

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE BIOLOGÍA



“DENSIDAD Y ESTRUCTURA DE TALLAS DE ECHINOIDEOS EN EL ARRECIFE SOMERO DEL
ÁREA NATURAL PROTEGIDA COMPLEJO LOS CÓBANOS, EL SALVADOR”

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO POR:

MARÍA FERNANDA RAMOS CÁCERES
LAURA LISETH FIGUEROA SEGOVIA

PARA OPTAR AL GRADO DE:
LICENCIADAS EN BIOLOGÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2022

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE BIOLOGÍA

“DENSIDAD Y ESTRUCTURA DE TALLAS DE ECHINOIDEOS EN EL ARRECIFE SOMERO DEL
ÁREA NATURAL PROTEGIDA COMPLEJO LOS CÓBANOS, EL SALVADOR”

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO POR:

MARÍA FERNANDA RAMOS CÁCERES

LAURA LISETH FIGUEROA SEGOVIA

PARA OPTAR AL GRADO DE:

LICENCIADAS EN BIOLOGÍA

DOCENTE ASESOR DE LA INVESTIGACIÓN:

M. SC. FRANCISCO ANTONIO CHICAS BATRES: _____

ASESORA EXTERNA DE LA INVESTIGACIÓN:

M. SC. JOHANNA VANESSA SEGOVIA DE GONZÁLEZ: _____

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2022

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE BIOLOGÍA

**“DENSIDAD Y ESTRUCTURA DE TALLAS DE ECHINOIDEOS EN EL ARRECIFE SOMERO DEL
ÁREA NATURAL PROTEGIDA COMPLEJO LOS CÓBANOS, EL SALVADOR”**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO POR:

MARÍA FERNANDA RAMOS CÁCERES

LAURA LISETH FIGUEROA SEGOVIA

PARA OPTAR AL GRADO DE:

LICENCIADAS EN BIOLOGÍA

TRIBUNAL CALIFICADOR

LIC. RODOLFO FERNANDO MENJÍVAR: _____

M. sD. MARTHA NOEMI MARTÍNEZ HERNÁNDEZ: _____

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2022

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR

MAESTRO ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

VICERRECTOR ACADÉMICO

DOCTOR RAÚL ERNESTO AZCÚNAGA LÓPEZ

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

INGENIERO JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL

INGENIERO FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FISCAL GENERAL

LICENCIADO RAFAEL HUMBERTO PEÑA MARÍN

DECANO

LICENCIADO MAURICIO HERNÁN LOVO CÓRDOVA

DIRECTORA DE LA ESCUELA DE BIOLOGÍA

M. Sc. ANA MARTHA ZETINO CALDERÓN

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2022

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis papás Celia Ivonne Cáceres y Ricardo Ernesto Ramos quienes me han apoyado desde el inicio alentándome a seguir mis sueños. A mi hermanita, Dani, por ser mi confidente en todo momento. A mis abuelitos Carmen, Ana y Julio por enseñarme lo hermoso que es el mar y la naturaleza. A mis tíos Julio, Alma, María Elena, Norma y Russell por su gran apoyo en todo este camino. A mis primos Arnold y Rodri por estar pendientes de mi progreso. A Juanma, por escuchar siempre mis historias sobre el mar, maravillándose conmigo en cada una de ellas. Quiero agradecer enormemente a mi amiga, Laura Figueroa, por haber emprendido juntas el hermoso camino de los equinodermos y por apalancarnos en cada momento de inventos locos que hemos tenido.

- Fernanda Ramos

Agradezco a mis padres, Héctor David Figueroa y a María Victoria Segovia de Figueroa por todo el apoyo que me han brindado, sin ellos no sería la persona que soy ahora. Les agradezco por siempre creer en mí y sentirse orgullosos de su hija, los amo. Así mismo, le quiero agradecer a mi hermano Enrique Figueroa (Kike), de quién siempre he recibido mucho cariño, apoyo, consejos y risas, porque solo tú y yo nos entendemos. De igual manera, le agradezco a Arturo Rosa, quién me ha apoyado en cada etapa de este proceso, siempre estás dispuesto a escucharme y aconsejarme cuando es debido, gracias por creer en mí y demostrármelo. También, a mi compañera de tesis, pero sobre todo a mi amiga Fernanda Ramos, con vos esta gran experiencia se volvió más divertida, estoy muy orgullosa de todo lo que hemos crecido y aprendido juntas, ¡Definitivamente aún nos queda mucho por descubrir sobre los erizos!

- Laura Figueroa

Al M. Sc. Francisco Chicas quién además de ser un ejemplo de excelencia académica, también es un ejemplo de calidad de persona, ya que siempre hemos contado con su apoyo incondicional, además de creer firmemente en nosotras, así como su orientación en esta investigación.

A la M. Sc. Johanna Segovia quién siempre ha sido una fuente de inspiración para conservar la vida marina de nuestro país, y con sus conocimientos nos ha ayudado a crecer en el área marina. Así mismo, gracias a su guía, consejo y aportes en el área han sido un pilar imprescindible esta investigación.

Agradecemos a la Universidad Francisco Gavidia (UFG), al Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación (ICTI), al Instituto para el Crecimiento Sostenible de la Empresa (ICSEM), por el apoyo brindado para poder realizar esta investigación. A Alberto González por siempre motivarnos y apoyarnos a continuar esta investigación.

Además, le agradecemos al Lic. Rodolfo Menjívar y a la M. sD. Martha Martínez por su valioso aporte en esta investigación.

También queremos agradecer a todas las personas que nos han brindado su apoyo para realizar este estudio, a Andrea Fortis por formar un gran equipo con nosotras y estar en cada paso que hemos dado, a Alejandra Trejo por apoyarnos en cada fase de este proyecto, así mismo le agradecemos a Laura Perdomo, Ruth Arévalo, Gilma Guerra, Vivian Matal, Gabriela Montes, Gerson Patriz, Walter Medrano, Gina López, a nuestros compañeros buzos de seguridad Rodrigo Escobar y César Bonilla. A don Fermín, Melvin, don Luis y don Mario por ser parte de esta travesía. De igual forma le agradecemos a nuestros grandes amigos: Rubén Gonzáles, Xiomara Crespín, Gabriela López, Nelson Alemán, Gabriela Cornejo, Brayan Amaya, Fátima Romero, Melissa Oviedo, Alejandra Meléndez, Silvia Flores y Fernando Merino por motivarnos, alentarnos para continuar cada vez que lo necesitamos y alegrarse por cada triunfo con nosotras.

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. OBJETIVOS	4
3.1. Objetivo general	4
3.2. Objetivos específicos	4
4. MARCO TEÓRICO	5
4.1. Antecedentes.....	5
4.2. Phylum Echinodermata.....	6
4.2.1. Clase Echinoidea	7
4.2.2. Ecología.....	9
4.3. Diversidad en El Salvador.....	10
4.4. Densidad de Echinoideos en el Pacífico Oriental Tropical	11
4.5. Distribución y densidad en El Salvador	12
4.6. Influencia de parámetros físico-químicos.....	13
4.7. Estructura de tallas	15
4.8. Marco metodológico	17
4.9. Marco estadístico	17
5. METODOLOGÍA.....	20
5.1. Área de estudio.....	20
5.1.1. Plataforma rocosa.....	21
5.1.2. Oceanografía	21
5.2. Metodología de campo.....	21
5.2.1. Puntos de Muestreo	21
5.3. Diseño experimental.....	21
5.4. Análisis de datos	24
5.4.1. Densidad de Echinoideos.....	24
5.4.2. Estructura de tallas	24
5.4.3. Relación entre los parámetros físico-químicos y la densidad de Echinoideos	24
6. RESULTADOS.....	25
Riqueza de Echinoideos en el arrecife somero de Los Cóbanos	25
6.1. Densidad de Echinoideos.....	27

6.2. Estructura de tallas	29
6.3. Relación entre densidad de Echinoideos y parámetros físico-químicos	31
7. DISCUSIÓN	35
7.1. Densidad de especies	35
7.2. Estructura de tallas	38
7.3. Relación entre densidad de Echinoideos y parámetros físico-químicos	41
8. CONCLUSIONES	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la morfología externa de los erizos de mar.	8
Figura 4. Registro de parámetros físico-químicos con la sonda multiparámetro Hanna.	23
Figura 5. Registro de la rugosidad del sustrato.	23
Figura 6. Densidad total de individuos por especie registradas durante la investigación.....	28
Figura 7. Densidad total de individuos por profundidad registradas durante la investigación.	28
Figura 8. Estructura de tallas de <i>Eucidaris thouarsii</i>	29
Figura 9. Estructura de tallas de <i>Echinometra vanbrunti</i>	30
Figura 10. Estructura de tallas de <i>Diadema mexicanum</i>	31
Figura 11. Relación ecológica entre parámetros físico-químicos y la densidad de Echinoideos.	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Listado taxonómico de Echinoideos registrados en el arrecife somero de Los Cóbanos.	26
Tabla 2. Densidades promedio de Echinoideos por sitios de muestreo.	27
Tabla 3. Variables físico-químicas registradas durante la investigación.	32
Tabla 4. Valores de las variables físico-químicas y biológicas en los componentes principales.	32

1. RESUMEN

El Phylum Echinodermata está conformado por cinco clases, una de ellas es la Echinoidea. Algunos factores que pueden influir en la variación de la densidad en sus poblaciones son: temperatura del agua, disponibilidad de oxígeno disuelto, profundidad de la columna de agua, oleaje, las surgencias, el aporte de agua dulce y la sedimentación. La estructura de tallas puede verse influenciada por la densidad, como en los diademátidos, en donde se ha registrado un efecto de densodependencia, los organismos son capaces de sobrevivir en altas densidades con tallas poblacionales menores. El objetivo del trabajo fue determinar la densidad, estructura de tallas y relación de la densidad de Echinoideos con variables físico-químicas en el arrecife somero del ANP Complejo Los Cóbanos. Se seleccionaron trece puntos de muestreo con profundidades máximas de 15 m, proximidad a desembocaduras de agua continental y arrecifes rocosos; se trazaron dos transectos paralelos a la costa en bandas de 30x2 m y separados 5 m entre sí, totalizando 1,560 m² investigados. Los parámetros físico-químicos se midieron con una sonda multiparámetro. Se registraron cuatro especies: *Eucidaris thouarsii* (310 individuos), *Echinometra vanbrunti* (153 individuos), *Diadema mexicanum* (71 individuos) y *Astropyga pulvinata* (1 individuo). La mayor densidad promedio fue *Eucidaris thouarsii* (0.20±0.09 ind/m²), seguido por *Echinometra vanbrunti* (0.10±0.09 ind/m²), *Diadema mexicanum* (0.05±0.09 ind/m²) y *Astropyga pulvinata* (0.0006 ind/m²). Los promedios de tallas fueron: *E. thouarsii* 4.05±2.03 cm., *E. vanbrunti* 4±2.02 cm. y *D. mexicanum* 7.43±2.11 cm. La relación de la densidad de Echinoideos con parámetros físico-químicos fue que mayores densidades de *E. vanbrunti* (0.5±0.09 ind/m²) se favorecieron por mayor disponibilidad de oxígeno disuelto y medianamente con la temperatura, *D. mexicanum* (0.16±0.09 ind/m²) se asoció más a altas rugosidades del sustrato y una relación inversa con la salinidad, mientras que, con este mismo parámetro hubo una relación directa con la especie *E. thouarsii* (0.63±0.09 ind/m²). La turbidez mostró una relación inversa con todas las especies registradas, a mayores valores de turbidez menor densidad de Echinoideos. Finalmente, una de las recomendaciones fue realizar estudios a escalas espaciales en donde se incluyan diferentes tipos de sustratos en los que se desarrollen estos organismos.

2. INTRODUCCIÓN

El Phylum Echinodermata comprende aproximadamente 13,000 especies fósiles y 7,550 especies vivientes, las cuales se agrupan en cinco clases: Asteroidea, Crinoidea, Echinoidea, Holothuroidea y Ophiuroidea (Solís-Marín y Laguarda-Figueras 2010). La clase Echinoidea conformada por erizos y dólares de mar, se caracterizan por presentar individuos con un cuerpo en forma de globo o de disco, a menudo secundariamente bilateral; placas esqueléticas unidas por colágeno e interdigitaciones de calcita, que forman un caparazón rígido con espinas móviles; sistema vascular acuífero dentro del caparazón, surcos ambulacrales cerrados y aparato masticador interno, conocido como linterna de Aristóteles (Brusca y Brusca 2005). La mayoría de especies de erizos de mar se alimentan raspando la superficie del sustrato en que viven, aunque algunos son generalistas y sus dietas incluyen variedad de materiales, tanto de origen vegetal como animal (Rupert y Barnes 1996).

Los Echinoideos pueden encontrarse en diferentes hábitats, como pozas intermareales, arrecifes rocosos desde zonas someras a grandes profundidades, también pueden encontrarse bioerosionando las bases de colonias de corales. Así mismo, hay registros de Echinoideos en playas arenosas intermareales, en raíces de mangle y en pastos marinos (Alvarado et al. 2015).

Los parámetros físico-químicos juegan un papel vital en las comunidades marinas, tanto para la distribución de los organismos como en sus densidades, en los erizos de mar no es la excepción, ya que su distribución puede variar dependiendo de la profundidad y tipo de hábitat. Algunos factores que pueden influir en las poblaciones de Echinoideos y su densidad son: la temperatura del agua, la profundidad, el oleaje, las surgencias, el aporte de agua dulce, el oxígeno disuelto, la salinidad, la turbidez, la rugosidad del sustrato y la sedimentación, este último sumado a cambios en la calidad del agua, generalmente, impactan negativamente la presencia de diademátidos en los arrecifes porque son organismos sensibles a cambios abruptos en alguno de estos parámetros, causando modificaciones en su fisiología (Alvarado et al. 2015).

Los Echinoideos son importantes en todas las regiones del océano, desde ecosistemas fríos a tropicales, ya que pueden alterar el ambiente que habitan, tanto por su presencia como

por su ausencia; por ejemplo, entre 1982 y 1983, ocurrió un evento del fenómeno de El Niño en el Pacífico Oriental Tropical, en el cuál murió del 50 al 90% de las colonias coralinas, esto ocasionó que las poblaciones de *Diadema mexicanum* se elevaran y bioerosionaran las bases de las colonias de corales (Alvarado, Cortés y Reyes-Bonilla 2012).

Entre las familias de equinodermos más reconocidas que inciden en la modificación de los sustratos están *Arbaciidae*, *Diadematidae* y *Strongylocentrotidae*, ya que poseen diferentes hábitos alimentarios que van desde omnívoros/carnívoros (*Arbacia*), a herbívoros y detritívoros, donde se incluyen los diademátidos (Ling et al. 2015). En ambientes fríos donde se desarrollan extensos bosques de algas, sucede que, al aumentar las densidades de erizos, la estructura trófica se derrumba por la pérdida de biomasa vegetal, produciendo muchos efectos indirectos en los recursos (Hernández 2017).

Debido al papel ecológico que estas especies tienen, fue de gran importancia determinar la densidad y estructura de tallas que componen la población de Echinoideos de la ANP Los Cóbano. Así como, describir la relación entre los factores físico-químicos que inciden en la variación de la densidad de estos organismos, es así como el presente trabajo aporta nuevos conocimientos sobre la ecología de los Echinoideos en El Salvador, y sienta las bases para profundizar la investigación en este grupo.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Determinar la densidad y estructura de tallas de Echinoideos regulares en el arrecife somero de Los C6banos.

