densidad general es más alta (4.193 ind/m²) que la registrada en los arrecifes Lobos (2.371 ind/m²) y Tahuijo (3.016) por Acosta (2010) y Cruz (2013) pero ligeramente menor a la reportada por Reyes (2015) para el arrecife Tuxpan (5.16 ind/m²) debido a que este último autor solo documenta las poblaciones de la planicie arrecifal.

La zonación del arrecife Tuxpan es determinante en la distribución y abundancia de los erizos, la mayor densidad de la cresta arrecifal (7.8 ind /m²) deriva de la alta cobertura de roca coralina (~80 %) que tipifica a esta zona y que ofrece además de un sustrato duro adecuado para el establecimiento de los erizos, un espacio para el desarrollo de comunidades de algas epilíticas. Las especies de género *Echinometra* son comunes en estas áreas intermareales y el límite superior es

definido por la tolerancia a la desecación o a la temperatura alta del agua (Arakaki y Uechara, 1991). *E. lucunter* es común en los sustratos duros expuestos, incluyendo la zona de rompiente (Hendler *et al.*, 1995; Monroy y Solano, 2005) y al igual que *E. viridis* forman agregaciones con densidades variables que resultan del asentamiento larval así como de los factores ambientales como la desecación, la disponibilidad de cuevas, alimento así como la presencia de sus depredadores (McClanahan y Kurtis, 1991 Celaya-Hernández *et al.*, 2008). La densidad de erizos en la cresta del arrecife Tuxpan es notablemente mayor que los registrados en Lobos (3.493 ind/m²) y Tanhuijo (4.749 ind/ m²) y esto es definido particularmente por la abundancia de *E. lucunter* que representó el 63 % del total, al igual que ocurre en otros sistemas arrecifales del Golfo de México y el Caribe (Gamboa 1978; Monroy y Solano, 2005; Barón, 2007; Celaya-Hernández *et al.*, 2008; Acosta 2010; Cárdenas 2010;) especialmente en las zonas someras con gran dinámica del oleaje y sustrato rocoso, donde florecen las algas epilíticas o transitan las algas movidas por las corrientes que son su principal alimento (Nodarse, 2001; Monroy y Solano, 2005).

La planicie arrecifal de la formación Tuxpan está conformada por varios ambientes que se caracterizan por grupos funcionales o bentónicos (Alfaro, 2012), dos de ellos son: pastos marinos representado por *T. testudinum* y restos de coral, donde los fragmentos de *Porites* sp son típicos. La densidad de erizos en esta zona arrecifal es baja (0.097 ind/m²) comparada con la cresta y las pendientes, probablemente debido a la menor cobertura de algas filamentosas y algas

costrosas. Además, es clara la dominancia de *T. ventricosus* y *L. variegatus* en los pastos marinos así como *E. lucunter* cuando hay formaciones rocosas.

Las pendientes arrecifales, en general presentan una densidad decreciente a medida que incrementa la profundidad, este patrón es muy claro en la pendiente de sotavento. Los valores en el arrecife Tuxpan son ligeramente más altos en barlovento (1.309 ind/m^2) con respecto a sotavento (0.96 ind/m^2) y los erizos están representados por *E. viridis* que prefiere parches sumergidos de hasta 20m de profundidad (McClanahan y Muthiga, 2013) y cuyos valores de densidad llegan hasta 3.77 ind/m^2 en las zonas de 3 a 5 m, aunque se puede localizar en todas las zonas y ambientes arrecifales. Aquellos datos contrastan con los reportes de densidad para la pendiente de barlovento de los arrecifes Lobos (0.7 ind/m^2) y Tanhuijo (0.95 ind/m^2), así como los correspondientes a la pendiente de sotavento, que fueron de 2.85 ind/m^2 para Lobos y 3.107 ind/m^2 para Tanhuijo (Acosta, 2010; Cruz, 2013). Otra especie típica de las pendientes es *L. williamsi*, que solo fue observada en sotavento donde dominan los corales masivos y la cobertura de los mismos es más alta que en las demás zonas del arrecife.

La densidad de *D. antillarum* es un indicador del estado de salud arrecifal y se ha documentado para el arrecife Tuxpan, una densidad que va desde 0.006 hasta 0.03 ind/m^2 , que son muy bajos comparados con la densidad registrada para el arrecife Lobos donde alcanzó hasta 0.361 ind/m^2 en el 2009 y en el Tanhuijo

donde se calculó hasta 0.325 ind /m² (Cruz, 2013), lo cual parece indicar que la población de esta especie en el Tuxpan, está muy limitada y lejos de alcanzar los valores que se han registrado recientemente en el Caribe (12.6 ind/m²) por Carpenter y Edmunds (2006) e incluso en algunas localidades del Caribe Mexicano como Majahual, donde se estimaron 7.29 ind/m² en promedio (Jordán-Garza y Rodríguez Martínez, 2008). Para los arrecifes del Golfo de México, existe poca información publicada con relación a la densidad de *D. antillarum*, entre los más relevantes están las aseveraciones de Hickerson *et al.* (2012) que refieren una recuperación en Flower Gardens donde existen entre 0.11 y 0.1375 ind/m² que está lejos de los 0.5 a 14 ind/m² existentes antes de 1984 en estos sistemas.

Los erizos muestran una densidad diferencial que está determinada por varios procesos y factores, donde el tipo de sustrato, la disponibilidad de alimento y los atributos del oleaje son muy importantes. De esta forma, las zonas intermareales con sustrato rocoso y oleaje intenso favorecen el establecimiento de las poblaciones de *E. lucunter* (Nordarse, 2001; Celaya-Hernández *et al.*, 2008) y *D. antillarum* (Noriega *et al.*, 2006; Martín-Blanco *et al.*, 2011). Las áreas de calma permiten en desarrollo de pastos marinos y con ellos *T. ventricosus* y *L. variegatus* (Del Valle-García *et al.*, 2008; Watts *et al.*, 2013). Finalmente los erizos (*E. viridis* y *L. williamsi*) asociados a zonas coralinas debido a las cavidades que les ofrecen refugio (Russo, 1977; Brown-Saracino *et al.*, 2007) son dominantes en las pendientes arrecifales, especialmente en sotavento (Acosta, 2010; Cruz, 2013).