3.2. Objetivos espec3ficos

1. Estimar la densidad de Echinoideos regulares en el arrecife somero de Los C6banos.
2. Establecer la estructura de tallas de las especies de Echinoideos regulares en el arrecife somero de Los C6banos.
3. Describir la relaci3n entre la densidad de Echinoideos regulares con las variables f3sico-qu3micas en el arrecife somero de Los C6banos.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Antecedentes

En el Pacífico centroamericano, se han realizado trabajos enfocados a la ecología de Echinoideos, específicamente dirigidos en conocer la dinámica de estas especies en los arrecifes, entre los que destacan Alvarado y Fernández (2005) quienes informan la presencia de 25 especies de equinodermos en el Parque Nacional Marino Ballena, en donde encuentran bajas densidades de *Diadema mexicanum*, probablemente por la alta sedimentación del sitio. Así mismo, Alvarado y Chiriboga (2008), presentan a *D. mexicanum* como el único equinodermo presente en todos los sitios y profundidades de estudio y Alvarado (2008) estudia la aparición estacional del erizo *Astropyga pulvinata* en Bahía Culebra, Pacífico Norte de Costa Rica, en donde se registran altas concentraciones de individuos de esta especie.

En el Pacífico de Nicaragua, Alvarado (2011) registra la presencia de 11 especies de equinodermos, en donde *D. mexicanum* y *Echinometra vanbrunti* fueron los más abundantes, siendo este último el que presentó mayor densidad en dicho estudio.

En El Salvador, Barraza (2000) presenta un listado taxonómico de los macroinvertebrados del país, en él se incluyen siete especies de Echinoideos en zonas rocosas y playas arenosas. En otro estudio más reciente sobre equinodermos de El Salvador, Barraza y Hasbún (2005), describen cuatro especies más de equinoideos, que aumentó a 11 la riqueza de especies de este grupo en El Salvador. Posteriormente, Carballo y Pocasangre (2007) encuentran en playa El Zope, Los Cóbano a *Echinometra vanbrunti* y *Astropyga pulvinata*, estas habitan los fondos rocosos intermareales.

Alvarado et al. (2016) mediante un estudio regional a lo largo del Pacífico Oriental Tropical, describen la densidad, tallas, biomasa y distribución de *Diadema mexicanum*, en donde se presentan datos de esta especie en El Salvador.

Segovia et al. (2017) describen la riqueza y distribución de equinodermos en los arrecifes rocosos de Punta Amapala y Los Cóbano, también registran la abundancia y una densidad alta de *Echinometra vanbrunti* y *Diadema mexicanum* en ambos arrecifes.

En virtud de todo lo anterior, el conocimiento generado sobre Echinoideos regulares a nivel nacional, destaca que la mayoría de trabajos se han enfocado principalmente en conocer la riqueza de especies y otros se han dirigido en estimar su densidad. Sin embargo, hasta el momento, solo se ha presentado un estudio de Segovia et al. en 2017, en el cual se contrasta la abundancias de estos organismos con variables físico-químicas en donde la salinidad y temperatura ordenaron la abundancia de las especies registradas, más no se ha profundizado, en la situación del grupo de Echinoideos regulares en aguas más profundas (mayores a 3 m), por esta razón el conocer la densidad del grupo en diferentes zonas, profundidades, parámetros físico-químicos y tallas, reviste de vital importancia ya que permite trazar los primeros pasos hacia la investigación con Echinoideos regulares en El Salvador.

4.2. Phylum Echinodermata

Comprende aproximadamente 13,000 especies fósiles y 7,550 especies vivientes (Zhang 2013), las cuales se dividen en cinco clases: Crinoidea, con 700 especies, Asteroidea (estrellas de mar) con 1 800 especies, Ophiuroidea (estrellas frágiles) 2 000 especies, Echinoidea (erizos de mar y dólares de arena), 900 especies, y por último la clase Holothuroidea (pepinos de mar), con 1 200 especies) (Solís-Marín y Laguarda-Figueras 2010). La palabra “Echinodermata” proviene de dos vocablos griego que son “echinos” que significa espina y “dermata” que significa piel, refiriéndose a las espinas calcáreas que se encuentran en la piel de estos organismos (Solís-Marín et al. 2014). Los equinodermos son animales deuterostomados, poseen una simetría pentarradial, pero a veces aparentan una simetría bilateral; están compuestos por un esqueleto de carbonato de calcio (calcita) dispuesto en placas intradérmicas independientes y articuladas o espículas calcáreas, además poseen un sistema vascular acuífero que regula la alimentación, locomoción y otras funciones. Son animales dióicos, con mucha frecuencia de especies hermafroditas. Su reproducción ocurre generalmente en el agua cuando los gametos son liberados en ella, a pesar de ello algunas especies también poseen reproducción asexual que se da por medio de la fisiparidad (fraccionamiento voluntario o involuntario del cuerpo), originando organismos muy similares

genéticamente (Brusca y Brusca 2005). Estos organismos habitan en una gran variedad de ambientes marinos, incluso ventilas hidrotermales, infiltraciones de metano y cuevas anquihalinas (Solís-Marín et al. 2010).

En El Salvador, hasta la fecha, se han registrado 60 especies de equinodermos, distribuidas en cuatro clases. La clase de mayor representatividad es Holothuroidea (19 spp.), seguido por Ophiuroidea (18 spp.), Echinoidea (15 spp.) y Asteroidea (8 spp.) (Barraza y Hasbún 2005, Carballo y Pocasangre 2007, Alvarado et al. 2010, Alvarado y Solís-Marín 2013, Segovia et al. 2017, Ramos y Segovia 2021).

4.2.1. Clase Echinoidea

Las primeras observaciones y descripciones de Echinoideos fueron realizadas por Aristóteles, quien nombró a muchos erizos del Mediterráneo como Echinus, del cual deriva el nombre de esta clase de organismos. Por esto, el conocimiento científico inició formalmente hasta 1825 (Rupert y Barnes 1996).

De esta forma, la clase Echinoidea está formada por los erizos de mar y los dólares de arena. Se caracterizan por presentar un cuerpo en forma de globo o de disco, a menudo secundariamente bilateral; placas esqueléticas unidas por colágeno e interdigitaciones de calcita que forman un caparazón rígido, con espinas móviles, sistema vascular acuífero dentro del caparazón, surcos ambulacrales cerrados y aparato masticador interno (conocido como linterna de Aristóteles) (Brusca y Brusca 2005).

4.2.1.1. Biología

Los Echinoideos no presentan brazos, su cuerpo ha adoptado una forma esférica o aplanada según el eje oral-aboral. Algunos erizos presentan simetría radial, sin embargo, muchos que viven en fondos blandos presentan diferentes grados de simetría bilateral secundaria. Otra característica de los equinodermos es el aplastamiento y fusión de los osículos esqueléticos, de este modo forman un esqueleto compacto llamado testa o caparazón. Presentan una serie de púas móviles y relativamente largas (Figura 1) (Rupert y Barnes 1996).

4.2.1.2. Locomoción

Los erizos de mar están adaptados para vivir en fondos duros o blandos, y utilizan los pies ambulacrales como órganos locomotores, estos actúan de manera similar que las estrellas de mar, además pueden moverse en cualquier dirección (Figura 1) (Rupert y Barnes 1996).

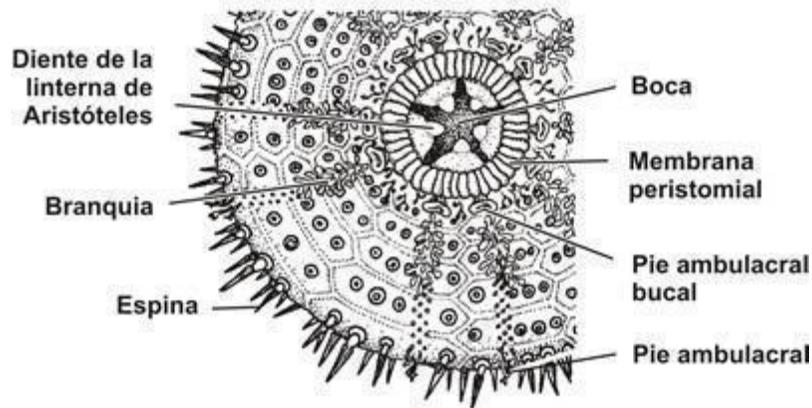


Figura 1. Esquema de la morfología externa de los erizos de mar (vista oral).

4.2.1.3. Alimentación

Los erizos de mar se alimentan por medio de un aparato masticador llamado “linterna de Aristóteles”, constituido por grandes piezas calcáreas llamadas pirámides, cada una de ellas tiene la forma de la punta de una flecha apuntando hacia la boca. La mayoría de los erizos de mar se alimentan raspando la superficie del sustrato sobre el que viven, aunque algunos son generalistas y sus dietas incluyen variedad de materiales, tanto de origen vegetal como animal. Los erizos perforadores se alimentan de algas incrustantes o endolíticas que viven en las paredes de sus agujeros, así como de otros restos orgánicos. El proceso de digestión comienza en el estómago y se completa en el intestino, donde también se produce la absorción (Rupert y Barnes 1996).

4.2.1.4. Intercambio gaseoso y circulatorio

El líquido celomático es el principal medio circulatorio y en él abundan los celomocitos. En los Echinoideos regulares hay cinco pares de branquias peristomiales, que son el principal centro para el intercambio gaseoso (Rupert y Barnes 1996).

4.2.1.5. Sistema nervioso

Este sistema en los Echinoideos es similar al de los asteroideos, poseen un anillo nervioso peribucal que rodea la faringe por dentro de la linterna, los nervios radiales pasan entre las pirámides de está y recorren la cara interna de caparazón inmediatamente por debajo de los canales ambulacrales radiales (Rupert y Barnes 1996).

4.2.1.6. Reproducción

Todos los Echinoideos son dioicos, y los erizos regulares poseen cinco gónadas que se encuentran suspendidas a lo largo de la cara interna de cada una de las zonas interambulacrales del caparazón, sin embargo, en los Echinoideos irregulares la gónada del interambulacro posterior ha desaparecido.

Algunos dólares de arena excavadores poseen unas papilas genitales largas, que permiten la liberación de los óvulos y espermatozoides encima de la superficie de la tierra. Los espermatozoides y óvulos se liberan en el agua del mar, donde se produce la fecundación. Los Echinoideos irregulares incuban los huevos en el interior de las concavidades profundas que hay en las ambulacros petaloideos. La larva de los Echinoideos es la equinopluteus. La metamorfosis se produce al final de la vida planctónica, después del establecimiento, aunque no hay una fase de fijación (Rupert y Barnes 1996).

4.2.2. Ecología

Los erizos desempeñan un papel importante en el control de las comunidades bénticas, ya que son un componente crucial de las redes alimentarias marinas, al ser presas de peces y otros animales marinos.

Estos animales controlan localmente la dinámica de algas o, en el caso del género *Diadema*, se considera un organismo muy adaptable ya que su rol ecológico depende de la situación, puede ser principalmente herbívoro, pero en algunos casos cuando la cobertura algal es baja, algunos individuos de la especie pueden actuar como coralívoros o detritívoros (Alvarado et

al. 2015). Fungen como defensa para peces en estadios juveniles, quienes buscan protección ante depredadores entre las espinas del género *Diadema* (Benítez-Villalobos y Valencia-Méndez 2015).

En cuanto a sus densidades, Glynn (1997) afirma que densidades bajas o moderadas de erizos pueden causar una erosión substancial, pero densidades altas pueden llevar a una rápida pérdida de la composición en el arrecife.

Sin embargo, esto es importante de resaltar porque los aumentos o disminuciones en la densidad de erizos pueden estar asociados no solamente a características del tipo de sustrato (sustratos más complejos se asocian a mayores densidades de erizos), sino también a factores ambientales, como un ejemplo a esto, Zamora y Leyte (2009) estudiaron la variación en la densidad de *Diadema mexicanum* en dos arrecifes de México, registrando que un aumento en la densidad de esta especie se asoció a mayor temperatura del mar y disminución de salinidad.

Así mismo, las tallas de Echinoideos están fuertemente asociadas a sus densidades, en tanto que se ha registrado una relación de densodependencia entre las especies, tallas menores pueden registrar mayor densidad de erizos y viceversa (Clemente et al. 2007). El éxito evolutivo de algunas especies, como *Diadema mexicanum*, es que pueden adaptar su alimentación a la disponibilidad que encuentren, es decir que en su mayoría algunas especies son hervíboras pero cuando escasean las algas pueden alimentarse de otros materiales, por ejemplo de corales (Alvarado et al. 2015).

4.3. Diversidad en El Salvador

Según Segovia et al. 2017, en El Salvador se han registrado un total de 14 especies de equinoideos, de las cuales, siete son regulares: *Diadema mexicanum*, *Astropyga pulvinata*, *Arbacia stellata*, *Echinometra vanbrunti*, *Toxopneustes roseus*, *Tripneustes gratilla* y *Eucidaris thouarsii* y siete especies de Echinoideos irregulares *Agissizia scrobiculata*, *Encope micropora*, *E. grandis*, *Melitella stokesii*, *Lanthonia longifissa*, *Mellita notabilis* y *Clypeaster rotundus*.

4.4. Densidad de Echinoideos en el Pacífico Oriental Tropical

Se han realizado diferentes estudios en el Pacífico Oriental Tropical para conocer la densidad de erizos de mar en dichos sitios y así conocer el papel que estas poblaciones están cumpliendo en los ecosistemas.

Zamorano y Leyte-Morales en 2005, presentaron un estudio realizado en el arrecife de La Entrega, México, la densidad poblacional de cuatro especies de erizos de mar en dicho sitio en donde *Diadema mexicanum* registró la mayor densidad anual (5.96 ± 0.85 ind/m²), seguido por *Eucidaris thouarsii* (0.46 ± 0.14 ind/m²), *Echinometra vanbrunti* (0.03 ± 0.01 ind/m²) y *Toxopneustes roseus* (0.02 ± 0.01 ind/m²).

Así mismo, Alvarado et al. (2012) presentan la distribución y diversidad de equinodermos en las islas del Golfo de Chiriquí en Panamá, en donde la mayor abundancia y densidad correspondió a *Diadema mexicanum* (0.77 ± 0.12 ind/m²), seguido por *Eucidaris thouarsii* (0.11 ± 0.02 ind/m²), *Echinometra vanbrunti* (0.91 ± 1.11 ind/m²), *Tripneustes depressus* (0.04 ± 0.02 ind/m²), *Toxopneustes roseus* (0.01 ± 0.00 ind/m²) y *Astropyga pulvinata* (0.01 ind/m²).

Benítez-Villalobos y Abadia-Chanona (2015) evaluaron la densidad y otros aspectos del erizo de mar rosado *Toxopneustes roseus* en tres sitios de Oaxaca, México de 2009-2011. Se obtuvieron las siguientes densidades promedio: Escahuite 0.12 ± 0.02 ind/m², Dos Hermanas 0.05 ± 0.01 ind/m² y en isla Cacaluta 0.04 ± 0.01 ind/m², dichas densidades obtuvieron valores máximos en algunos meses y años de muestreo, así como diferencias entre sitios, principalmente debido a características oceanográficas y atmosféricas de cada zona, variabilidad ambiental y preferencia de las especies hacia un tipo particular de sustratos.

Herrero-Pérezrrul et al. (2015) analizaron los patrones estacionales de abundancia y distribución espacial de *Echinometra mathei oblonga*, *Diadema mexicanum*, *Tripneustes depressus* y *Eucidaris thourasii* en tres bahías del sur y occidente de Isla Socorro. Registraron mayor abundancia de *Echinometra mathei oblonga* (densidad promedio por isla 3.96 ± 0.83 ind/m²), seguido por *D. mexicanum* (densidad promedio por isla 2.13 ± 0.59 ind/m²) y

finalmente por *T. depressus* (densidad promedio por isla 0.50 ± 0.06 ind/m²) y *E. thouarsii* (densidad promedio por isla 0.11 ± 0.05 ind/m²).