Los valores de los índices ecológicos relacionados con la comunidad de erizos del arrecife Tuxpan, indican la dominancia de *E. lucunter* en las zonas someras y *E. viridis* en las profundas (Acosta, 2010; Cruz, 2013; Pérez-España *et al.*, 2015; Reyes, 2015) a nivel general. A escala de zonas, los valores del índice de Shannon (0.4464) y equidad (0.2492) son menores en la cresta debido a que existen especies que dominan en la planicie, tales como *T. ventricosus*, *L. variegatus* y *D. antillarum*. En contraste, la pendiente de barlovento es más equitativa lo cual se revela en los valores bajos de dominancia (0.4334) y altos de los índices de equidad ($H= 1.182$; $j=0.6598$). Las diferencias en estos índices es más evidente a escala de ambientes, ya que algunas especies caracterizan a esos ambientes por su presencia y/o por su abundancia. De esta forma, la dominancia de *E. lucunter* en las crestas arrecifales define los altos valores del índice de Simpson (0.7874) y bajos de los índices de Shannon-Wiener y equidad ($H'=0.3991$, $J= 0.248$). Al hacerse más equitativa la presencia y abundancia de erizos, ocurre lo contrario, como es el caso del hábitat de pastos marinos, donde los valores de equidad son relativamente altos ($H'=0.6547$; $J=0.5959$) y los de dominancia bajos (0.6358). En la pendiente de sotavento, ocurre un fenómeno parecido, los estratos de menor profundidad caracterizados por una alta abundancia de *E. viridis* presentan los valores de equidad más bajos ($H=4413$; $j=0.4017$) y de dominancia altos (0.7555), en cambio en las zonas de profundidades mayores sucede lo contrario, altos valores de los índices de equidad y bajos de los de dominancia. Para la pendiente de barlovento, no existe un patrón definido, ya que los valores de los índices de equidad fueron mayores en las capas de 3 a 10 m y de 20 a 30m, lo cual es reflejo de la composición y

abundancia de la comunidad de equinoideos. Al comparar los resultados del presente trabajo con los efectuados en Lobos y Tanhuijo por Acosta (2010) y Cruz (2013) se detecta un patrón parecido, ya que existen especies muy abundantes, como *E. lucunter* que definen los valores de los índices de dominancia y equidad en las crestas y otras como *E. viridis* que son muy abundantes en las pendientes, particularmente en sotavento y que influyen en los valores de los índices.

El sustrato del arrecife Tuxpan se caracterizó por diez categorías bentónicas, dominadas por: corales, roca coralina cubierta de macroalgas y roca coralina cubierta de algas filamentosas, el resto de los grupos funcionales fueron: esponjas, arena, restos de coral, roca, octocorales, zooantidos y roca con algas costrosas. Estas categorías tipifican a cada zona arrecifal, en las crestas dominan la roca coralina cubierta de algas costrosas o filamentosas (alrededor del 80%) y esto favorece la presencia de *E. lucunter* (Barón, 2008; Acosta, 2010; Cruz, 2013; Reyes, 2015) que se alimenta de algas epilíticas lo cual se deduce del contenido estomacal que incluye entre el 65 y 95 % de carbonato de calcio (McClanahan y Kurtis, 1991). Además esta especie se adapta al intenso oleaje y a la desecación (McClanahan y Muthiga, 2013) que es normal en las zonas intermareales.

En la planicie, los restos de coral y pastos marinos determinan el paisaje y a la vez la presencia y abundancia de *E. lucunter* y *D. antillarum* en el primero, así como de *T. ventricosus* y *L. variegatus* en el segundo, producto de sus preferencias por

el sustrato y la disponibilidad de alimento, particularmente, el segundo grupo de especies, se nutre de pastos marinos (Schibling y Mladenov, 1988; Lawrence y Agatsuma, 2013; Watts *et al.*, 2013). En cambio la abundancia de *E. lucunter* está definida por los cabezos de coral que se distribuyen aisladamente en la zona de restos de coral.

Las pendientes muestran paisajes diferentes que resultan de coberturas coralinas contrastantes así como de otros grupos funcionales, tales como octocorales, esponjas y macroalgas. En las categorías dominantes están: el coral (38%) y la roca con macroalgas (31%), estas estructuras generan espacios para el resguardo de la biota en general (Harborne *et al.*, 2011) y esa geomorfología es utilizada frecuentemente por erizos, particularmente por *E. viridis* que es la especie dominante en las zonas profundas (Acosta, 2010; Cruz, 2013; McClanahan y Muthiga, 2013; Cruz, 2015; Pérez-España *et al.*, 2015). En contraste, en la pendiente de barlovento, los grupos funcionales de mayor cobertura (roca con algas costosas; roca coralina y roca con algas filamentosas definen menor disponibilidad de espacios y por tanto los valores de densidad fueron menores comparados con la pendiente de sotavento.

Los estratos de profundidad en las pendientes mostraron patrones claros, en sotavento, donde la cobertura de roca con macroalgas se incrementa a medida que aumenta la profundidad y la cobertura coralina presentó un patrón contrario lo cual parece explicar los valores de abundancia de erizos, que son más altos en las

zonas someras donde la cobertura de macroalgas es menor debido a la presión que ejercen las poblaciones de erizos, en cambio en las zonas profundas, la cobertura de algas es mayor porque el número de erizos disminuye y por tanto no se consumen las algas (McClanahan y Muthiga, 2013) este patrón es parecido a lo observado por (Bronstein y Loya, 2014) quien menciona que la cobertura del coral y de las macroalgas puede presentar un patrón de contraste visible a través de los sitios expuestos y protegidos, de esta manera observaron que, en los sitios protegidos, el dominio del coral fue mayor y hubo una escasa presencia de macroalgas, en contraste con los arrecifes expuestos donde la cobertura del coral fue baja, el recubrimiento de las algas fue de moderado a alto.

El sustrato de la pendiente de barlovento está representado por: roca con algas costrosas, la roca con algas filamentosas, corales, roca coralina y roca con macroalgas pero no siguen un patrón como el de sotavento, lo cual permite explicar las variaciones de composición y abundancia de erizos en las diferentes capas. Por ejemplo, en la capa de 3 a 5 m, donde las algas costrosas son más importantes, dominan *E. viridis*, *E. lucunter* y *E. tribuloides*, mientras que en los estratos de 15 a 20 y 20 a 25 m dominadas por algas filamentosas y las macroalgas prevalecen *E. viridis* y *D. antillarum*. A pesar de que se ha documentado que los erizos son omnívoros y que pueden cambiar de alimento en función de la disponibilidad, presentan preferencias, por ejemplo, *D. antillarum* consume frecuentemente macroalgas y detritus y entre las macroalgas prefiere: *Halopteris*, *Lobophora*, *Dyctiota* y *Padina* (Solandt y Campbell, 2001).