Alvarado et al. (2016) describen la densidad de *Diadema mexicanum* a lo largo del Pacífico Oriental Tropical, en donde el promedio fue 0.47 ± 0.15 ind/m², la mayor densidad se registró en Bahía Culebra (2.19 ± 0.57 ind/m²) y la menor en Los Cóbano (0.02 ± 0.01 ind/m²); es importante resaltar que durante esa investigación, la densidad de *D. mexicanum* fue mayor en las áreas protegidas marinas con pesca permitida (0.91 ± 1.11 ind/m²), seguido por las áreas marinas protegidas sin pesca (0.57 ± 0.24 ind/m²) y las áreas marinas con pesca (0.23 ± 0.36 ind/m²). Además, los autores destacan que, bajo condiciones de oleajes intensos, aumenta la abundancia de *D. mexicanum*.

4.5. Distribución y densidad en El Salvador

Según Barraza (2000) hasta inicios de la década, en El Salvador se conocían siete especies de Echinoideos principalmente distribuidas en zonas rocosas (Los Cóbano, Sol y mar, El Pital, Maculís) y playas arenosas (Costa del Sol, El Cuco, Isla San Sebastián); entre ellas *Astropyga pulvinata*, *Eucidaris thouarsii* y *Toxopneustes roseus* registradas para Los Cóbano a profundidades mayores a 10 m, *Diadema mexicanum*, *Echinometra vanbrunti* y *Encope sp.* Como organismos de zonas rocosas intermareales y en el caso de *E. vanbrunti* como una especie muy abundante en dichos sitios.

Posteriormente, Barraza y Hasbún (2005) enlistan las especies de equinodermos que ocurren en el país, de esta forma la riqueza de Echinoideos aumenta a once especies, con la inclusión de algunas especies de Echinoideos regulares como *Arbacia incisa* distribuida en el Golfo de Fonseca en fondos fangosos y pequeñas rocas e irregulares como *Agissizia scrobiculata*, *Encope micropora*, *Melitella stokesii*, *Mellita notabilis* y *Lanthonia longifissa* principalmente en sustratos arenosos, fangosos y restos vegetales en Costa del Sol y Golfo de Fonseca.

Se han registrado otros Echinoideos como parte de las descripciones de equinodermos que ocurren en las costas rocosas, principalmente en el arrecife de Los Cóbano. De esta forma, Carballo y Pocasangre (2007), reportan dos especies de Echinoideos en fondos rocosos

intermareales del sitio en playa El Zope que son *Echinometra vanbrunti* y *Astropyga pulvinata* con densidades 0.000833 ind/m². Así mismo, Segovia, Guerra y Ramos (2017) describen la riqueza y distribución de equinodermos en los arrecifes rocosos de Punta Amapala y Los Cóbanos, en donde *E. vanbrunti* mostró una densidad de 0.91±0.199 ind/m² para el primer sitio y 0.27±0.091 ind/m² para el segundo.

4.6. Influencia de parámetros físico-químicos

Los parámetros físico-químicos juegan un papel vital en las comunidades marinas, en la distribución y densidad de los erizos de mar, ya que su distribución puede variar dependiendo de la profundidad y tipo de hábitat (Alvarado et al. 2015). Espino-Barr et al. (1996) describieron la densidad de *Diadema mexicanum* en el litoral rocoso de Colima, México, así registran que, a temperaturas mayores a 30°C, hay mayor abundancia y densidad de *D. mexicanum*, en contraposición, a temperaturas menores de 28°C, presentan menores abundancias y densidades; la concentración de oxígeno disuelto se mantuvo relativamente constante a lo largo del año, oscilando entre 3.3 a 6.4‰ los valores menores de turbidez se registraron entre mayo y agosto (80-90%) que estuvo asociada a los mayores valores de densidad de erizos (35-49 mil ind/Ha); en cuanto a la rugosidad, se registraron mayores densidades de erizos en fondos rocosos en donde también la densidad de erizos es constante a lo largo del año (5,000 ind/Ha) y densidades bajas o nulas en sitios con fondos rocosos y arenosos.

Dumas et al. (2007) investiga la influencia de factores ambientales en la distribución espacial de erizos (*Diadema setosum* y *Echinometra mathaei*) en Nueva Caledonia, Pacífico Sur, concluyen que una de las principales características para la densidad de estos organismos es el tipo de sustrato con respecto a características ambientales y propias de la especie, principalmente para *D. setosum*. En contraposición, *E. mathaei* mostró mayor influencia de variables biológicas como la cobertura algal. Además, sugieren que existe mayor variación en cuanto a densidad de organismos en escalas espaciales entre 10 m²/estación y 50 m²/escala arrecifal.

Para *Diadema mexicanum* se han observado altas densidades en condiciones hidrodinámicas moderadas con agregaciones de 5-50 individuos en el Parque Nacional Machalilla, Ecuador (Sonnenholzer y Lawrence 2002). En el arrecife de La Entrega, México, se determinó que esta misma especie fue la que presentó la mayor densidad de cuatro especies de erizos (5.96 ± 0.85 ind/m²) siendo mayor en aguas profundas (entre 6-12 m) que en las someras (0-6 m) (Zamorano y Leyte-Morales 2005).

En un estudio realizado en la isla del Coco, Costa Rica, Alvarado y Chiriboga (2008), no registran diferencias significativas en las densidades de *Diadema mexicanum*, pero sí observaron que hubo mayor concentración de individuos de la especie entre los 8-12 m de profundidad.

Sin embargo, se ha observado que para los erizos del género *Echinometra* el límite superior de su distribución está condicionado principalmente por la desecación o las altas temperaturas y su límite inferior, condicionado principalmente por la depredación y disponibilidad de microhábitats (Dumas et al. 2007, Santos y Flammang 2008), seguido por la disponibilidad de alimento, principalmente por algas a la deriva en la zona intermareal.

Benítez-Villalobos y Abadía-Chanona (2015), en la costa de Oaxaca, México, evaluaron la densidad de *Toxopneustes roseus* y su relación con la temperatura, salinidad y pH, así como también precipitación pluvial e irradiación. En donde, en uno de los sitios muestreados registraron una relación directa pero no determinante entre la densidad de esta especie y la precipitación pluvial, además de otros factores que influyen en su dinámica poblacional como áreas con mayores extensiones y el aporte de sedimentos por la presencia de ríos. Sin embargo, para dicho estudio, se encontró que en dos de los sitios muestreados no hubo influencia significativa de la temperatura, salinidad, pH, precipitación pluvial e irradiación, pero este comportamiento si se observa en la Isla de Calcuta.

En particular, en las costas de El Salvador, Segovia et al. (2017) estudió la riqueza de equinodermos en dos arrecifes rocosos del país (Los Cóbanos y Punta Amapala) y su relación con factores físicos y químicos, en donde obtienen que las ocurrencias del erizo morado

Echinometra vanbrunti estuvo más relacionado a sitios que poseen mayor temperatura (31°C) e intermedia salinidad (31‰), así como también a sitios con mayor complejidad del sustrato.

4.7. Estructura de tallas

En los organismos marinos, así como en todos los seres vivos, la introducción de energía que es invertida en procesos básicos como crecimiento, reproducción, metabolismo y excreción, proviene de su alimentación y de la estabilidad en el ambiente en que se desarrollan, ya que, en condiciones de estrés ambiental, ocasionado por altas temperaturas, variación en pH, salinidades, etc., pueden tener graves consecuencias en los procesos anteriormente mencionados (Kurihara et al. 2013).

Se ha evidenciado que las espinas en los Echinoideos son más sensibles a la degradación en altas concentraciones de CO₂, esto implica un mayor gasto energético del organismo en regenerar estos tejidos, que proviene de la energía disponible para crecimiento, teniendo así un efecto en la disminución de tallas que trae consigo consecuencias en la alimentación, reproducción y movilidad de los organismos. Además, los erizos más pequeños son más vulnerables a la depredación y daños mecánicos (Ebert 1968).

En los diademátidos, se ha registrado una relación inversa entre la talla (diámetro del caparazón) y la densidad en muchas poblaciones, a este efecto se le conoce como densodependencia, el cual los erizos son capaces de sobrevivir en altas densidades con tallas promedio poblacionales menores (Clemente et al. 2007). De esta forma, Epherra et al. (2014), comprueban que *Arbacia dufresnii* presenta una relación inversa entre el tamaño corporal y la densidad poblacional de esta especie en diferentes sitios de la Patagonia en el Océano Atlántico, la población de *A. dufresnii* en el Golfo San Jorge posee baja densidad (0.3-0.6 ind/m²) y duplican las tallas (diámetros del caparazón) (52-75 mm) que la población de erizos del Golfo Nuevo que es más densa, 3-10 ind/m² con 28.75 mm.

En el Pacífico Oriental Tropical, Espino-Barr et al. (1996) registran tallas de *Diadema mexicanum* en el litoral rocoso de Colima, México entre 1.5-8.5 cm de diámetro de testa,

observando mayor abundancia en tallas mayores y menores en ciertos meses, esta última aparentemente debido al reclutamiento de nuevos individuos en estas poblaciones.

Alvarado (2005) describe características ecológicas de *Astropyga pulvinata* en Bahía Culebra, donde registran densidad, grado de agregación y la relación que tiene esta especie con los parámetros físico-químicos, determinando el espacio y extensión temporal de las agregaciones y cómo los parámetros pueden influir. La mayoría de los individuos de esta especie registraron diámetros de testa entre 70 y 120 mm. Comprobando que las agregaciones poblacionales de esta especie se podrían deber a la protección, así como lo describe Pearse y Arch (1969), en el que observaron que las agregaciones de los diademátidos representan actividades sociales y no parecen ser respuestas simples a las limitaciones ambientales.

Así mismo, en Bahía Culebra, estas agregaciones ocurrían en temporada de surgencia, cuando no hay evidencia de un aumento de depredadores. Debido al hábito alimenticio de *A. pulvinata*, al ser detritívoros, pueden estar explotando los recursos alimenticios durante esta temporada ya que hay mayor disponibilidad de alimentos, así que, estas agregaciones son probablemente debido a una combinación de ambas interacciones, protección cuando estas especies son abundantes y optimización del alimento.

Para *Diadema mexicanum* se han registrado diámetros de individuos entre 1.5-8.1 cm (Caso 1978), sin embargo, Alvarado et al. (2016) registró que las tallas promedio para el Pacífico Oriental Tropical con esta misma especie fueron de 4.38 ± 1.50 cm, con las tallas máximas de 12.3 cm. registradas en la Isla del Coco y las más pequeñas (0.37 cm.) en Carrizales. Así mismo, las tallas promedio de *D. mexicanum* en áreas marinas protegidas sin pesca permitida fueron de 5.77 ± 1.22 cm, mientras que, en las áreas marinas sin protección tuvieron una talla de 4.11 ± 1.11 cm. y en las áreas marinas protegidas con pesca permitida se obtuvieron tallas de 3.67 ± 1.36 cm.

4.8. Marco metodológico

Existen diferentes metodologías para el estudio de los Echinoideos en arrecifes rocosos y/o coralinos, la mayoría de ellos consisten en realizar transectos en banda de longitud variada que se trazan directamente sobre el arrecife y paralelos a la costa que son recorridos con cuadrantes de PVC de 1 m².

Transectos: sus longitudes pueden variar de acuerdo al sitio de estudio (Bauer 1980), estos son: diez transectos de 20 m de largo x 1 m de ancho (Labbé-Bellas et al. 2016, Epherra et al. 2017), tres transectos de 10x2 m separados entre sí por al menos 10 m y entre 0.5 y 25 m de profundidad (Benítez-Villalobos y Abadía-Chanona 2015, Alvarado et al. 2016), dos transectos de 30x1 m (Segovia et al. 2017), transectos de 1x35 m (Herrero-Pérezrrul et al. 2015), todos ellos son utilizados para estimar abundancias y densidades dentro del arrecife.

Tallas: en términos generales, las tallas son registradas durante la realización del conteo de individuos y para ello se utiliza un calibre digital con la mayor precisión posible (usualmente de 0.01 mm) (Bak 1994, Clemente et al. 2007, Alvarado et al. 2016, Epherra et al. 2017).

Parámetros físicos y químicos: en cuanto a la medición de parámetros físicos y químicos, como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y turbidez se registran mediante una sonda multiparámetro Hannah (precisión ± 0.01) (Benítez-Villalobos y Abadía-Chanona 2015, Segovia et al. 2017) o también por medio de botellas oceanográficas (Alvarado y Aguilar 2009). La rugosidad se mide por medio de una cadena metálica de 10 m acoplada completamente al sustrato, registrando su longitud final, este dato se coloca en la fórmula del índice de rugosidad (Alvarado et al. 2016, Segovia et al. 2017).

4.9. Marco estadístico

Diversos estudios utilizan métodos estadísticos al trabajar con Echinoideos en arrecifes rocosos, los cuales son utilizados para conglomerar datos y comparar muchas variables, como en el presente estudio, el cual se relacionarán variables físico químicas con las densidades de los individuos. En general, el Análisis de Componentes Principales (ACP) es una técnica estadística de análisis multivariado que permite seccionar la información

contenida en un conjunto de p variables de interés en m nuevas variables independientes. Cada una explica una parte específica de la información y mediante combinación lineal de las variables originales otorgan la posibilidad de resumir la información, total en pocas componentes que reducen la dimensión del problema (González et al. 2008)

La mayor aplicación del ACP está centrada en la reducción de la dimensión del espacio de los datos, en hacer descripciones sintéticas y en simplificar el problema que se estudia (González et al. 2008)

Los datos de partida en un ACP son los contenidos en la matriz de datos X constituida por I filas (muestras) y J columnas (variables). El proceso aborda seguidamente el cálculo de los CP. Los componentes t_a ($a = 1, \dots, A$) serán combinaciones lineales de las variables originales X_j ($j = 1, \dots, J$) siendo p el peso o contribución de la variable al componente t_a :

$$t_a = p_{a1}X_1 + \dots + p_{aJ}X_J$$

En esta ecuación X es la matriz original de datos de dimensión $I \times J$, T es la matriz de las muestras (*scores*) y de dimensión $I \times A$. La matriz P es la llamada matriz de los pesos (*loadings*) la cual se determina mediante los vectores propios de la matriz de covarianzas de X , tiene dimensión $A \times J$. P^t es la transpuesta de dicha matriz. E es la matriz de los residuos con dimensión $I \times J$. El número de columnas t_a en la matriz T y filas p_a en la matriz P , es igual al número A que es la cantidad o el número de CP que existirán. Los valores de A son menores que el número de variables J y el número de muestras I (González et al. 2008). Los análisis multivariados han sido utilizados en diferentes estudios para contrastar o relacionar diferentes variables, en su mayoría cuando se trata de analizar variables ambientales con variables biológicas, así tenemos a:

Alvarado y Fernández (2005), utilizaron para comparar la composición de especies entre cada sitio un dendograma de unión simple basado en los datos de los transectos en los sitios de estudios y un Análisis Escalado Multidimensional (MDS) basado en el índice de similitud

de Pearson de los equinodermos encontrados en los sitios, con el fin de corroborar las similitudes.

Ortega et al. (2009), describieron el efecto de la densidad del erizo de mar *Diadema antillarum* sobre la diversidad y composición de la comunidad de mega-invertebrados ágiles habitando en el fondo rocoso del Archipiélago Canario, para esto utilizaron el Análisis de Correlación para comprobar la relación entre la riqueza de especies mega-invertebrados y la densidad media de erizos *D. antillarum* por localidad.

En tanto que Alvarado et al. (2016), utilizaron para la distribución de frecuencia de los diámetros una prueba de chi-cuadrado. Se calculó un índice de similitud de Bray-Curtis con los datos estandarizados para construir un dendograma de agrupamiento promedio y un Escalado Multidimensional No Métrica (NMDS) para agrupar similitud entre sitios de muestreo.