La complejidad estructural del sustrato en el arrecife Tuxpan es moderada, pero está en función de las estructuras formadas por los corales, de manera que en la planicie, es menor, especialmente en la zona de pastos marinos donde no existen grandes colonias de corales. El desarrollo de las colonias y su abundancia incrementa la complejidad y esto favorece a los erizos que encuentran espacios para evitar la depredación de invertebrados y vertebrados entre los cuales destacan moluscos (*Cassia madagascariensis*, *C. tuberosa*); equinodermos (*Oreaster reticulatus*), crustáceos (*Panulirus argus*), peces (*Haemulon macrostomum*, *Balistes vetula*, *Lachnolaimus maximus*) (Lawrence y Agatsuma, 2013; McClanahan y Muthiga, 2013; Muthiga y McClanahan, 2013; Watts *et al.*, 2013). En las pendientes, la complejidad es mayor en sotavento (1.67) como resultado de la mayor cobertura y desarrollo coralino, siendo más evidente en los estratos de 3 a 5, 10 a 15 y 20 a 25m. En barlovento, esta condición es favorable para incrementar la abundancia de erizos, lo cual es contrastante con las capas de 15 a 20 y 20 a 25 en sotavento donde posiblemente la ausencia de erizos puede explicarse por la falta de reclutamiento o la presencia de depredadores.

El análisis de correspondencia canónica (CCA) general explica la estructura de la comunidad de erizos regulares del arrecife Tuxpan, asociando a: *L. variegatus* y *T. ventricosus* con los pastos marinos, *D. antillarum* con los restos de coral, *E. viridis* con la roca con macroalgas y *E. lucunter*, *A. punctulata* y *E. tribuloides* con el sustrato coralino. Al hacer este análisis a escala de ambientes, se puede relacionar la presencia de: *E. tribuloides*, y *D. antillarum* con el sustrato de roca

con algas costrosas tal como ha sido referida por Blanco *et al.* (2011) y con roca con macroalgas, aunque éstas pueden presentar alta cobertura debido a la escasa abundancia de *D. antillarum*.

Echinometra viridis no muestra un patrón asociado a los estratos de profundidad, dado que es común en todos los ambientes de la pendiente, pero es más abundante donde existen formaciones coralinas que le ofertan refugio. El grupo formado por *A. punctulata* y *T. ventricosus* se asocian con sustratos coralinos y áreas poco profundas. Por su parte, *L. williamsi*, se relaciona con el sustrato rocoso y profundidades de 3 a 5 y 10 a 15m, especialmente en la zona de sotavento, tal como ha sido referido por Acosta (2010) y Cruz (2013) para los arrecifes Lobos y Tanhuijo respectivamente.

La pendiente de barlovento muestra que *E. lucunter* es típica de los estratos someros (3 a 5m) y no se detecta relación con el sustrato a pesar de que esta especie en esas áreas se desarrollan algas verdes y cianobacterias que están incluidas en la dieta de esta especie (McClanahan y Muthiga, 2013). *E. viridis* y *L. williamsi* se asocian a la roca con algas costrosas y esponjas así como a los estratos de 10 a 15 y 15 a 20m de profundidad. Por otra parte, *D. antillarum* se liga al sustrato rocoso y *E. tribuloides* y *A. punctulata* se relacionaron a roca con algas filamentosas y restos de coral que ocurren en profundidades de 3 a 5 y 25 a 30m respectivamente. En este sentido, la primera especie tiene un rango de distribución amplio y su hábitos omnívoros le favorecen, ya que se distribuyen en los sustratos de restos de coral y roca coralina (Lawrence y Jangoux, 2013) , mientras que *A. punctulata*, que también es omnívora (Gianguzza y Bonaviri,

2013) es más común en las zonas someras de los arrecifes del norte de Veracruz (Domínguez, 1993; Acosta, 2010, Cruz, 2013; Reyes, 2015) pero puede ocurrir hasta los 255 m, en sustratos rocosos, arenosos o con restos coralinos (Gianguzza y Bonaviri, 2013).

Las evaluaciones de las comunidades de erizos en los arrecifes coralinos incluye las técnicas de cuadrantes y transectos, pero los últimos son más comunes. Las dimensiones de éstos son variables desde 10 hasta 100 m² (Rogers *et al.*, 1994; English *et al.*, 1997) y normalmente se hace estimaciones en dos estratos de profundidad (Lang *et al.*, 2010), sin embargo, los erizos pueden distribuirse en zonas más profundas (Lawrence y Agatsuma, 2013; McClanahan y Muthiga, 2013; Muthiga y McClanahan, 2013; Watts *et al.*, 2013). Por otra parte, los erizos son más abundantes en las zonas someras que en las profundas, particularmente en las áreas intermareales y algunas especies son características de ambientes someros (p. e. *T. ventricosus* y *L. variegatus*) como los pastos marinos, ya que éste es su alimento principal (Watts *et al.*, 2013).

Por lo anterior, para realizar monitoreos de las comunidades de erizos en el arrecife Tuxpan y otros con el mismo patrón estructural, deben considerarse al menos tres escalas: sistema, zonas y ambientes arrecifales. Las zonas deben ser: planicie, cresta y las pendientes de barlovento y sotavento. En la planicie, deben tomarse los siguientes ambientes al menos: áreas de algas o pastos marinos, debido a que *T. ventricosus* y *L. variegatus* son típicas de este ambiente y zonas con cobertura coralina no mayor al 5%. Aunque no hay diferencias significativas entre las crestas, es conveniente dividir las en función de su localización con

respecto a los vientos dominantes (barlovento y sotavento) ya que es común encontrar una mayor abundancia en barlovento (Acosta, 2010; Cruz, 2013). Finalmente, en las pendientes barlovento es recomendable dividir la zona en tres estratos de profundidad (3 a 5 m, 5 a 15 m y >20 m), los cuales permiten diferenciarlos claramente con base en su riqueza y abundancia.

Los valores de abundancia de las diferentes especies de erizos en el arrecife Tuxpan varían en función de las zonas arrecifales y de los ambientes. En general, las áreas someras presentan una mayor abundancia con relación a las profundas. Esto se explica por sus requerimientos ecológicos, especialmente los que corresponden a su alimentación, ya que aunque los erizos son omnívoros tienen preferencia por: macroalgas, pastos marinos, algas a la deriva o epilíticas y detritus (McClanahan y Kurtis, 1991; Solandt y Campbell, 2001; Tuya *et al.*, 2001; Agnetta *et al.*, 2013; Lawrence y Agatsuma, 2013; McClanahan y Muthiga, 2013; Muthiga y McClanahan, 2013; Watts *et al.*, 2013).