Segovia et al. (2017), utilizan para la relación entre especies y variables abióticas del ecosistema, un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC). Para el ACC se comprobó la normalidad y homocedasticidad de los datos.

5. METODOLOGÍA

5.1. Área de estudio

El Área Natural Protegida (ANP) Complejo Los Cóbano se ubica a 11 Km al Oriente del municipio de Acajutla, Sonsonate, en el área comprendida entre Punta Remedios ($13^{\circ}31'26''$ LN y $89^{\circ}48'23''$ LO) y Barra Salada ($13^{\circ}32'31''$ LN y $89^{\circ}41'32''$ LO). Este territorio no solamente comprende la primera área marina protegida que se establece en El Salvador, sino también la de mayor extensión del Sistema de Áreas Naturales Protegidas (SANP). La plataforma de Los Cóbano se encuentra rodeada de playas rocosas, ríos, manglares, esteros, campos agrícolas y estanques de cultivos en zona terrestre (ICMARES 2006).

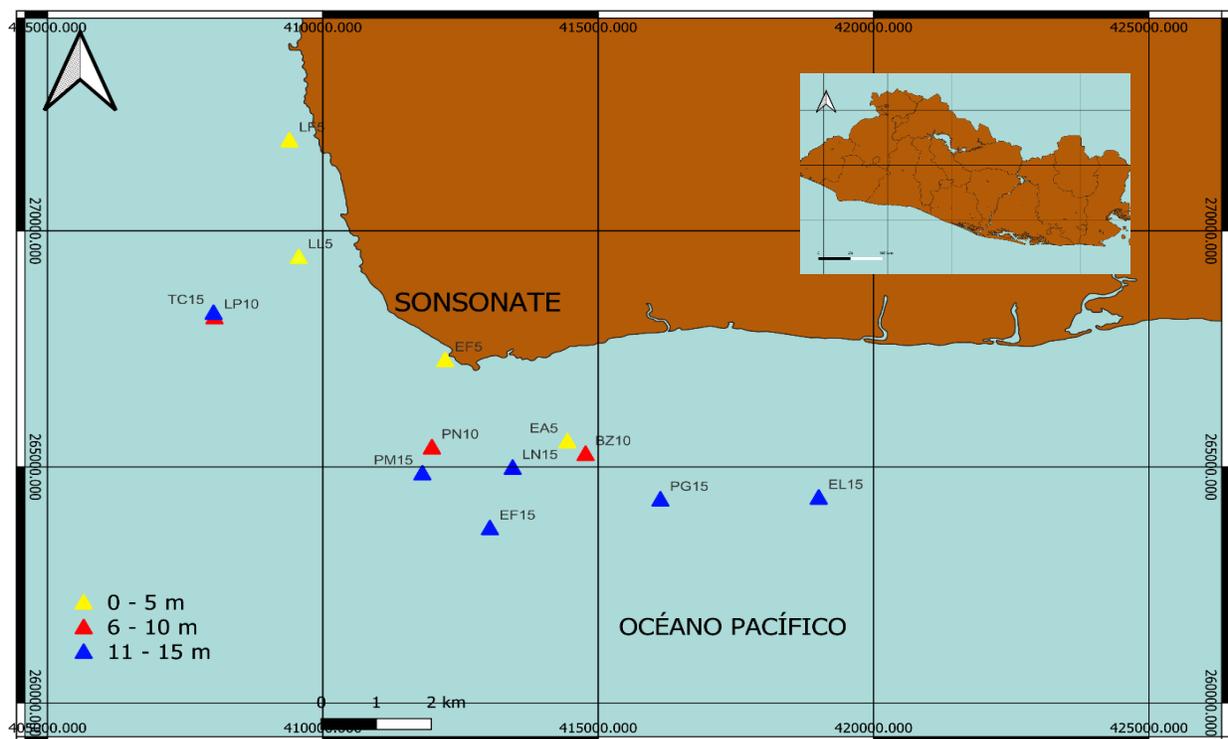


Figura 2. Ubicación de los puntos de muestreo en el arrecife del ANP Complejo Los Cóbano. Puntos de muestreo: EA5 (El Acuario 0-5 m), EF5 (El Faro 0-5 m), LL5 (La Lorerita 0-5 m), LF5 (Las Flores 0-5 m), PN10 (La Puntita 6-10 m), LP10 (La Pecerita 6-10 m), BZ10 (Bajón de Zúniga 6-10 m), TC15 (Tres Cruces 11-15 m), LN15 (La Naviera 11-15 m), PM15 (Punta de Monte 11-15 m), PG15 (Parguetas 11-15 m), EL15 (El Lucero 11-15 m) y EF15 (El Farito 11-15 m).

5.1.1. Plataforma rocosa

El arrecife de Los C6banos es de origen volc6nico con profundidades entre 0 a 50 metros, posee una gran diversidad de invertebrados, peces, algas, y su distintivo es que es el 6nico lugar entre M6xico y Nicaragua que posee corales hermat6picos. El fondo marino se caracteriza por abundantes depresiones formando lagunetas cubiertas de algas y esqueletos coralinos. En Los C6banos, se observa un ciclo mareal semidiurno, con dos pleamares y dos bajamares durante 24 horas (ICMARES 2008).

5.1.2. Oceanograf6a

El 6rea de influencia de Los C6banos se encuentra localizada dentro de la regi6n biogeogr6fica marina Pac6fico Tropical Oriental, la cual se caracteriza por fuertes vientos que son influidos por la topograf6a del continente americano, con una circulaci6n oce6nica con presencia de remolinos permanentes y surgencias o afloramientos significativos en 6reas alejadas del ecuador (MARN 2016).

5.2. Metodolog6a de campo

5.2.1. Puntos de Muestreo

La investigaci6n se realiz6 en la 6poca seca con una muestra de 26 transectos en 13 puntos de muestreo dentro del ANP Complejo Los C6banos, estos fueron: Tres Cruces, La Pecerita, La Lorerita, Las Flores, La Naviera, Baj6n de Z6niga, Punta de Monte, La Puntita, Las Parguetas, El Lucero, El Acuario, El Farito y El Faro (Figura 2), con el prop6sito de identificar cambios en la densidad de Echinoideos y su relaci6n con los par6metros f6sico-qu6micos. Los puntos de muestreo seleccionados se caracterizan por ser arrecifes rocosos con rocas de tama6o medio a grande y con formaciones de corales escleractinios como en El Faro.

5.3. Dise6o experimental

En el ANP Complejo Los C6banos, se seleccionaron trece puntos de muestreo que cumplieran con las siguientes caracter6sticas: profundidad (0-15 m), gradiente de salinidad (proximidad a desembocaduras de agua continental) y arrecifes rocosos. Dentro de cada punto de

muestreo, se trazaron dos transectos paralelos a la costa en bandas de 30 m de longitud por 2 m de ancho y separados 5 m entre sí, con un área de 120 m² por cada punto de muestreo, haciendo un total de 1,560 m² investigados. Los transectos paralelos a la costa, se recorrieron con un cuadrante de PVC de 1 m² (A), registrando la especie, abundancia (B), medición del diámetro de testa (talla) con un calibrador, ya sea que estos se encontraran dentro o fuera de sus refugios y registro de la talla del individuo (C) (Figura 3) (Anexo 1).

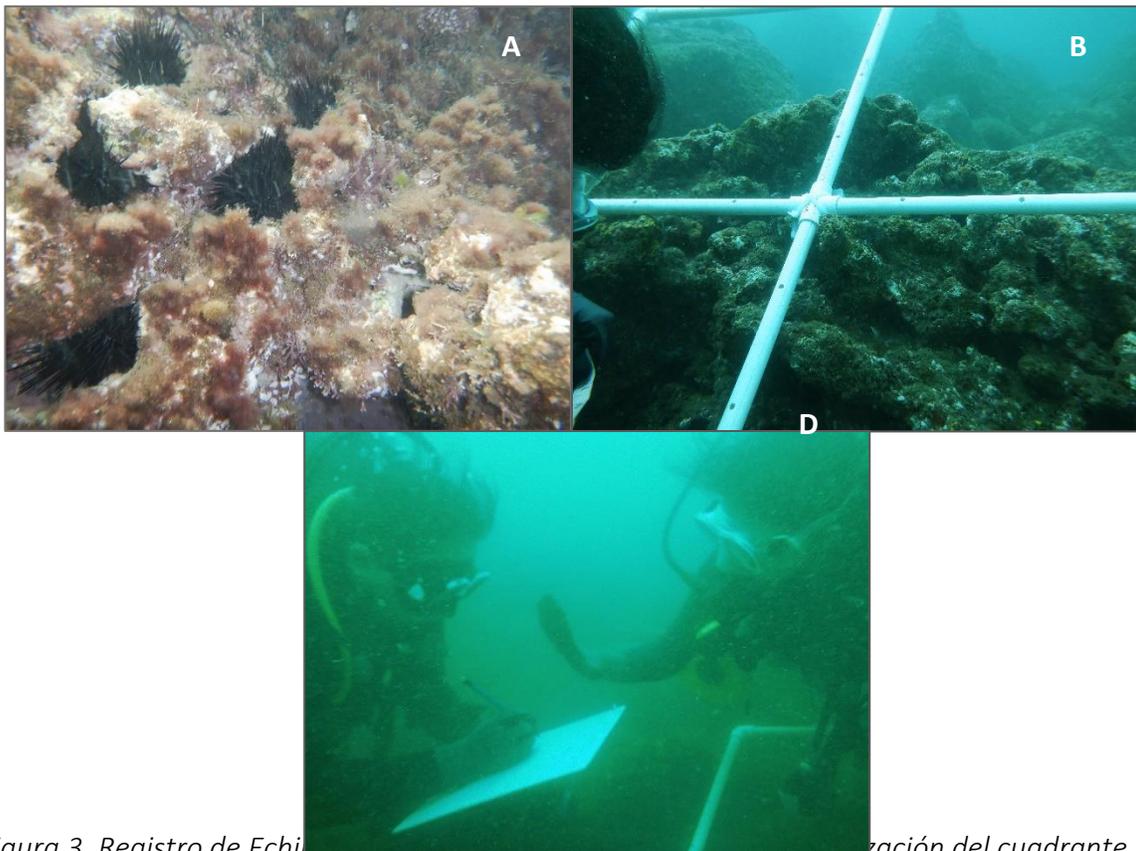


Figura 3. Registro de Echinoides en los puntos de muestreo y colocación del cuadrante en el punto de muestreo. B) Observación de Echinoideos dentro del cuadrante. C) Registro de talla del individuo.

5.1.1. Registro de parámetros físico-químicos

Los parámetros analizados para esta investigación fueron: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, turbidez del agua y complejidad del sustrato (rugosidad). El oxígeno disuelto, la turbidez, temperatura y salinidad del agua se midieron a través de una sonda multiparámetro Hanna modelo HI9829 tomando muestras a un metro del fondo (Figura 4) (Anexo 2).



Figura 4. Registro de parámetros físico-químicos con la sonda multiparámetro Hanna.

La complejidad del sustrato se estimó por medio del IR (Índice de Rugosidad) (Luckhurst y Luckhurst 1978), en el cual los valores más cercanos a 0 indican sitios menos rugosos (más homogéneos) y valores cercanos a 1 indican sitios más rugosos (más heterogéneos). Se utilizó una cadena metálica de 10 m de longitud que se acopló completamente al relieve del sustrato y luego se midió la distancia final de la cadena con cinta métrica (Figura 5).

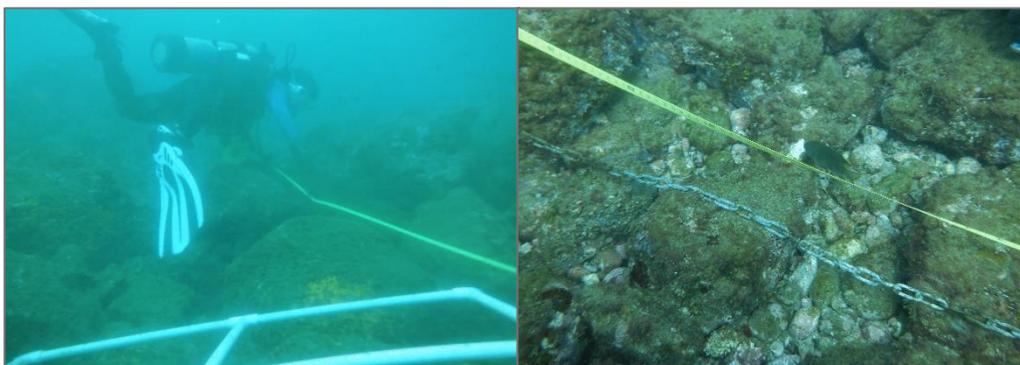


Figura 5. Registro de la rugosidad del sustrato.

5.4. Análisis de datos

5.4.1. Densidad de Echinoideos

Se realizó con la abundancia de los organismos en unidades de densidad absoluta (ind/m²) (Krebs 1999) para cada especie registrada en la investigación. La profundidad se dividió en tres categorías de 0 a 5 metros, 6 a 10 metros y 11 a 15 metros.

5.4.2. Estructura de tallas

Se estableció por medio de histogramas construidos a partir de las tallas registradas por cada especie y el número de clases se estableció por medio de la regla de Sturges (USAC 2011).

5.4.3. Relación entre los parámetros físico-químicos y la densidad de Echinoideos

Se utilizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para identificar las variables físico-químicas de mayor peso y que aporten más a la variabilidad capturada en los muestreos en el área de estudio y con base a esto describir su relación ecológica. Estos análisis se realizaron en el paquete estadístico PAST 3.0.

Las variables físico-químicas del agua analizadas en este estudio fueron: temperatura (°C), turbidez (NTU), salinidad (PSU) y oxígeno disuelto (ppm), así como rugosidad del sustrato; la variable biológica fue la densidad de *Echinometra vanbrunti*, *Eucidaris thouarsii* y *Diadema mexicanum* registradas en cada punto de muestreo.

6. RESULTADOS

Riqueza de Echinoideos en el arrecife somero de Los Cóbanos

En el presente estudio, se registró un total de 535 individuos, pertenecientes a cuatro especies agrupadas en tres familias. La familia con mayor riqueza de especies fue Diadematidae con *Astropyga pulvinata* y *Diadema mexicanum*, mientras que Echinometridae se representó con *Echinometra vanbrunti* y Cidaridae con *Eucidaris thouarsii*. La mayor abundancia se registró para *E. thouarsii*, con 310 individuos, seguido de *E. vanbrunti*, con 153; con 71 individuos estuvo representada *D. mexicanum*, y de *A. pulvinata* se encontró un solo individuo.

En cuanto a la riqueza de especies por punto de muestreo, se registraron en El Acuario y Punta de Monte tres especies (*Echinometra vanbrunti*, *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii*), El Faro, Las Flores, Tres Cruces, La Naviera y Las Parguetas (*E. vanbrunti* y *D. mexicanum*), La Lorerita (*E. thouarsii* y *D. mexicanum*), y El Farito (*E. vanbrunti* y *Astropyga pulvinata*). Una especie (*Eucidaris thouarsii*) para La Pecerita, La Puntita, el Bajón de Zúniga y El Lucero (Tabla 1).

Tabla 1. Listado taxonómico de Echinoideos registrados en el arrecife somero de Los Cóbanos.

Puntos de muestreo: EA5 (El Acuario 0-5 m), EF5 (El Faro 0-5 m), LL5 (La Lorerita 0-5 m), LF5 (Las Flores 0-5 m), PN10 (La Puntita 5-10 m), LP10 (La Pecerita 5-10 m), BZ10 (Bajón de Zúniga 5-10 m), TC15 (Tres Cruces 10-15 m), LN15 (La Naviera 10-15 m), PM15 (Punta de Monte 10-15 m), PG15 (Parguetas 10-15 m), EL15 (El Lucero 10-15 m) y EF15 (El Farito 10-15 m).

N°	Puntos de muestreo													Abundancia	
	EA5	EF5	LL5	LF5	LP10	PN10	BZ10	TC15	LN15	PM15	PG15	EL15	EF15		
	Phylum Echinodermata														
	Clase Echinoidea														
	Orden Camarodonta														
	Familia Echinometridae														
1		X	X		X						X			X	153
	Orden Cidaroida														
	Familia Cidaridae														
2		X		X		X	X	X	X	X	X	X			310
	Orden Diadematoida														
	Familia Diadematidae														
3														X	1
4		X	X	X	X				X	X	X	X			71
		3	2	2	2	1	1	1	2	2	3	2	1	2	535 ind.

6.1. Densidad de Echinoideos

La densidad total de Echinoideos en el arrecife somero de Los Cóbano fue de 0.34 ± 0.09 ind/m². En términos generales, los promedios de densidad por especie fueron de la siguiente forma: *Eucidaris thouarsii* con 0.20 ± 0.09 ind/m², con un valor máximo de 0.63 ± 0.09 ind/m² en La Naviera y un mínimo de 0 ind/m² en El Faro y Las Flores; seguido por *Echinometra vanbrunti* con 0.10 ± 0.09 ind/m² con un valor máximo de 0.5 ± 0.09 ind/m² y un mínimo de 0 ind/m² en algunos sitios; seguido por *Diadema mexicanum* 0.05 ± 0.09 ind/m², valor máximo de 0.16 ± 0.09 ind/m² en El Acuario y 0 ind/m² en otros sitios, mientras que *Astropyga pulvinata* registró 0.0006 ind/m² (Figura 6) (Tabla 2), al contabilizarse un individuo de esta especie en toda la investigación.

Tabla 2. Densidades promedio (ind/m²) de Echinoideos por sitios de muestreo.

Sitio/Especies	<i>Eucidaris thouarsii</i>	<i>Echinometra vanbrunti</i>	<i>Diadema mexicanum</i>
Tres cruces	0.23	0	0.03
La Pecerita	0.13	0	0
La Lorerita	0.01	0	0.1
Las Flores	0	0.5	0.2
La Naviera	0.63	0	0.14
Bajón de Zúniga	0.61	0	0
Punta de Monte	0.34	0.34	0.13
La Puntita	0.13	0	0
Las Parguetas	0.08	0	0.01
El Lucero	0.19	0	0
El Acuario	0.08	0.04	0.16
El Farito	0.16	0	0
El Faro	0	0.39	0.02
Promedio	0.20±0.09	0.10±0.09	0.05±0.09

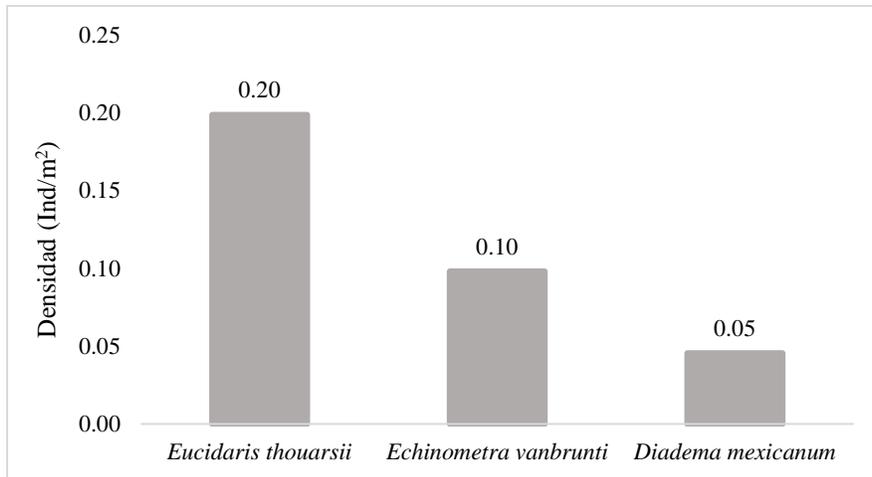


Figura 6. Densidad promedio de individuos por especie registradas durante la investigación.

En cuanto a la densidad de especies por profundidad, las especies dominantes por cada profundidad son las siguientes *Echinometra vanbrunti* presentó mayor densidad (0.23 ± 0.12 ind/m²) entre 0-5 m; mientras que, en las zonas de 6-10 m y de 11-15 m *Eucidaris thouarsii* fue la especie que registró mayor densidad con 0.06 ± 0.17 ind/m² y 0.33 ± 0.17 ind/m² respectivamente. En cuanto a *D. mexicanum*, presentó 0.07 ± 0.04 ind/m² y 0.06 ± 0.04 ind/m² en profundidades de 0-5 m y de 10-15 m, respectivamente (Figura 7).

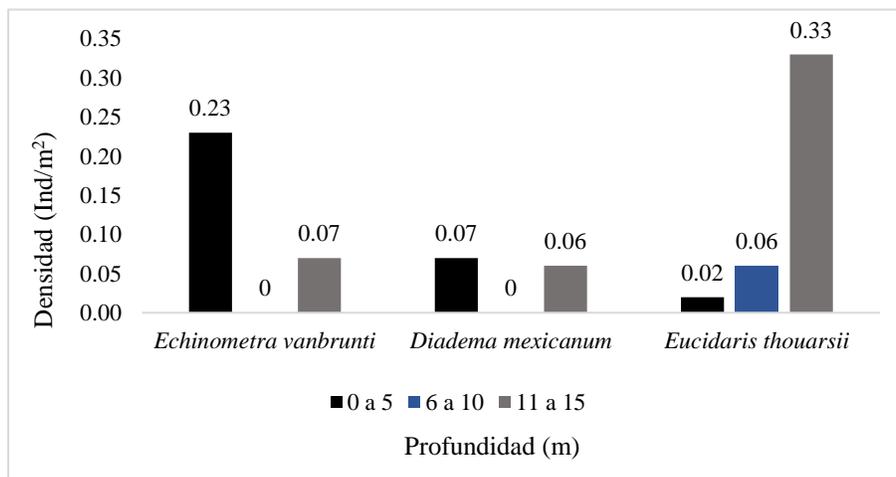


Figura 7. Densidad total de individuos por profundidad registradas durante la investigación.

6.2. Estructura de tallas

En el arrecife somero del ANP complejo Los Cóbanos la estructura de tallas de los Echinoideos se presentó de la siguiente forma:

6.2.1. *Eucidaris thouarsii*

Se midió uno total de 207 individuos de *E. thouarsii*, las tallas registradas variaron desde 1-8.99 cm de longitud y observándose una distribución de comportamiento normal en todas las tallas, con un promedio de 4.05 ± 2.03 cm. Sin embargo, las que registraron mayor abundancia por clase, fueron las tallas desde 2 hasta los 6.99 cm, y dentro de ellas la que registró mayor abundancia (73 individuos) fueron las comprendidas entre 4-4.99 cm. Seguido por aquellas entre 5-5.99 cm (47 individuos), de 3-3.99 cm (36 individuos), de 2-2.99 cm (25 individuos) y de 6-6.99 cm (16 individuos). En contraposición, las menos abundantes fueron las registradas entre 7-7.99 cm (4 individuos), entre 1-1.99 cm y 8-8.99 cm (3 individuos cada una) (Figura 8). El individuo que presentó mayor talla fue 8.99 ± 2.03 cm y el de menor talla fue 1 ± 2.03 cm.

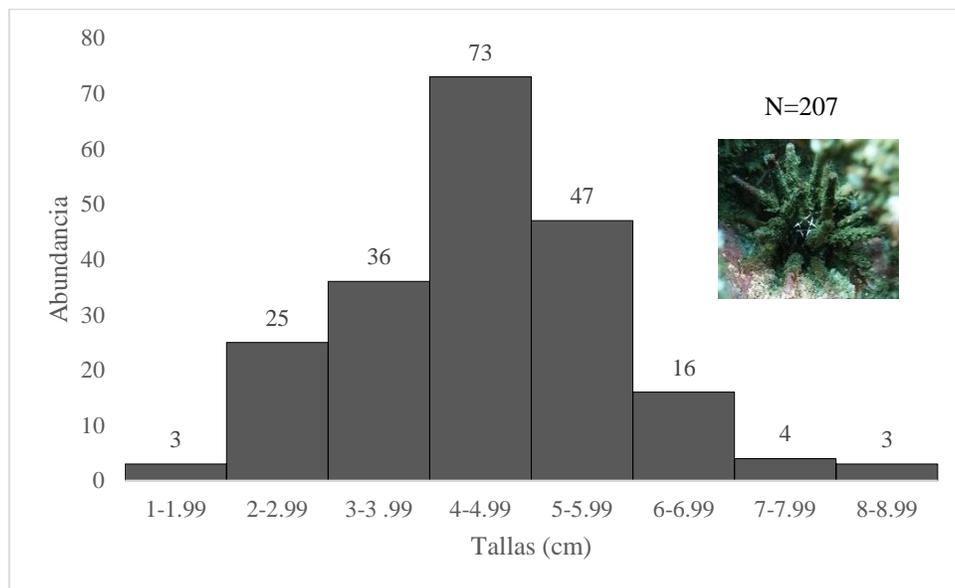


Figura 8. Estructura de tallas de *Eucidaris thouarsii*.

6.2.2. *Echinometra vanbrunti*

De la especie *E. vanbrunti*, fueron medidos un total de 111 individuos, las tallas variaron entre 1-9.99 cm de longitud, con un promedio de 4 ± 2.02 cm, la clase con mayor frecuencia de individuos fue entre 4-4.99 cm (31 individuos), seguido por la clase entre 2-2.99 cm (23 individuos). Las tallas que presentaron abundancias intermedias fueron, las clases entre 5-5.99 cm (17 individuos), 3-3.99 cm (15 individuos) y, por último, la clase entre 6-6.99 cm con 10 individuos. Así, las tallas con menores abundancias (entre 2 y 6 individuos) fueron las clases entre 1-1.99 cm y 7-9.99 cm. El individuo que registró mayor talla fue 10 ± 2.02 cm y el de menor talla fue 1 ± 2.02 cm (Figura 9).

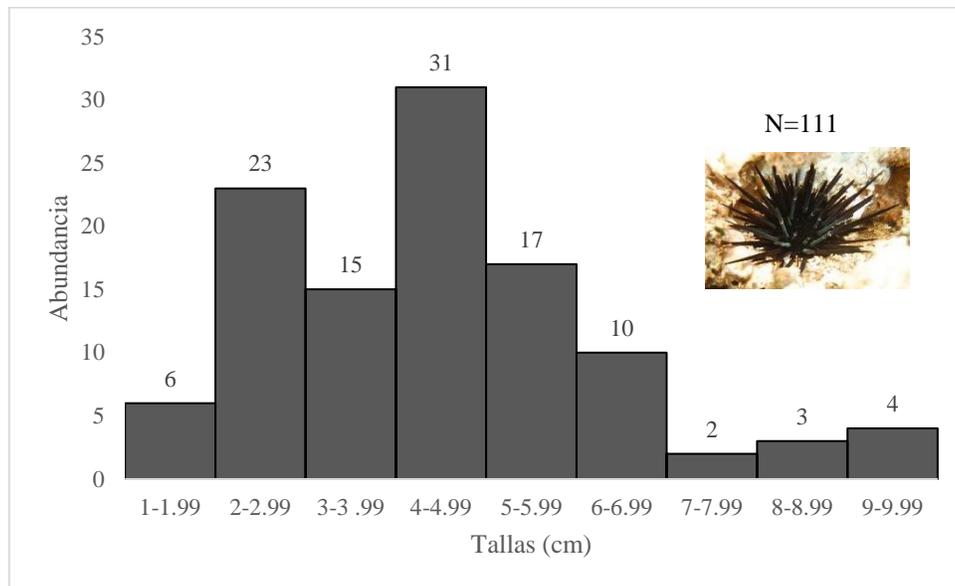


Figura 9. Estructura de tallas de *Echinometra vanbrunti*.

6.2.3. *Diadema mexicanum*

Se midieron 71 individuos de *D. mexicanum* que mostraron tallas entre 2-9.99 cm de longitud, con un promedio de 7.43 ± 2.11 cm. La clase con mayor abundancia de individuos (26) fue entre 8-8.99 cm, seguido por las comprendidas entre 9-9.99 cm (20 individuos), de 7-7.99 cm (11 individuos). Una menor frecuencia, se registró entre 6-6.99 cm y 4-4.99 cm con 4 y 7 individuos respectivamente. Mientras que el resto de clases, registraron un individuo por cada una (2-2.99 cm, 3-3.99 cm y de 5-5.99 cm) (Figura 10). El individuo mayor talla fue de 9.99 ± 2.11 cm y el de menor talla fue de 2 ± 2.11 cm.

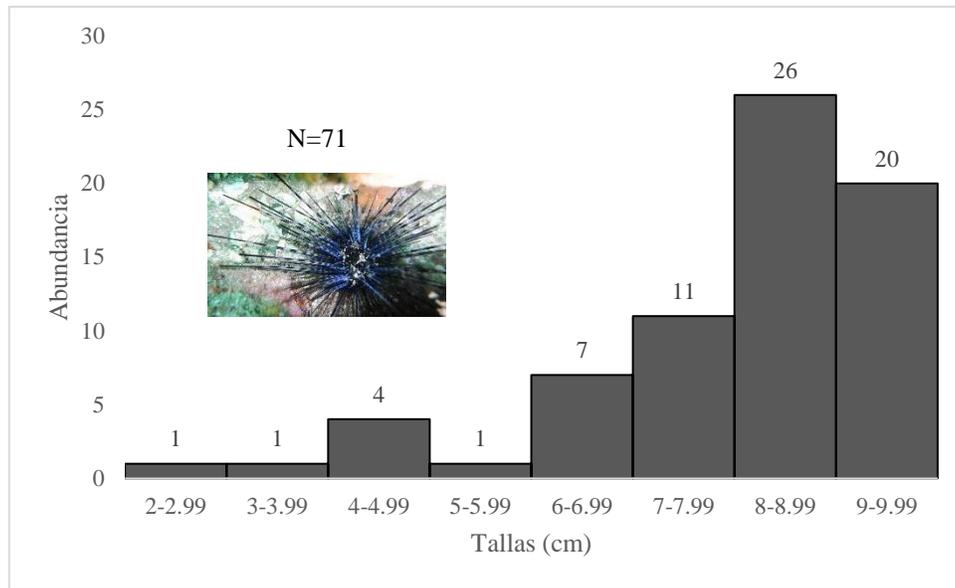


Figura 10. Estructura de tallas de *Diadema mexicanum*.

6.3. Relación entre densidad de Echinoideos y parámetros físico-químicos

Los valores de turbidez fluctuaron entre 0.3 NTU y 3.5 NTU con un promedio de 1.4 ± 1.08 NTU; mientras que el oxígeno disuelto, presentó un ámbito de 2.65 ppm a 3.92 ppm con un promedio de 3.19 ± 0.37 ppm; para la salinidad se obtuvo un rango de 34.39 PSU (UPS) a 35.16 PSU (UPS), y un promedio de 34.96 ± 0.21 PSU (UPS). Los valores de temperatura oscilaron entre 27°C y 30°C, con un promedio de 28 ± 1.33 °C; en cuanto a la rugosidad se estimó un valor promedio de 0.28 ± 0.09 (Tabla 3).

Tabla 3. Variables físico-químicas registradas durante la investigación.