X.- APLICACIÓN AL MANEJO

Los métodos de evaluación rápida consideran dos estratos de profundidad, (normalmente entre 3 y 6 m y de 8 a 15 m), sin embargo los resultados de este trabajo indican que las zonas someras menores a 3 m presentan una densidad importante de *D. antillarum*, por lo que ese estrato de profundidad debe ser considerado en las evaluaciones rápidas. Esto es porque uno de los atributos que se toman en cuenta para valorar la salud de un sistema arrecifal es la densidad de *D. antillarum*. Por esto, se propone un método de monitoreo que incluya todas las zonas arrecifales y además en las pendientes se consideren los estratos de más de 20m. Para eso se recomienda hacer transectos de 5x2 m separados al menos un metro entre ellos y distribuidos en tres profundidades: 3-5m; 5 a 15m y >20m en ambas pendientes.

La baja densidad de *D. antillarum* en el arrecife Tuxpan denota la necesidad de replantear las medidas de manejo para el sistema, ya que es necesaria una repoblación de la especie para incrementar su densidad así como hacer evaluaciones de la biología y ecología de la especie.

XI.- CONCLUSIONES

La comunidad de erizos regulares del arrecife Tuxpan está compuesta por ocho especies: *Arbacia punctulata*, *Diadema antillarum*, *Echinometra lucunter*, *E. viridis*, *Eucidaris tribuloides*, *Lytechinus variegatus*, *L. williamsi* y *Tripneustes ventricosus*.

La riqueza y abundancia es mayor en las zonas someras comparada con las profundas, lo cual es el resultado de varios factores donde destacan: el tipo de sustrato, la dinámica del oleaje y la disponibilidad de alimento.

La densidad al derivarse de la abundancia es mayor en la cresta arrecifal, particularmente en la de sotavento y es menor en las zonas donde el sustrato duro está limitado. Los valores de la densidad siguen un patrón muy claro en la pendiente de sotavento donde disminuye a medida que aumenta la profundidad y aumenta en función de la cobertura coralina. En barlovento, no existe un patrón claro, lo que sugiere que los monitoreos en ambas pendientes deben ser diferentes.

Los valores de los índices de Shannon-Wiener y equidad fueron más altos en el estrato de 3 a 5m de la pendiente de barlovento y contrastan con el de dominancia que es alto en la cresta arrecifal. Las demás zonas presentaron valores bajos de equidad y altos de dominancia, explicado por la dominancia de: *E. lucunter* en las zonas someras y *E. viridis* en las zonas profundas.

En la planicie arrecifal el análisis CCA muestra la relación de las especies con el tipo de sustrato y la complejidad. De esta forma, se observan: la asociación de *T. ventricosus* y *L. variegatus* con pastos marinos, de *D. antillarum* con la zona de restos de coral, de *E. viridis* con la roca con macroalgas y de *E. lucunter*, *A. punctulata* y *E. tribuloides* con el sustrato coralino, que conlleva la mayor complejidad estructural. En las pendientes la asociación de las especies con el tipo de sustrato y la profundidad fue variable, especies como *E. lucunter* y *E. viridis* no se vieron influenciadas por la profundidad en la pendiente de sotavento pero en barlovento se detectó una asociación que explica por las características del sustrato que dominan en cada pendiente.

Para realizar monitoreo de las comunidades de erizos en el arrecife Tuxpan y otros con el mismo patrón estructural, debe considerarse al menos tres escalas: sistema, zonas y ambientes arrecifales. En las pendientes, los muestreos deben considerar al menos tres estratos de profundidad: 3-5 m; 10 a 20 m y >20 m.

XII.- BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, E. A.2010. Estructura comunitaria de los equinoideos en el Arrecife Lobos, Ver. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.43 p.
- 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, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.70 p.
- Alarcón, A.A.L.2013.Distribución hidrográficas en periodos de Secas y Nortes (2009-2010) en el Arrecife Tanhujio (Golfo de México Occidental).Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Tuxpan, Veracruz, México. 91 p.
- Alvarado, J. J. y A.Chiriboga.2008.Distribución y abundancia de equinodermos en las aguas someras de la isla del Coco, Costa Rica (Pacífico Oriental). Rev. Biol.Trop.56 (Supl.2): 99-111.
- Alvarado, J.J., F.A. Solís-Marín y C. Ahearn. 2008. Equinodermos (Equinodermata) del Caribe Centroamericano. Rev. Biol. Trop. 56 (Supl.3): 37-55.
- Agnetta, D., C. Bonaviri, F. Badalamenti, C. Scianna, S. Vizzini y P. Gianguzza. 2013. Functional traits of two co-occurring sea urchins across a barren/forest patch system. Journal of Sea Research. Vol.76:170-177.
- Arakaki, Y. y T. Uehara. 1991. Physiological adaptations and reproduction of the four types of *Echinometra mathaei* (Blainville). In: Biology of Echinodermata Yanagisawa, T. I. Yasumasu, C. Oguro, N. Susuki y T. Motokawa (Eds.).Balkema. Rotterdam. pp. 105-112.
- Bronstein, O. y Y. Loya. 2014. Echinoid community structure and rates of herbivory and bioerosion on exposed and sheltered reefs. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. Vol.456: 8-7.
- Blanco, M.F, L. Clero. Alonso, G. González. Sansón y F. Pina. Amargos. 2011. Influence of *Diadema antillarum* populations (Echinodermata: Diadematidae) on algal community structure in Jardines de la Reina, Cuba. Rev. Biol. Trop.59 (Supl.3):1149-1163.