Sitios	Profundidad (metros)	Turbidez (NTU)	Oxígeno disuelto (ppm)	Salinidad (PSU)	Temperatura (°C)	Rugosidad
El Faro	0 a 5	3.5	3.35	34.88	30	0.13
La Lorerita	0 a 5	1.6	3.4	34.79	30	0.21
Las Flores	0 a 5	0.9	3.92	34.87	30	0.4
El Acuario	0 a 5	1.3	2.65	35.13	27	0.31
La Pecerita	6 a 10	0.3	3.3	35.05	29	0.16
Bajón de Zuniga	6 a 10	0.5	2.96	35.08	27	0.28
La Puntita	6 a 10	1.4	3.12	34.97	28	0.22
Las Parguetas	11 a 15	2	2.73	35.1	27	0.3
La Naviera	11 a 15	1.7	2.71	35.13	27	0.26
El Farito	11 a 15	0.3	3.6	34.39	30	0.4
Punta de Monte	11 a 15	1.2	3.25	35.02	28	0.36
Tres Cruces	11 a 15	3.5	3.36	34.96	29	0.19
El Lucero	11 a 15	0.3	3.12	35.16	27	0.41
Promedios		1.4±1.08	3.19±0.37	34.96±0.21	28±1.33	0.28±0.09

El Análisis de Componentes Principales (ACP) mostró un porcentaje de variabilidad que explica el 61.4% de la varianza en los primeros dos componentes. De esta forma, el CP1, muestra que las variables físico-químicas con mayor peso son el oxígeno disuelto, la salinidad y la temperatura, en las variables biológicas de las especies *Echinometra vanbrunti* y *Eucidaris thouarsii*. En el CP2, la turbidez y rugosidad del sustrato, mostraron mayor peso en la variable biológica de *Diadema mexicanum* (Tabla 4).

Tabla 4. Valores de las variables físico-químicas y biológicas en los componentes principales. CP1: componente principal 1 y CP2: componente principal 2.

	CP 1	CP 2
Turbidez	0.08756	-0.55658
Oxígeno disuelto	0.513	0.12035
Salinidad	-0.42551	-0.038755
Temperatura	0.53795	-0.13936
Rugosidad	0.00083437	0.68432
<i>Echinometra vanbrunti</i>	0.34019	0.18506
<i>Eucidaris thouarsii</i>	-0.36678	0.14051
<i>Diadema mexicanum</i>	0.091965	0.36405

Con el ACP se observó la influencia de las variables físico-químicas sobre la densidad de las especies de Echinoideos (*Echinometra vanbrunti*, *Eucidaris thouarsii* y *Diadema mexicanum*). En este sentido, el análisis formó tres agrupaciones: el grupo 1 (G1) conformado por altos valores de los parámetros de rugosidad del sustrato y disponibilidad de oxígeno disuelto, características registradas en los puntos de muestreo como Punta de Monte (0.36) y El Farito (3.6 ppm), en donde la densidad de *Echinometra vanbrunti* se vio mayormente influenciada por la disponibilidad de oxígeno disuelto (3.96 ppm), sin embargo, *Diadema mexicanum* se asoció más con altas rugosidades del sustrato (0.36). En contraposición, estas especies mostraron una relación inversa con la salinidad, es decir que su densidad disminuyó en sitios donde los valores de salinidad fueron relativamente mayores (35.16 PSU). De esta forma, observamos que el grupo 2 (G2) se conforma por altos valores de salinidad (35.16 PSU), esta característica se presentó en sitios como El Lucero (35.16 PSU), Bajón de Zúniga (35.08 PSU), El Acuario (35.13 PSU), La Naviera (35.13 PSU) y Las Parguetas (35.01 PSU), estas condiciones propician las altas densidades de *Eucidaris thouarsii* (0.63 ind/m²), los que siempre se observaron dentro de sus huecos ubicados en las rocas; esta especie mostró una relación inversa con la turbidez y temperatura, es decir, que se registraron menos densidades de *E. thouarsii* (0.13 ind/m²) en sitios donde los parámetros mencionados fueron mayores. En cuanto al último grupo formado (G3), se observa, que el parámetro de turbidez estuvo poco relacionado con las especies, sin embargo, los sitios que mostraron mayores valores de este parámetro fueron las Tres Cruces y El Faro (3.5 NTU) en cada uno, y el que se asoció mayormente a altos valores de temperatura fue La Lorerita (30°C) (Figura 11).

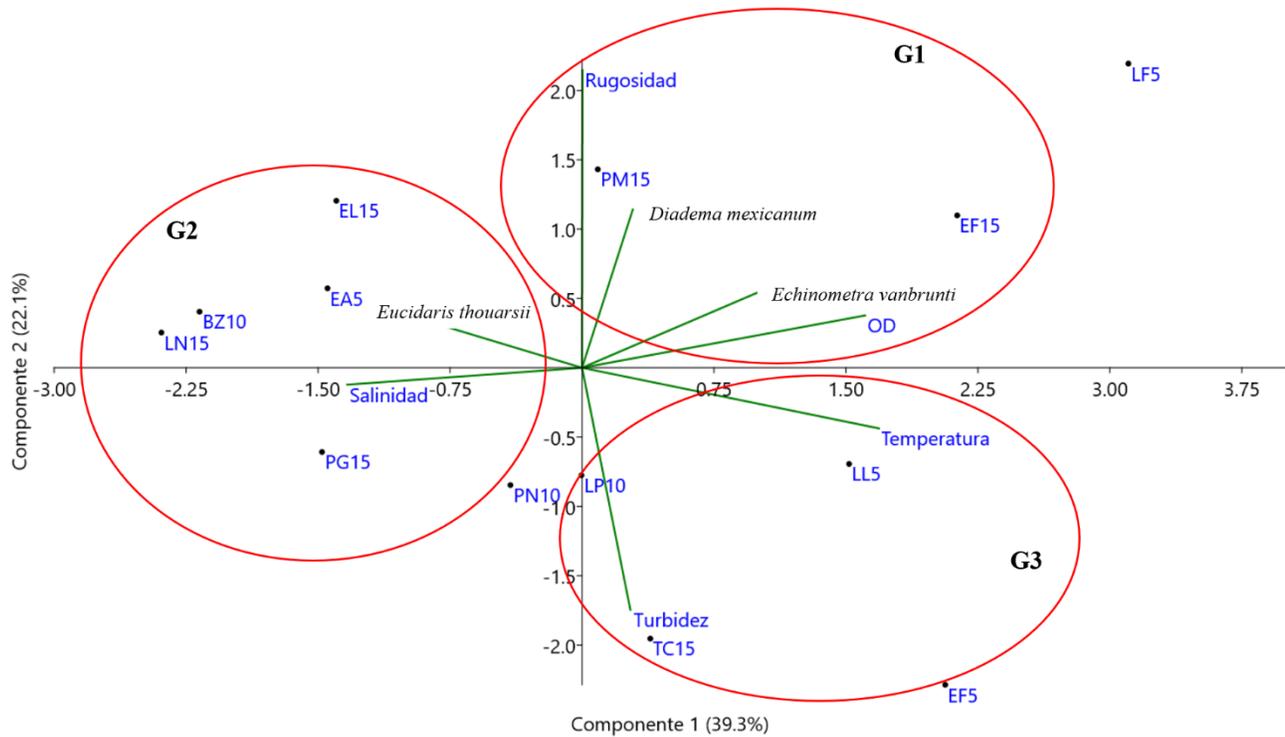


Figura 11. Relación ecológica entre parámetros físico-químicos y la densidad de *Eucidaris thouarsii*, *Diadema mexicanum* y *Echinometra vanbrunti*. G1: Grupo 1, G2: Grupo 2, G3: Grupo 3, OD: Oxígeno Disuelto. Puntos de muestreo: EA5 (El Acuario 0-5 m), EF5 (El Faro 0-5 m), LL5 (La Lorerita 0-5 m), LF5 (Las Flores 0-5 m), PN10 (La Puntita 6-10 m), LP10 (La Pecerita 6-10 m), BZ10 (Bajón de Zúniga 6-10 m), TC15 (Tres Cruces 11-15 m), LN15 (La Naviera 11-15 m), PM15 (Punta de Monte 11-15 m), PG15 (Parguetas 11-15 m), EL15 (El Lucero 11-15 m) y EF15 (El Farito 11-15 m).

7. DISCUSIÓN

7.1. Densidad de especies

7.1.1. *Eucidaris thouarsii*

Esta especie fue la más abundante (310 individuos), con alta densidad (0.20 ± 0.09 ind/m²) y predominante sobre las demás especies en todo el período de estudio, ya que estuvo presente en 10 de los 13 puntos de muestreo. Brandt y Guarderas (2002) presentan hallazgos similares en diferentes regiones de las Islas Galápagos, en donde *E. thouarsii* fue el macroinvertebrado más abundante y denso en todas las zonas de estudio con un promedio de 3.25 ind/m² y una densidad mínima de 1.46 ind/m². Sin embargo, en la presente investigación, se registró una densidad considerablemente más baja a la mínima registrada para las Islas Galápagos, pero similar a la máxima registrada por Alvarado et al. (2012) en el Golfo de Chiriquí, Panamá, para esta especie (0.60 ind/m²) y mayor al promedio registrado en este mismo estudio (0.11 ± 0.02 ind/m²), Herrero-Pérezrrul et al. (2015) muestran los mismos promedios para Isla Socorro, México (0.11 ± 0.02 ind/m²). Sin embargo, las densidades máximas encontradas en el arrecife de La Entrega en México son mayores (1.14 ± 0.26 ind/m²) (Zamorano y Leyte 2005) a las presentadas en esta investigación.

En cuanto a la densidad de *Eucidaris thouarsii* en diferentes profundidades, se afirma que esta especie tiene preferencia por sitios mayores a cuatro metros de profundidad, tal y como lo registra Zamorano y Leyte (2005), en La Entrega, México, en donde *E. thouarsii* mostró mayor preferencia por la zona comprendida entre los 4-8 m (1.14 ± 0.26 ind/m²). Similares hallazgos en proporción, se encontraron en nuestra investigación, donde se observó un aumento de su densidad (0.33 ± 0.17 ind/m²) entre 10-15 m de profundidad, en comparación a las zonas más someras 0.02 ± 0.17 ind/m² (0-5 m) y 0.06 ± 0.17 ind/m² (6-10 m). Este fenómeno puede deberse a desplazamientos de la población hacia zonas más profundas influenciadas por: a) disponibilidad de recursos clave como refugio y alimento o b) para el desarrollo de adultos (Herrero-Pérezrrul et al. 2015); sin embargo, para afirmarlo queda abierto a investigación, para incorporar muestreos más amplios en espacio y tiempo, que

incluyan todas las épocas a lo largo del año, ya que la presente investigación es pionera en el ANP Complejo Los Cóbanos al presentar valores de densidad de esta especie.

7.1.2. *Echinometra vanbrunti*

Fue la segunda especie que registró mayor abundancia (153 individuos) y densidad (0.10 ± 0.09 ind/m²) en toda la investigación, en sintonía con esto, en el arrecife de La Entrega, México (Zamorano y Leyte 2005) se registran densidades máximas de la especie en 0.15 ± 0.03 ind/m², sin embargo, esta densidad representó únicamente un mes de muestreo, posteriormente a estos resultados, los autores señalan que *E. vanbrunti* no recuperó esta densidad y en los meses posteriores no rebasó los 0.02 ± 0.01 ind/m²; además, sugieren que para profundizar en estos resultados es necesario conocer la biología y ecología de esta especie. Ahora bien, Alvarado et al. (2012), registran una densidad promedio de *E. vanbrunti* de 0.25 ± 0.07 ind/m² para el Golfo de Chiriquí en Panamá, similar a la registrada durante la investigación (0.10 ± 0.09 ind/m²).

En El Salvador, diferentes estudios han señalado densidades de esta especie para litorales rocosos (Carballo y Pocasangre 2007) quienes registran bajas densidades en playa El Zope, Los Cóbanos (0.000833 ind/m²). Sin embargo, Segovia et al. (2017), registran densidades similares a las registradas durante la investigación para el arrecife somero rocoso de Los Cóbanos (0.27 ± 0.091 ind/m²) y Punta Amapala (0.91 ± 0.199 ind/m²) con profundidades menores a 3 m.

Con esto, es importante enfatizar que individuos del género *Echinometra* se caracterizan principalmente por poseer dos límites marcados de distribución y densidad de organismos, en donde el límite superior está dictado por la desecación o altas temperaturas, mientras que el límite inferior se relaciona principalmente en la depredación o disponibilidad de microhábitat (McClanahan y Muthiga 2013), esto señala que la variación de densidades a lo largo de las profundidades puede variar. De esta forma, en el presente trabajo se registra una densidad mayormente marcada en los primeros cinco metros de profundidad (0.23 ± 0.12 ind/m²), en comparación a este hallazgo, Zamorano y Leyte (2005), registran la máxima

densidad de *E. vanbrunti* similar en valor a nuestros resultados, pero en zonas más profundas del arrecife estudiado (6-12 m). Esta diferencia en densidades en zonas someras y profundas puede atribuirse a factores más asociados a patrones de distribución local o espacial de los organismos, ya que esta especie se encuentra mayormente distribuida en parches con densidades variables que van desde 0.1-100 ind/m² a lo largo de cortas distancias y secundariamente por la disponibilidad de alimento (McClanahan y Muthiga 2013).

7.1.3. *Diadema mexicanum*

Presentó una abundancia total de 71 individuos y densidad total de 0.05±0.09 ind/m² a lo largo de toda la investigación, estos datos son similares a los mínimos registrados por Alvarado et al. (2012) para el Golfo de Chiriquí, Panamá (0.01 ind/m²) y medianamente al promedio registrado en este mismo estudio (0.77±0.12 ind/m²). Zamorano y Leyte (2005) mostraron resultados similares con esta especie en el Arrecife de La Entrega, en donde se registró para esta una alta dominancia en el sitio de estudio (92.18%), sin embargo, estos hallazgos difieren de los resultados presentados en esta investigación en donde fue la tercera especie en abundancia y densidad, lo cual sienta las bases para profundizar en la investigación y conocer las razones por las que no es dominante como en otros sitios arrecifes de la región.

En este sentido, Herrero-Pérezrrul et al. (2015), presentan densidades promedio de *D. mexicanum* de 2.13±0.59 ind/m² a lo largo de las cuatro épocas del año, siendo la densidad registrada en verano (0.73±0.43 ind/m²) la más similar en número a la registrada durante nuestra investigación. De esta forma, en El Salvador, se ha tenido el registro de densidad de esta especie realizado por Alvarado et al. (2016), en donde se registra para el arrecife somero del ANP Complejo Los Cóbanos una densidad promedio de 0.02±0.01 ind/m², es decir levemente menor a la que se registra en este estudio. Es importante resaltar que este sitio, fue el que registró la densidad más baja en todo el Pacífico Oriental Tropical, sin embargo, podemos afirmar que sigue siendo constante a través del tiempo lo cual podría indicar un reclutamiento sostenido en el tiempo, posiblemente por la disponibilidad de recursos en la zona para el reclutamiento de larvas y juveniles (Palleiro-Nayar et al. 2011).

Diferentes autores señalan que *Diadema mexicanum* es una especie que registra movilidad a lo largo de las zonas someras y profundas por su alta capacidad de movilidad en el sustrato, es decir, que se observa un cambio sincronizado entre las profundidades utilizadas por esta especie (al aumentar la densidad en lo somero disminuye en lo profundo y viceversa) (Zamorano y Leyte 2005, Herrero-Pérezrrul et al. 2015), lo cual podría responder a cambios estacionales, ya que se ha documentado que *D. mexicanum* es más abundante en invierno-primavera (Zamorano y Leyte 2009) posiblemente por ser época reproductiva (Herrero-Pérezrrul et al. 2015); sin embargo en la presente investigación se registraron densidades similares a lo largo entre los 0-5 m y 11-15 m de profundidad, con valores de densidad de 0.07 ± 0.04 ind/m² y 0.06 ± 0.04 ind/m², respectivamente.