- Blanco, M.F, G. González. Sansón, F. Pina. Amargos y L. Clero. Alonso. 2009. Abundance and size structure of *Diadema antillarum* (Echinodermata: Diadematidae) in South Eastern Cuban coral reefs. Rev. Biol. Trop.58 (Supl.2):663-676.
- 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. 55 p.
- Buitrago, E y C. Lodeiros-Seijo, 2005. Producción de larvas y postlarvas del erizo verdiblanco del Caribe *Lytechinus variegatus* (Echinodermata: Echinoidea) en condiciones de cultivo. Rev. Biol. Trop. 53 (Supl.3):319-328.
- 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. Rev. Biol. Trop. 53 (Supl.3): 285-290.
- Brown-Saracino, J. P. Peckol, H. Allen.Curran, y M. L. Robbart. 2007. Spatial variation in sea urchins, fish predators, and bioerosion rates on coral reefs of Belize. Coral Reefs. Vol.26:71-78.
- Bechtel, D. J, P. Gayle y L. Kaufman. 2006. The return of *Diadema antillarum* to Discovery Bay: Patters of Distribution and Abundance. Proceedings of 10th International Coral Reef Symposium, 367-375.
- Capetillo, N. A. Lopeztegu, A. Betanzos y R. Hernández. 2011. Variabilidad espacial y temporal de la abundancia del erizo de mar *Lytechinus variegatus* (Lamarck, 1816) en el Golfo de Batabanó, Cuba. Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras. Vol. 28, Núm. (2). 52-58.
- Carpenter, R. C. y P. J. Edmunds. 2006. Local and regional scale recovery of *Diadema* promotes recruitment of scleractinian coral. Ecology Letters. Vol. 9: 271-280.
- Cruz, C. Y. L. 2015. La comunidad de erizos regulares (Echinoidea) del arrecife Pantepec, Veracruz. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México 34p.
- 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 60p.
- Caso, M. E. 1976. El Estado actual del estudio de los equinodermos de México. An. Centr. Cienc. Mar y Limnol. UNAM. Vol.3 Núm. (1):1-56.
- Caso, M. E. 1943. Contribución al conocimiento de los asteroideos de México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. México, 136p.

- Caso, M. E. 1946. Contribución al conocimiento de los equinodermos de México. I. Distribución y morfología de *Mellita quinquesperforata* (Leske), *M. lata* Clark y *M. longisfissa* Michelin. Anales del Instituto de Biología. UNAM. 17:247-259
- Caso, M. E. 1951. Contribución al conocimiento de los ofiuroides de México. Algunas especies de ofiuroides litorales Anales del Instituto de Biología. UNAM. 22:219-312.
- Caso, M. E. 1955. Contribución al conocimiento de los holoturoideos de México. Algunas especies de holoturoideos litorales de la costa Atlántica Mexicana. Anales del Instituto de Biología. UNAM. 26:501-525.
- Caso, M. E. 1993. Contribución al conocimiento de la ecología de las comunidades de equinodermos de la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México Inst. de Cienc. del Mar y Limnol. UNAM. 31.
- Caso, M. E. F. A. Laguarda-Figueras. F.A. Solís-Marín. A. Ortega-Salas. A.L. Durán-González. 1993. Contribución al Conocimiento de la Ecología de la Comunidad de Equinodermos de la Laguna de Términos, Campeche, México Inst. de Cienc. del Mar y Limnol. UNAM 33.
- Caso, M. E. 1979. Los equinodermos (Asteroidea, Ophiuroidea y Echinoidea de la Laguna de Términos, Campeche. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. U.N.A.M. Vol. 3.Núm. (1):1-186.
- Caso, M.E. 1974. Contribución al conocimiento de los Equinoideos de México. El género *Tripneustes* A. Agassiz. Morfología y ecología de *Tripneustes ventricosus* (Lamarck). Anal. Cent. Cienc. Mar y Limnol., UNAM, México. 1: 1-24.
- Cárdenas, A. S.I. 2010. Equinodermos del arrecife Lobos Veracruz. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México. 57p.
- Cho, L. L. y D. Woodley. 2000. Recovery of reefs at Discovery Bay, Jamaica and the role of *Diadema antillarum*. Preceedings 9th International Coral Reef Symposium, Bali, Indonesia 23-27.
- Clemente. S. y J. C. Hernández. 2008. Influence of wave exposure and hábitat complexity in determining spatial variation of the sea urchin *Diadema aff. antillarum* (Echinoidea: Diadematidae) populations and macro algal cover (Canary Islands - Eastern Atlantic Ocean). Rev. Biol. Trop. Vol. 56 (Supl. 3): 229-254.
- Celaya-Hernández, E.V.F. A. Solís-Marín. A. Laguarda-Figueras. A.L. Durán-González y T. Ruiz-Rodríguez. 2008. Asociación a sustratos de los erizos regulares (Echinodermata: Echinoidea) en la laguna arrecifal de isla Verde, Veracruz, México. Rev. Biol. Trop. (Supl.3): 281-295.

- Durán-González, A. I.A. Laguarda-Figueras. F.A. Solís-Marín. B.E. Buitrón Sánchez. C. Gust-Ahearn. y J.Torres-Vega. 2005. Equinodermos (Echinodermata) de las aguas mexicanas del Golfo de México. Rev. Biol. Trop. 53 (Supl.3):53-68.
- Del Valle, R. M. Abreu Pérez. R. Rodríguez. F.A. Solís-Marín. A. Laguarda-Figueras y A. Duran-Gonzalez.2008. Equinodermos (Equinodermata) del occidente del Archipiélago Sabana- Camagüey, Cuba. Rev. Biol. Trop. 56 (supl.3):19-35.
- Del Valle, R. F. A Solís-Marín. M. Abreu Pérez. A. Laguarda-Figueras y A. Durán-González. A 2005.Catalogo de los equinodermos (Echinodermata: Crinoidea, Echinoidea, Holoturoidea) nerítico-bentónico del Archipiélago Cubano. Rev. Biol. Trop. 53 (Supl.3): 9-28.
- Escárcega, Q. P.A. 2014. Equinodermos asociados a los arrecifes de cinco regiones marinas prioritarias de Veracruz (Golfo de México occidental): composición y distribución. 54p.
- English, S., Wilkinson, C. y V. Baker 1997. Survey manual for tropical marine resources. 2nd ed. Australian Institute of Marine Sciences. Townsville, 390p.
- Ferrari, R. M. González-Rivero y P. J. Mumby. 2012. Size matters in competition between corals and macroalgae. Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol. 467: 77-88.
- García, M. J. Rosas.I.Hernández.A.Velásquez.T.Cabrera.y C-Maneiro.2005.Supervivencia y crecimiento larval de *Arbacia punctulata* (Echinodermata: Echinoidea) alimentada con cinco microalgas a dos salinidades. Rev.Biol.Trop.53 (Supl.3):329-336.
- Gaitán-Espitia J.D.2008.Estructura de la comunidad del phylum echinodermata en aguas someras de la Bahía de Tagana, Caribe Colombiano.Rev. U.D.C.A. ACT.& Divulg.Cient.Vol.11 Núm.(1):85-93.
- Gamboa, C. J.A. 1978. Estudio preliminar acerca de la fauna de equinodermos de la costa norte de Veracruz. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey. Norte de Veracruz, México.121 p.
- Gómez, M.O. y A.Gómez.2005.Desarrollo embrionario y larval de *Lytechinus variegatus* (Echinoidea: Toxopneustidae) en condiciones de laboratorio en la isla de Margarita-Venezuela. Rev .Biol. Trop. Vol.53 (Supl.3):313-315.
- Guerrero, C. G. M. 2013. Análisis Poblacional de *Equinometra lucunter lucunter* (Linnaeus, 1758) en la Playa rocosa El Pulpo de Barra de Cazones, Veracruz en la temporada de Nortes-Fríos. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana.Tuxpan, Veracruz, México.38p.

- Gianguzza, P. y C. Bonaviri. 2013. Arbacia. In: Lawrence, J. M. (eds.). Sea Urchins: Biology and Ecology. Developments in Aquaculture and Fisheries Science. United States American. pp. 275-284.
- González-Gándara, C., F. A. Solís-Marín, V. de la Cruz-Francisco, A. Granados-Barba, J. J. Salas-Pérez, J. Argüelles-Jiménez y P. A. Escárcega-Quiroga. 2015. Riqueza y distribución de equinodermos en los arrecifes del norte y sur de Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*. 63 (Supl. 2):183-193.
- Harborne, R.A, P.G. Renaud, E.H. M.Tyler y P.J. Mumby. 2009. Reduced density of the herbivorous urchin *Diadema antillarum* inside a Caribbean marine reserve linked to increased predation pressure by fishes. *Coral Reefs*. Vol.28: 783-791.
- Harborne, A. R., P. J. Mumby, E. V. Kennedy y R. Ferrari. 2011. Biotic and Multi-scale Abiotic Controls of Hábitat Quality their Effect on Coral-Reef Fishes. *Mar Ecol Prog Ser*. 437: 201-214. Brown-Saracino, J. P. Peckol, H. Allen-Curran y M. L. Robbart. 2007. Spatial variation in sea urchins, fish predators, and bioerosion rates on coral reefs of Belize. *Coral Reefs*. Vol. 26:71-78.
- Hendler, G., J. E. Miller, D. L. Pawson y P.M. Kier. 1995. Sea Stars, Sea Urchins, and Allies: Echinoderms of Florida and the Caribbean. Smithsonian Institution Press, Washington and London. 390 p.
- Hickerson, E. L., G. P. Schmahl, M. A. Johnston, M. F. Nuttall, J. A. Embesi y R. J. Eckert. 2012. Flower Garden Banks-A refuge in the Gulf of Mexico? Proceedings of the 12th International Coral Reef Symposium. Cairns, Australia. pp.
- Henderson, P. A. y R. M H. Seaby. 2002. Species diversity and richness III. PISCES Conservation Ltd. Pennington.pp.
- Humann, P.y N, Deloach. 2002. Reef Creature identification Florida Caribbean Bahamas. New World Publications. Jack Sonville, Florida. 420.
- Idjadi JA, Haring RN, Precht WF (2010). Recovery of the sea urchin *Diadema antillarum* promotes scleractinian coral growth and survivorship on shallow Jamaican reefs. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 403:91-100.
- Jacovo, M.Y.A. 2011. Corales Pétreos en el Arrecife Tanhuijo Tuxpan Veracruz, México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México. 51 p.
- Jiménez-Badillo, M.L., H. Pérez., España, J.M. Vargas-Hernández, J.C. Cortés-Salinas y P.D. Flores Pineda. 2006. Catálogo de especies y artes de pesca del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano CONABIO. Universidad Veracruzana. Xalapa, 182 p.
- Jordán-Garza, A. G. y R. E. Rodríguez Martínez. 2008 High abundance of *Diadema antillarum* on a mexican reef. *Coral Reefs*. Vol. 27:295.

- Kohler, K: E. y S. M. Gill, 2006 Coral point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using gram dom point count methodology. Computers and Geosciences. Vol. 32. Núm. (9):1259-1269.
- Kissling-Donald, L. W. F. Precht. S. L. Miller y M. Chiappone. 2014. Historical reconstruction of population density of the echinoid *Diadema antillarum* on Florida Keys shallow bank-barrier reefs. Bulletin of Marine Science. Vol. 90. Núm. (2): 665-679 pp.
- Marco-Méndez C, Prado P, Heck KL, Cebrián J, Sánchez-Lizaso JL (2012). Epiphytes mediate the trophic role of sea urchins in *Thalassia testudinum* seagrass beds. Mar Ecol. Prog. Ser. Vol.460:91-100.
- McClanahan, T. R. y J. D. Kurtis. 1991. Population regulation of the rock-boring sea urchin *Echinometra mathaei* (de Blainville). Journal Experimental Marine Biology and Ecology. Vol.147:121-146.
- McClanahan, T. R. y N. A. Muthiga. 2013. Echinometra. In: Lawrence, J. M. (eds.).Sea Urchins: Biology and Ecology. Developments in Aquaculture and Fisheries Science. United States American. pp. 337-354.
- Moore, H. B., T. Jutare, J. C. Bauer y J. A. Jones. 1963. The biology of *Lytechinus variegatus*. Bulletin of Marine Science. Vol.13. Núm. (1):23-53
- Morales, Q. I. 2015. Análisis ecológico de los equinodermos del arrecife Enmedio, Veracruz: composición, abundancia, densidad y semejanza a escala local y regional. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Tuxpan, 59p.
- Muthiga, N. A. y T. R. McClanahan. 2013. Diadema. In: Lawrence, J. M. (eds.).Sea Urchins: Biology and Ecology. Developments in Aquaculture and Fisheries Science. United States American. pp. 257-274.
- Murillo, M. M. y J. Cortés. 1984. Alta mortalidad en la población del erizo de mar *Diadema antillarum* Philippi (Echinodermata: Echinoidea), en el Parque Nacional Cahuita Limón Costa Rica. Rev. Biol. Trop. 32 (Supl.1): 167-169.
- Mumby, J.P., J.D. Hedley y K. Zychaluk. 2006. Revisiting the catastrophic die-off of the urchin *Diadema antillarum* on Caribbean coral reefs: Fresh insights on resilience from a simulation model. Elsevier. Vol.196: 131-148.
- Moreno, C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T Manuales y tesis SEA Vol. 1. Zaragoza, 84 p.
- Monroy-López M. y D.O. Solano. 2005. Estado poblacional de *Echinometra lucunter* (Echinoidea: Echinometridae) y su fauna acompañante en el litoral rocoso del Caribe Colombiano. Rev. Biol. Trop. 53 (Supl.3):291-297.