7.1.4. *Astropyga pulvinata*

Se registró una abundancia total de 1 individuo para esta especie, es decir, una densidad de 0.0006 ind/m² en los 1,560 m² investigados. En los estudios de Carballo y Pocasangre (2007) en playa El Zope, Los Cóbano y Alvarado et al. (2012) en Golfo de Chiriquí, Panamá, se mostraron densidades bajas similares para esta especie (0.000833 ind/m²) y (0.01 ind/m²), respectivamente, lo anterior coincide con la densidad obtenida en este estudio.

7.2. Estructura de tallas

7.2.1. *Eucidaris thouarsii*

Paredes (2010), señala que, en la Isla San Cristóbal, Archipiélago de Galápagos, Ecuador determinaron los efectos de la densidad en la estructura de comunidades submareales, para ello registraron las variaciones de tamaño de en el diámetro de *Eucidaris thouarsii* y otros erizos. Obteniendo que, para 2209 erizos, la moda máxima de las tallas fue de 6.7 cm en época seca. Así mismo en la investigación realizada por Aguirre et al. (2011) en Perú, donde se registró una nueva especie de esponja adherida a las espinas de *E. thouarsii*, registraron un total de 337 individuos, cuyas tallas de la testa oscilaron entre los 3.2 a 5.6 cm de diámetro de testa. En comparación con los datos de este estudio, se estima la similitud en el número de las tallas, donde el promedio fue de 4.05 ± 2.03 cm y la clase que tuvo mayor abundancia

(197 individuos) fueron las tallas desde los 2.00 cm hasta los 6.99 cm, rango en el cual entran los estudios que se han comparado en esta investigación.

7.2.2. *Echinometra vanbrunti*

Las estimaciones de crecimiento para los adultos de *Echinometra* oscilan entre una constante de 0.19-0.46 mm con longitudes máximas entre 30 y 85 mm (McClanahan y Muthiga 2007). La respiración y la reproducción son dos factores que implican un gasto de energía importante en *Echinometra*, sin embargo, ante la ausencia de alimento, se redujera la reproducción como una adaptación. Muthiga (1996), descubrió que las gónadas suelen conservarse, en relación con otras partes del cuerpo, de modo que no es la reproducción la que sufre cambios ante la falta de alimento, sino que las tallas del cuerpo se ven reducidas (McClanahan y Kurtis 1991).

El trabajo realizado por González (2004), en Ensenada de Muertos, Baja California, México describieron y analizaron la biología poblacional de *Echinometra vanbrunti*, para lo cual determinaron la estructura de tallas, y obtuvieron que entre los años 2001 y 2002, la población de esta especie registró individuos de tallas entre los 4 y 73 mm de diámetro de testa, y la talla promedio fue 35.16 ± 17.45 mm. Así mismo, Tigua-Oquendo (2021), estudió la población de *E. vanbrunti*, de la zona intermareal rocosa en la localidad de Estero de Plátano, provincia de Esmeraldas, Ecuador, para ello determinaron la estructura de tallas de la población de erizos y obtuvieron que, de 244 individuos, los de mayor talla midieron 35.08 mm, mientras que el promedio fue de 25.44 mm.

Los resultados de la presente investigación, en la que, en 111 individuos, registraron un promedio de 4.00 cm, siendo la clase de 4.00 cm a 4.99 cm la que presentó mayor número de individuos (31) por lo que se considera que las tallas de los adultos registrados en otros estudios, coinciden con los muestreados en esta investigación, y que, de igual forma, estaríamos ante una población en su mayoría adulta de *E. vanbrunti* (McClanahan y Muthiga 2013). Esto nos hace pensar que las condiciones de los arrecifes se asemejan a las de los puntos de muestreo en este estudio, y de esta manera se puede explicar la similitud en las

tallas, pero para asegurar lo anterior, se debe profundizar en conocer la dieta y disponibilidad de alimento en el arrecife del ANP Complejo Los Cóbanos.

7.2.3. *Diadema mexicanum*

D. mexicanum es conocida por su alta capacidad bioerosionadora en lugares donde las densidades son grandes (mayores a 150 ind/m²) (Alvarado et al. 2015), sin embargo, en algunos estudios se ha demostrado que las tallas grandes no significa que exista una tasa de bioerosión elevada, como en el estudio de Herrera-Escalante et al. (2005), en el cuál reportaron tallas de 2.90 cm a 4.00 cm que propiciaron una pérdida de carbonatos entre 5 % y 27 %, el impacto de la bioerosión fue mayor en lugares donde la densidad de erizos fue alta y la testa pequeña. Caso contrario en la investigación realizada por Lozano-Cortéz (2011) en la cual, estimaron las tasas de bioerosión de tres especies de erizos (*Centrostephanus coronatus*, *Diadema mexicanum* y *Hesperocidaris asteriscus*) para lo cual midieron el diámetro de las testas, y obtuvieron que *Diadema mexicanum* registró tallas de 45.6±4.92 mm), estas tallas fueron más grandes y por lo tanto la tasa de bioerosión producida por esta especie fue la mayor. Se observó una relación positiva entre la tasa de bioerosión y el tamaño de la testa de los erizos. En cuanto a las tallas, los resultados concuerdan con los estudios descritos anteriormente realizados en la región. Así mismo, Alvarado et al., en 2016 describieron la densidad, tallas y biomasa de *D. mexicanum* en los arrecifes del Pacífico Tropical Oriental para Los Cóbanos, El Salvador, reportaron que en 17 individuos muestreados se obtuvieron tallas que van desde los 3.00 cm hasta los 7.00 cm de diámetro de la testa, mostrando similitud a las tallas de la presente investigación que comprenden entre 2-9.99 cm, y se destaca que las tallas se han mantenido constantes a lo largo del tiempo en nuestra área de estudio. Además, es importante mencionar que la mayoría de individuos registró tallas entre 7-8.99 cm lo cual podría indicar que, en su mayoría, las poblaciones registradas corresponden a adultos de *D. mexicanum* (Alvarado et al. 2015).

7.2.4. *Astropyga pulvinata*

En la presente investigación, se registró un individuo de esta especie con un diámetro de testa de 10 cm, Alvarado (2008) señala que estos diámetros de testa pueden indicar adultos de esta especie.

7.3. Relación entre densidad de Echinoideos y parámetros físico-químicos

7.3.1. *Eucidaris thouarsii*

Las densidades mayores de erizos de esta especie se relacionaron a sitios más salinos, como El Lucero, Bajón de Zúniga, El Acuario, La Naviera y Las Parguetas, que mostraron valores entre 35.01-35.16 PSU y una relación inversa con la temperatura, según los resultados, registró menor densidad en temperaturas de 27°C. En este sentido, Zamorano y Leyte (2005) registran hallazgos similares en cuanto a densidad de esta especie en el arrecife de La Entrega, México en donde la temperatura media superficial del agua fluctúa entre 26°C y 28°C, con salinidades de 35 PSU a lo largo del año.

Es importante mencionar que, según la literatura, los miembros de la familia Cidaridae, como *Eucidaris thouarsii*, tienen preferencia por sitios con mayor sinergia del oleaje y heterogeneidad del sustrato, ya que sus espinas primarias les permiten protegerse para habitar entre grietas y cavidades en las rocas; además, se conoce que son especies con preferencia por aguas más profundas (Lawrence y Jangoux 2013), estas descripciones refuerzan los resultados presentados en esta investigación por la predominancia de esta especie con densidades mayores en zonas más profundas (0.33 ± 0.17 ind/m² entre los 11-15 m de profundidad) en las cuales predominan fuertes corrientes en nuestro país. La especie presentó también preferencia por los sitios con mayor heterogeneidad del sustrato (0.26-0.41).

La dieta de *E. thouarsii* consiste principalmente de corales del género *Pocillopora sp.*, algas calcáreas con coberturas considerables, corales ramificados muertos, placas de cirripedios, así como por herbivoría (Lozano- Cortés et al. 2011), en el presente estudio los sitios donde se registraron las densidades mayores de esta especie se caracterizan por poseer

comunidades de algas calcáreas y algas verdes, lo que podría ser otra de las razones por las que esta especie prefiere estos sitios.

7.3.2. *Echinometra vanbrunti*

Las mayores densidades de *E. vanbrunti* (0.5 ± 0.09 ind/m²) se registraron en puntos de muestreo donde los valores de oxígeno disuelto en el agua fueron mayores (3.92 ppm) en proporción a la escala obtenida durante la investigación, esto puede deberse a que a pesar de que la mayor densidad de individuos se registró en los puntos menos profundos (0-5 m), la remoción constante del agua favoreció la concentración de este parámetro (Water Boards 2022). Segovia et al. (2017), registran altas densidades de *E. vanbrunti* (0.91 ± 0.199 ind/m²) en los arrecifes rocosos de Punta Amapala y 0.27 ± 0.091 ind/m² Los Cóbano que se caracterizaron por presentar intermedia salinidad (31 UPS) y altas temperaturas (29°C-31°C), coincidiendo con lo registrado durante nuestra investigación, ya que las densidades más altas de esta especie mostraron una relación inversa con la salinidad, es decir, que las menores densidades se obtuvieron en sitios donde la salinidad fue mayor (aprox. 35 UPS), como El Acuario, El Lucero o Las Parguetas y prefiere sitios con temperaturas mayores (aprox. 30°C). Con estos resultados podemos afirmar que, en los arrecifes rocosos de El Salvador, esta especie muestra preferencia por salinidades intermedias y aguas con altas temperaturas.

Por otra parte, hemos evidenciado que la rugosidad continúa siendo un factor importante para la densidad de *Echinometra vanbrunti*, tal y como señalan los autores anteriormente citados, en donde sitios con mayor rugosidad del sustrato presentaron mayores densidades de esta especie. Se conoce que sitios menos profundos pueden presentar menores rugosidades y sitios más profundos mayores rugosidades por el tamaño de las rocas, en la presente investigación, se incluyeron tres rangos de profundidad y, a pesar de esta variable, *E. vanbrunti* sigue teniendo mayor densidad de individuos en los primeros metros (0-5 m). Es interesante hacer notar que el género *Echinometra* se caracteriza por presentarse mayormente en líneas costeras y tener mayor afinidad por sitios en donde la sinergia del oleaje es mayor (McClanahan y Muthiga 2013), lo cual se ve favorecido por su resistencia a

altas temperaturas y que podría propiciar su hábitat en zonas en donde por cambio entre mareas los organismos queden expuestos.

7.3.3. *Diadema mexicanum*

Históricamente la densidad de *D. mexicanum* ha sido discutida debido a los fuertes impactos que ha tenido en los arrecifes del Caribe, en donde uno de los parámetros que ha tenido mayor influencia ha sido la temperatura debido al fenómeno de El Niño, ya que bajo estas condiciones particulares las densidades pueden alcanzar hasta 150 ind/m² (Alvarado et al. 2015). Como resultados obtuvimos que las mayores densidades de *D. mexicanum* se registraron en sitios en donde la temperatura fue más baja (27°C) y la disponibilidad de oxígeno disuelto fue mayor (3.6 ppm), coincidiendo con lo reportado por Espino-Barr et al. (1996) en el litoral rocoso de Colima, México en donde los parámetros físico-químicos se comportaron de forma muy similar a nuestros registros a lo largo del año.

Además, se relacionaron directamente con la heterogeneidad del sustrato, mostrando mayor densidad en sitios más rugosos (0.36) como Punta de Monte, esto se puede comprobar con los resultados obtenidos por Sonnenholzer y Lawrence (2002) para esta especie en donde se observó que las altas densidades estuvieron condicionadas por la rugosidad del sustrato y condiciones hidrodinámicas moderadas con agregaciones de 5-50 individuos en el Parque Nacional Machalilla, Ecuador. Así mismo lo registran Dumas et al. (2007) en Nueva Caledonia, Pacífico Sur y López-Pérez y Pérez-Pérez (2016) en Guerrero y Oaxaca, México, en donde los organismos alcanzaron mayor talla y densidad en sitios con mayor cobertura de roca basáltica y menos en sitios cubiertos por cobertura de coral vivo, además esta especie posee preferencia por sitios de rocas grandes en donde se resguarda ante depredadores (Herrero-Pérezrrul et al. 2015).

8. CONCLUSIONES

1. La especie que presentó mayor densidad promedio fue *Eucidaris thouarsii* (0.20 ± 0.09 ind/m²), seguido por *Echinometra vanbrunti* (0.10 ± 0.09 ind/m²), *Diadema mexicanum* (0.05 ± 0.09 ind/m²) y *Astropyga pulvinata* registró una densidad de 0.0006 ind/m² y la mayor densidad de especies por rangos de profundidad entre 0-5 m, *Echinometra vanbrunti* (0.23 ± 0.12 ind/m²), de 6-10 y de 11-15 m fue *Eucidaris thouarsii* (0.06 ± 0.17 ind/m² y 0.33 ± 0.17 ind/m²) respectivamente, *Diadema mexicanum* 0.07 ± 0.04 ind/m² y 0.06 ± 0.04 ind/m² en profundidades de 0-5 m y de 10-15 m, respectivamente.
2. Los promedios de las tallas se conformaron de la siguiente forma: *E. thouarsii* registró un promedio de 4.05 ± 2.03 cm, *E. vanbrunti* 4 ± 2.02 cm y *D. mexicanum* 7.43 ± 2.11 cm.
3. La relación de la densidad de Echinoideos en el Complejo Área Natural Protegida Complejo Los Cóbano con los parámetros físico-químicos, según las agrupaciones del Análisis de Componentes Principales, se conforma así: mayores densidades de *E. vanbrunti* se vio mayormente influenciada por la disponibilidad de oxígeno disuelto y medianamente con la temperatura, sin embargo *D. mexicanum* se asoció más a altas rugosidades del sustrato y una relación inversa con la salinidad, mientras que *E. thouarsii* se relacionó directamente con este parámetro.
4. Se registraron cuatro especies en el Área Natural Protegida Complejo Los Cóbano: *Eucidaris thouarsii* (310 individuos), *Echinometra vanbrunti* (153 individuos), *Diadema mexicanum* (71 individuos) y *Astropyga pulvinata* (1 individuo).

9. RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios con Echinoideos a escalas espaciales que incluyan diferentes tipos de sustratos en donde se desarrollan estos organismos.
2. Realizar estudios a escalas temporales (época seca y lluviosa) que incluyan monitoreos anuales de poblaciones y parámetros físico-químicos, para observar posibles cambios en la dinámica poblacional.
3. Investigar sobre la densidad de Echinoideos regulares y sus dietas mediante el análisis del contenido estomacal de los organismos.
4. Determinar poblaciones de juveniles y adultos de Echinoideos regulares en diferentes arrecifes rocosos de El Salvador, y así mismo, identificar las épocas de sus ciclos reproductivos.
5. Realizar estudios que identifiquen los depredadores principales de Echinoideos regulares en El Salvador mediante observación directa y análisis de contenido estomacal de otros organismos que según la literatura los incluyan en sus dietas.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre LK, Hooker Y, Willenez P, Hadju W. 2011. A new *Clathria* (Demospongiae, Microcinidae) from Peru occurring on rocky substrates as well epibiotic on *Eucidaris thouarsii* sea urchins. *Zootaxa*, 3085, 41-54.

Alvarado JJ y Solís Marín FA. 2013. Echinoderm research and diversity in Latin America. En: J.J Alvarado y F.A. Solís-Marín (Eds.), *Echinoderm Research and Diversity in Latin America* (pp. 1-9). Berlin: Springer.