- Montealegre-Quijano, S y A.Gómez-Gaspar.2005. Ciclo reproductivo de *Lytechinus variegatus* (Echinoidea:Toxopneustidae) en el sur de la Isla de Margarita, Venezuela. Rev. Biol. Trop. (Supl.3):305-312.
- Nicida, N.S.M. Pauls y C. Del Monaco.2006. Abundancia de *Diadema antillarum* (Echinodermata: Echinoidea) en las costas de Venezuela. Rev. Biol. Trop. 54 (Supl.4):793-802.
- Nordarse, K. A. 2001.Abundancia y distribución del erizo *Echinometra lucunter* (linnaeus) (echinodermata, echinoidea) en un arrecife del Litoral Norte de ciudad de la Habana. Rev.Invest.Mar. Vol. 22 Núm. (2):107-115.
- Lang, J. C., K. W. Marks, P. A. Kramer, P. R. Kramer, y R. N. Ginsburg. 2010. AGRRA protocols version 5.4. Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment Program, Florida, USA. 31 pp.
- Lawrence, J. M. y M. Jangoux. 2013. Cidaroids. In: Lawrence, J. M. (eds.).Sea Urchins: Biology and Ecology. Developments in Aquaculture and Fisheries Science. United States American. pp. 225-242.
- Lawrence, J. M. y Y. Agatsuma 2013. Tripneustes. In: Lawrence, J. M. (ed.).Sea Urchins: Biology and Ecology. Developments in Aquaculture and Fisheries Science. United States American. pp. 491-507.
- Lozano-Cortés D. F.E. Lodoño-Cruz y F.A.Zapata.2011.Bioerosión de sustrato rocoso por erizos en la bahía de Málaga (Colombia), Pacífico tropical. Revista de Ciencias. Vol.15:9-22.
- Laguarda-Figueras A.AI. Gutiérrez-Castro. F.A. Solís-Marín. A. Durán-González y J.Torres-Vega.2005.Equinoideos (Echinodermata:Echinoidea) del Golfo de Mexico.Rev.Biol.Trop.53 (Supl.3):69-108.
- Laguarda-Figueras A., F.A. Solís- Marín. A. Duran-González. C. Gust Aheran. E. Buitrón Sánchez y J.Torres-Vega.2005. Equinoideos (Echinodermata) del Caribe Mexicano. Rev. Biol. Trop. 53 (Supl.3):109-122.
- Laguarda-Figueras, A. 2002. Equinodermos del Caribe de México: Pto. Morelos, Quintana Roo. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Informe final SNIBCONABIO proyectos No. S091. México, D.F.
- Lessios, H.A. 2015. The Great *Diadema antillarum* Die-Off: 30 Years Later. Annu. Rev. Mar. Sci. Vol.8:1.1-1.17.
- Levenbach. S. 2008.Grazing intensity influences the strength of an associational refuge on temperate reefs. Oecologia. Springer Berlín. 159(1):181-90.

- Ortega, L., F. Tuya, y R. J. Harou. 2009. El erizo de mar *Diadema antillarum* Phillipi, 1845 influye sobre la diversidad y composición de la comunidad de mega-invertebrados vagiles en fondos rocosos del Archipiélago Canario. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 44(2): 489-495
- Pawson, D.L., D. J. Vance, C. G. Messing, F. A. Solís-Marín y C. L. Mah. 2009. Echinodermata of the Gulf of Mexico. En: D. L. Felder y D- K: Camp (eds.) *Gulf of Mexico Origin, Waters, and Biota*. Vol 1, Biodiversity. T&M University Press. Corpus Christi, USA. pp. 1177-1204.
- Pérez-España, H., P. S. Ávila-Gutiérrez, S. M. Melo-Merino, P. Berumen-Solórzano y R. R Flores-Arévalo. 2015. Patrones interanuales e interarrecifales de las comunidades de peces, corales y equinodermos en el Sistema Arrecifal Veracruzano. In: *Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México*. Granados-Barba, A., L. D. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal y C. González-Gándara (Eds.) Universidad Autónoma de Campeche. pp. 159-180.
- Rogers, C. S., G. Garrison, R. Grober, Z. M. Hillis y M. A. Franke. 1994. *Coral Reef Monitoring Manual for the Caribbean and Western Atlantic*. Virgin Island Park. St. John. USVI. 42p.
- Reyes, S. R. 2015. Variación espacio-temporal de la comunidad de erizos (Echinoidea) en la planicie del arrecife Tuxpan, Veracruz. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México 44p.
- Reyes-Lujan J. J. Barrios, D. Arrieche, E. Zapata-Vivenes, W. Salgado y C. Lodeiros. 2015. Dieta del erizo negro *Echinometra lucunter* (Echinodermata: Echinoidea) en el Nororiente de Venezuela. *Rev. Biol. Trop.* 63 (Supl. 2): 233-242.
- River, G. y P. J. Edmunds. 2001. Mechanisms of Interaction between macroalgae and scleractinians on coral reef in Jamaica. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. Vol. 261: 159-172.
- Russo, A. R. 1977. Water flow and the distribution and abundance of echinoids (genus *Echinometra*) on a Hawaiian reef. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*. Vol. 28: 693-702.
- Ruiz-Ramos, D. V. Hernández-Delgado, Edwin. A. V. Schizas. Nikolaos Precht. S. L. Miller y M. Chiappone. 2011. Population status of the long-spined urchin *Diadema antillarum* in Puerto Rico 20 years after a mass mortality event. *Bulletin of Marine Science*. Vol. 87. Núm. (1): 113-127 pp.

- Rubí, E. Y. D. 2016. Equinodermos del arrecife Oro Verde: riqueza, distribución y afinidad con los arrecifes de Veracruz. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Tuxpan, 56p.
- Romeu, E. 1998. Los equinodermos de México. CONABIO. Biodiversitas 18: 1-7
- Rogers, A y K. Lorezen. 2008. Recovery of *Diadema antillarum* and the potential for active rebuilding measures: modelling population dynamics. International Coral Reef Symposium, Ft. Lauderdale, Florida. Vol. 2: 961-966.
- Rioja-Nieto, R; X. Chiappa-Carrara; C. Sheppard. 2012. Efectos de los huracanes sobre la estabilidad de paisajes asociados con arrecifes coralinos. Ciencias Marinas. 38 (1A):47-55.
- Scheibling, R. E. y P. V. Mladenov. 1987. The decline of the sea urchin *Tripneustes ventricosus*, fishery of Barbados: a survey of fishermen and consumers. Marine Fisheries Review. Vol.49:62-69.
- Solandt, J. L. y A. C. Campbell. 2001. Macroalgal feeding characteristics of the sea urchin *Diadema antillarum Philippi* at Discovery Bay, Jamaica. Caribbean Journal of Science. Vol.37:227-238.
- Solís-Marín, F. A. y A. Laguarda-Figueras. 2011. Crinoideos, estrellas, ofiuros, erizos y pepinos de mar (Echinodermata). In: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). La Biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. (eds.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Universidad Veracruzana. Instituto de Ecología, A.C. pp. 225-234.
- Solís-Marín, F. A., A. Laguarda-Figueras y M. A. Gordillo-Hernández. 2007. Estudio Taxonómico de los equinodermos del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. In: A. Granados-Barba, L. Abarca-Arenas y J. M. Vargas-Hernández (Eds.). Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano. Universidad Autónoma de Campeche. Pp. 73-100.
- Solís-Marín, F. A., A. Laguarda-Figueras y M. Honey-Escandón. 2014. Biodiversity of Echinoderms (Echinodermata) in México. Revista Mexicana de Biodiversidad. Vol.85:441-449.
- 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, Veracruz, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Tuxpan, 67p.
- Santander-Botello, L. C. y E. Propin-Frejomil. 2009. Impacto ambiental del turismo de buceo en arrecifes de coral. Cuadernos de Turismo. Vol.24:207-227.

- Salazar-Vallejo, S. I., González, N. E. y E. Schwindt. 2008. Taxonomía de invertebrados marinos: necesidades en Latinoamérica. *Interciencia*. Vol.37 Núm. (7): 510-517.
- Solís-Marín, F. A., A. F. Laguarda. 1998. Los equinodermos de México. *Biodiversitas CONABIO México*. 21 pp.
- Solís-Marín, F.A. 2008. Catálogo de los equinodermos recientes de México (Fase II). Universidad Autónoma de México. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No.DC016 México D.F 12 pp.
- Solís-Marín, F.A. 1997. Catálogo de los equinodermos recientes de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Informe final CONABIO Proyecto GO10 México DF.
- Solís- Marín, F.A. A. Laguarda-Figueras. A. Duran-González, C.Gust-Ahearn y J.Torres-Vega.2005. Equinodermos (Echinodermata) del Golfo de California, México. *Rev. Biol. Trop.* 53 (Supl.3): 123-137.
- Solís- Marín, F.A. A. Laguarda-Figueras y Honey-Escandón M. 2014. Biodiversidad de equinodermos (Echinodermata) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad (Supl.85)*: 441-449.
- Svensson CJ, Baden S, Moksnes PO, Åberg P. 2012. Temporal mismatches in predator–herbivore abundance control algal blooms in nutrient-enriched seagrass ecosystems. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 471:61-71.
- Steiner S. C. C. y S. M. Williams. 2006. The density and size distribution of *Diadema antillarum* in Dominica (Lesser Antilles): 2001-2004. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 149: 1071-1078.
- Trujillo-Luna, N. V y N.E. González-Vallejo. 2006. Equinodermos (echinodermata) de la colección de referencia de Bentos costero de Ecosur. El Colegio de la Frontera Sur, Departamento de Ecología Acuática, Chetumal, Quintana Roo. Vol.22. Núm. (1):83-88.
- Toro-Farmer, G. J. R. Cantera. E.Lodoño-Cruz.C.OrozcoyR.Neira.O.2002.Patrones de distribución y tasas de bioerosión del erizo *Centrostephanus coronatus (Diadematoidea:Diadematidae)*, en el arrecife de Playa Blanca, Pacífico Colombiano. *Rev. Biol. Trop.* 15 (supl.52): 9-22.
- Tuya, F., J. A. Martin, G. M. Reuss y A. Luque. 2001 Feeding preferences of the sea urchin *Diadema antillarum* (Philippi) in Gran Canaria Island (Central-East Atlantic Ocean). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. Vol.81:1-5.

- Tuya, F., J. Cisneros-Aguirre, L. Ortega-Borges & R. J. Haroun. 2007. Bathymetric segregation of sea urchins on reefs of the Canarian Archipelago: Role of flow-induced forces. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Vol.73: 481-488.
- Tunnell, J. W. 2007. "Reef Distribution" In: *Coral Reefs of the Southern Gulf of Mexico*. J.W. Tunnell Jr., E. A. Chavéz y K. Withers (eds.) Harter Institute y Universidad Texas & A.M. Vol.2:14-22.
- Tunnell, J.W y K. Withers. 2007. "Zonación y Ecología de los Arrecifes" In: *Coral Reefs of the Southern Gulf of Mexico*. J.W. Tunnell Jr., E.A. Chavez y K. Withers (eds.) Harter Institute y Universidad Texas & A.M. Vol.5:60-100.
- Valdez, M.F. y C.R. Villalobos. 1978. Distribución espacial correlación con el sustrato y grado de agregación en *Diadema antillarum* Philippi (Echinodermata: Echinoidea). *Rev. Biol. Trop.* 26 (Supl.1): 237-245.
- Withers, K y J.W. Tunnell. 2007. "Biodiversidad de los arrecifes" In: *Coral Reefs of the Southern Gulf of Mexico*. J.W. Tunnell Jr., E.A. Chavez y K. Withers (eds.) Harter Institute y Universidad Texas & A.M. Vol.6:101-128.
- Watts, S. A., A. L. Lawrence y J. M. Lawrence. 2013. Nutrition. In: Lawrence, J. M. (ed.). *Sea Urchins: Biology and Ecology*. Developments in Aquaculture and Fisheries Science. United States American. Pp. 155-170.
- Weil, E. J. L. Torres y M. Ashton. 2005. Population characteristics of the sea urchin *Diadema antillarum* in La Parguera, Puerto Rico, 17 years after the mass mortality event. *Rev. Biol. Trop.* 53 (Suppl. 3):219-231.
- Williams, I. D. N., V. C. Polunin y V. J. Hendrick. 2001. Limits to grazing by herbivorous fishes and the impact of low coral cover on macroalgal abundance on a coral reef in Belize. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 222:187-196.
- Zamorano, P. y G. Leyte-Morales. 2009. Equinodermos asociados a formaciones arrecifales en Zihuatanejo y Acapulco, Guerrero, México. *Bol. Invest. Mar. Cost.* Vol.38. Núm. (2):7-28.