Alvarado JJ y Chiriboga A. 2008. Distribución y abundancia de equinodermos en las aguas someras de la Isla del Coco, Costa Rica (Pacífico Oriental). *Revista de Biología Tropical*, 56(2), 99-111.

Alvarado JJ y Fernández C. 2005. Equinodermos del Parque Nacional Marino Ballena, Pacífico, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 53, 275-284.

Alvarado JJ, Cortés J, Guzman H, Reyes-Bonilla H. 2016. Density, size, and biomass of *Diadema mexicum* (Echinoidea) in Eastern Tropical Pacific coral reefs. *Aquatic Biology*, 24, 151-161.

Alvarado JJ, Guzman HM, Breedy O. 2012. Distribution and diversity of echinoderms (Asteroidea, Echinoidea, Holothuroidea) in the islands of the Gulf of Chiriquí, Panama. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 47(1), 13-22.

Alvarado JJ, Cortes J, Reyes-Bonilla. 2012. Reconstruction of *Diadema mexicanum* bioerosion impact of three Costa Rican Pacific coral reefs. *Revista de Biología Tropical*, 60(2), 121-132.

Alvarado JJ, Reyes-Bonilla H, Benítez-Villalobos F. 2015. *Diadema mexicanum*, erizo de mar clave en los arrecifes coralinos del Pacífico Tropical Oriental: lo que sabemos y perspectivas futuras (Diadematoidea: Diadematoidea). *Revista de Biología Tropical*, 63(2), 135-157.

Alvarado JJ, Solís-Marín F, Ahearn GC. 2010. Echinoderm (Echinodermata) diversity in the Pacific coast of Central America. *Revista Marine Biodiversity*. DOI 10.1007/s12526-009-0032-5

Alvarado JJ. 2008. Seasonal occurrence and aggregation behavior of the sea urchin *Astropyga pulvinata* (Echinodermata: Echinoidea) in Bahía Culebra, Costa Rica. *BioOne*, 62(4), 579-592.

- Alvarado JJ. 2011. Echinoderm diversity in the Caribbean Sea. *Marine Biodiversity*, 41, 261-285.
- Bak RPM. 1994. Sea urchin bioerosion on coral reefs: place in the carbonate budget and relevant variables. *Coral Reefs*, 13, 99-103.
- Barraza JE y Hasbún CR. 2005. Los equinodermos (Echinodermata) de El Salvador. *Revista de Biología Tropical*, 53(3), 139-146.
- Barraza, JE. 2000. Comentarios sobre la biodiversidad de invertebrados marinos de El Salvador. San Salvador, El Salvador: Publicación Ocasional N°2. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Bauer, J. C. (1980). Observations on geographical variations in population density of the echinoid *Diadema antillarum* within the Western North Atlantic. *Bulletin of Marine Science*, 30, 509-515.
- Beiras R, Fernández N, Bellas J, Besada V, González-Quijano A, Nunes T. 2003. Integrative assessment of marine pollution in Galician estuaries using sediment chemistry, mussel bioaccumulation, and embryolarval toxicity bioassays. *Chemosphere*, 52, 1209–1224.
- Benítez-Villalobos F y Abadia-Chanona QY. 2015. Densidad poblacional, distribución espacial y mortalidad natural del erizo de mar *Toxopneustes roseus* (Camarodonta: Toxopneustidae) en tres sitios de Oaxaca, México. *Revista de Biología Tropical*, 63(2), 121-133.
- Benítez-Villalobos F y Valencia-Méndez O. 2015. Consecuencias de la mortandad masiva del erizo *Diadema mexicanum* (Diadematoidea: Diadematoidea) sobre la comunidad íctica arrecifal en bahía La Entrega, Huatulco, México. *Revista de Biología Tropical*, 63(2), 159-171.
- Benítez-Villalobos F, Gómez MT, López-Pérez RA. 2008. Temporal variation of the sea urchin *Diadema mexicanum* population density at Bahías de Huatulco, Western Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 56, 255-263.
- Brandt, M. & P. Guarderas. 2002. Erizos de mar. En: Reserva Marina de Galápagos. Línea Base de la Biodiversidad. (Danulat, E. & G.J. Edgar eds.). pp 396-418.
- Brusca RC y Brusca GJ. 2005. Invertebrates. Sinauer, Sunderland, Massachusetts. 922 pp.
- Carballo RE y Pocasangre XM. 2007. Composición y Estructura de la Fauna Intermareal de Equinodermos en el Sistema Arrecifal Rocosos Los Cóbano, Departamento de Sonsonate, El Salvador (Tesis de Licenciatura). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

Caso, M. E. (1978). Los Echinoideos del Pacífico de México, Parte Primera: órdenes Cidarioidea y Aulodonta. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Publicación Especial, 1, 1-104

Clark HL. 1917. Hawaiian and other Pacific Echini. Memoirs of the Museum of Comparative Zoology, Harvard College, 46, 85-283.

Clemente, S. & Hernández, J. C. (2007). Identificación de los depredadores capaces de controlar las poblaciones del erizo de lima (*Diadema aff. antillarum*) y su importancia para la gestión, conservación y recuperación de los fondos marinos de Canarias. Tenerife, Canarias: Servicio de publicaciones de la Caja General de Ahorros de Canarias, Tenerife

Dumas P, Kulbicki M, Chifflet S, Fichez R, Ferraris J. 2007. Environmental facts influencing urchin spatial distributions on disturbed coral reefs (New Caledonia, South Pacific). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 344, 88-100.

Ebert TA. 1968. Growth Rates of the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* related to food availability and spine abrasion. Ecology, 49(6), 1075–1091.

Ebert TA. 1975. Growth and mortality of post-larval echinoids. American Zoology, 15, 755–775.

Epherra L, Gil D, Rubilar T, Pérez-Gallo S, Reartes MB, Tolosano JB. 2014. Temporal and spatial differences in the reproductive biology of the sea urchin *Arbacia dufrenoyi*. Marine and Freshwater Research, 66, 329-342.

Epherra L, Martelli A, Morsan EM, Rubilar T. 2017. Parámetros poblacionales del erizo de mar *Arbacia dufrenoyi* (Arbacioida, Arbaciidae) en golfos norpatagónicos invadidos por el alga *Undaria pinnatifida* (Laminariales, Alariaceae). Revista de Biología Tropical, 65(1), 101-112.

Espino-Barr E, Cibrián-Rodríguez R, García-Boa A. 1996. Estructura y densidad de la población del erizo tinta *Diadema mexicanum* en el litoral rocoso del estado de Colima INP. SEMARNAP. Ciencia Pesquera No. 12.

Glynn PW. 1997. Bioerosion and coral reef growth: a dynamic balance. En C. Birkeland (Ed), Life and Death of Coral Reefs (68-95). New York: Chapman y Hall.

González A., Llinás-Solano H., Tilano J. 2008. Aplicación del Análisis de Componentes Principales en el proceso de purificación de un biofármaco. Vaccimonitor vol.29 no.1 Ciudad de la Habana, Cuba.

González S. 2004. Biología poblacional del erizo *Echinometra vanbrunti* (Echinodermata: Echinoidea), en el Sur del Golfo de California, México. [Tesis de maestría] Centro de investigaciones del Noroeste, S.C, México

González Sansón, G., & Pina Amargós, F., & Clero Alonso, L., & Martín Blanco, F. (2010). Abundance, distribution and size structure of *Diadema antillarum* (Echinodermata: Diadematidae) in South Eastern Cuban coral reefs. *Revista de Biología Tropical*, 58(2), 663-676.

Hernández J. 2017. Influencia humana en las fluctuaciones poblacionales de erizos de mar. *Revista de Biología Tropical*, 65(1), 23-34.

Herrero-Pérezrrul MD, Ramírez-Ortíz G, Rosales-Estrada M, Reyes-Bonilla. 2015. Densidad poblacional y distribución espacial de erizos de mar (Echinodermata: Echinoidea) en la Isla Socorro, Archipiélago de Revillagigedo, México. *Revista de Biología Tropical*, 63(2), 221-232.

Herrera-Escalante T, López-Pérez RA, Leyte-Morales GE. 2005. Bioerosion caused by the sea urchin *Diadema mexicanum* (Echinodermata: Echinoidea) at Bahías de Huatulco, Western Mexico. *Revista Biología Tropical*, 53, 263-273.

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de El Salvador (ICMARES). 2006. Línea base de las condiciones biofísicas y socioeconómicas del Sistema Arrecifal de Los Cóbano. Universidad de El Salvador, San Salvador. 150 pp.

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de El Salvador (ICMARES). 2008. Propuesta de "Plan de manejo para el Área Natural Protegida Arrecife Los Cóbano". Universidad de El Salvador, San Salvador. 201 p.

Krebs CJ. 1999. *Ecological Methodology*. Addison Wesley Longman, Inc. USA. 620 pp.

Kurihara H, Yin R, Nishihara GN, Soyano K, Ishimatsu A. 2013. Effect of ocean acidification on growth, gonad development and physiology of the sea urchin *Hemicentrotus pulcherrimus*. *Aquatic Biology*, 18, 281-292.

Lawrence JM y Jangoux M. 2013. Chapter 16 Cidaroids. En *Sea Urchins Biology and Ecology*. Elsevier.

Labbé-Bellas R, Cordeiro CAMM, Floeter, SR, Segal B. 2016. Sea urchin abundance and habitat relationships in different Brazilian reef types. *Regional Studies in Marine Science*.

Lessios HA, Robertson DR, Cubit JD. 1984. Spread of *Diadema* mass mortality through the Caribbean. *Science*, 226, 335-337.

Lessios HA. 2016. The Great *Diadema antillarum* Die-Off: 30 years Later. *Annual Review of Marine Science*, 8, 1-17.

Ling SD, Scheibling RE, Rassweiler A, Johnson CR, Shears N, Connell SD, Salomon AK, Norderhaug KM, Pérez-Matus A, Hernández JC, Clemente S, Blamey LK, Hereu B, Ballesteros E, Sala E, Garrabou J, Cebrian E, Zabala M, Fujita D, Johnson E. 2015. Global regime shift dynamics of catastrophic sea urchin overgrazing. *Philosophical transactions Royal Society*, 370, 20130269.

López-Martínez RE. 2017. Distribución y abundancia de la fauna intermareal de equinodermos en el Área Natural Protegida Complejo Los Cóbano, Sonsonate, El Salvador (Tesis de Licenciatura). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

López-Pérez A y Pérez-Pérez D. 2016. Impacto bioerosivo de *Diadema mexicanum* en arrecifes de coral del Pacífico sur mexicano. *Ciencias Marinas*, 42(1), 67–79.

Lozano-Cortés DF, Londoño-Cruz E, Zapata FA. 2011. Bioerosión de sustrato rocoso por erizos en Bahía Málaga (Colombia), Pacífico Tropical. *Revista de Ciencias*, 15, 9-22.

Luckhurst BE y Luckhurst K. 1978. Analysis of the influence of substrate variables on coral reef fish communities. *Marine Biology*, 49, 317-323.

MARN 2016. Plan de manejo del Área Natural Protegida: Complejo Los Cóbano: Santa Agueda o El Zope, bosque salado y porción marina. 17 p.

McClanahan TR y Muthiga NA. 2013. Chapter 15 Ecology of *Echinometra*. John M. Lawrence. Elsevier, Volumen 3, 294 p.

McClanahan TR y Kurtis JD. 1991. Population regulation of the rock-boring sea urchin *Echinometra mathaei* (de Blainville). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 147, 121–146.

Muthiga NA. 1996. The role of early life history strategies on the population dynamics of the sea urchin *Echinometra Mathaei* (de Blainville) on reefs in Kenya. PhD Thesis, University of Nairobi.

Ortega L., Tuya F., Haroum J.R. 2009. El erizo de mar *Diadema antillanum* Philipo, 1845 influye sobre la diversidad y composición de la comunidad de mega-invertebrados vágiles en

fondos rocosos del Archipiélago Canario. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 44(2): 489-495.

Paredes RA. 2010. Erizos de mar: Dinámica poblacional y reclutamiento de larvas en la isla San Cristóbal en el Archipiélago de Galápagos-Ecuador. Universidad de San Francisco de Quito. Tesis de Licenciatura. 48 pp.

Palleiro-Nayar J, Sosa-Nishizaki O. y Montano-Moctezuma, G. 2011. Impact of substrate and the presence of adults on recruitment of the red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* in Baja California. *Ciencias Marinas*, 37, 59-70.

Pancucci P, Panayotidis P, Zenetos A. 1993. Morphological changes in sea urchin populations as a response to environmental stress. En: Aldrich JC, Ed. *Quantified phenotypic responses in morphology and physiology*. Ashford: JAPAGA. 247-257.

Pearse J y Arch SW. 1969. The aggregation behavior of *Diadema* (Echinodermata, Echinoidea). *Micronesia*, 5, 165–171.

Ramos F. y Segovia J. 2021. Los equinodermos de El Salvador depositados en colecciones científicas. *Revista de Biología Tropical*, 69(S1), 254-264.

Ruppert EE y Barnes RD. 1996. *Zoología de los invertebrados*. 6ta edición. McGraw-Hill Interamericana, México. 1114 pp.

Sammarco PW, Levington JS, Ogden JC. 1974. Grazing and control of coral reef community structure by *Diadema antillarum Phillipi* (Echinodermata: Echinoidea): A preliminary study. *Journal of Marine Research*, 32, 47-53.

Santos R y Flammang P. 2008. Estimation of the attachment strength of the shingle sea urchin, *Colobocentrotus atratus*, and comparison with three sympatric echinoids. *Marine Biology*, 154, 37-49.

Segovia J, Guerra G, Ramos F. 2017. Riqueza y distribución de equinodermos en los arrecifes rocosos de Punta Amapala y Los Cóbano, El Salvador. *Revista de Biología Tropical*, 65(1), 92-100.

Segovia J. 2017. Impactos de El Niño 2014-2016 en las comunidades bénticas de los arrecifes de borde, Los Cóbano, El Salvador, Centroamérica. 17º congreso latino-americano de ciências do mar – COLACMAR 2017.

Solís-Marín F y Laguarda-Figueras A. 2010. A new species of starfish (Echinodermata: Asteroidea) from an anchialine cave in the Mexican Caribbean. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81, 663-668.

Solís-Marín F, Laguarda-Figueras A, Honey-Escandón M. 2014. Biodiversidad de equinodermos (Echinodermata) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 441-449.

Sonnenholzner JI y Lawrence J. 2002. A brief survey of the echinoderms communities of the central and southern marine-coastal wetlands of the continental coast off Ecuador. *Boletín ecotrópica; Ecosistemas tropicales*, 36, 27-35.

Tigua-Oquendo H. 2021. Caracterización de la población del erizo negro en la zona intermareal rocosa de Estero de Plátano. [Tesis de grado]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

USAC. 2011. Manual de Estadística Descriptiva. Facultad de Ingeniería. Guatemala. 6p.

Water Boards. 2022. Folleto Informativo Oxígeno Disuelto (OD). Disponible en: https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/

Zamorano P y Leyte-Morales GE. 2005. Densidad poblacional de cuatro especies de erizo (Echinodermata: Echinoidea) en el arrecife de La Entrega, Oaxaca. *CICIMAR Oceánides*, 20(1,2), 65-72.

Zamorano P y Leyte-Morales GE. 2009. Equinodermos asociados a formaciones arrecifales en Zihuatanejo Acapulco, Guerrero, México. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 38, 7-28.

Zhang ZQ. 2013. Animal biodiversity: An update of classification and diversity in 2013. En: Z.Q. Zhang (Eds.), *Animal Biodiversity: An Outline of Higher-level Classification and Survey of Taxonomic Richness (Addenda 2013)*. *Revista Zootaxa*, 3703, 5-11.

