



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

EXTENSIÓN PEDERNALES

Carrera de Biología

TRABAJO DE TESIS

TITULO:

Arrecifes de surrones como habitat para las especies de erizos de mar *Diadema mexicanun* y *Eucidaris thouarsii* (Echinodermata) en Cojimíes Pedernales (2026)

AUTOR (A)

Villafuerte Zamora Melanie Stefania

TUTOR (A)

Ing. Macias Chila Ramon Paul

PEDERNALES – ECUADOR

2025

CERTIFICACIÓN

En la calidad de docente tutor de la Extensión Pedernales de la Universidad Laica " Eloy Alfaro de Manabi" CERTIFICO:

Haber dirigido y revisado el trabajo de investigación, bajo la autoría de la estudiante Villafuerte Zamora Melanie Stefania, bajo la opción de titulación del trabajo de investigación, con el tema **“ARRECIFES DE SURRONES COMO HABITAT PARA LAS ESPECIES DE ERIZOS DE MAR *Diadema mexicanun* y *Eucidaris thouarsii* (Echinodermata) EN COJIMÍES PEDERNALES (2026)”**

La presente investigación ha sido desarrollada en el apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometidos a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Pedernales, 23 de febrero de 2026

Lo certifico.



Ing. Macías Chila Raúl.

TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN.

CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

El tribunal evaluador

Certifica:

Que el trabajo de fin de carrera modalidad Proyecto de Investigación titulado:

"ARRECIFES DE SURRONES COMO HABITAT PARA LAS ESPECIES DE ERIZOS DE MAR *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii* (Echinodermata) EN COJIMÍES PEDERNALES (2026)"

Realizado y concluido por la Srta. Melanie Stefania Villafuerte Zamora ha sido revisado y evaluado por los miembros del tribunal.

El trabajo de fin de carrera antes mencionado cumple con los requisitos académicos, científicos y formales suficientes para ser aprobado.

Pedernales, 24 de febrero del 2026.

Para dar testimonio y autenticidad firman:



Ing. Derli Alava Rosado, PhD.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Luis Madrid Jiménez, PhD
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

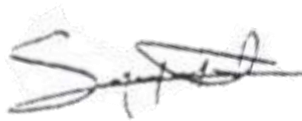


Blgo. Daniel Reyes Corral
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORIA

Por medio del presente, yo Villafuerte Zamora Melanie Stefania, con cedula de ciudadanía N° 1350043947, en calidad de estudiante, certifico que he sido el autor principal y responsable del proyecto de investigación titulado “Arrecifes de Surroneles como hábitat para las especies de erizos de mar *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii* (Echinodermata) en Cojimies, Pedernales (2026)”, respetando los derechos intelectuales de terceros considerados en las citas bibliográficas.

Este proyecto de investigación fue desarrollado bajo mi autoría, y he sido responsable de la concepción, diseño, ejecución y análisis de los resultados obtenidos. Asimismo, confirmo que he llevado a cabo este proyecto de acuerdo con los principios éticos y las normas académicas establecidas



Villafuerte Zamora Melanie Stefania

AUTORA RESPONSABLE

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profunda gratitud a mi familia por su apoyo y amor incondicional. Especialmente a mis padres, que fueron mi apoyo y mi guía constante, gracias a su sacrificio pude llegar aquí. No puedo dejar de recordar, con el corazón lleno de emociones, a dos seres queridos que físicamente ya no están conmigo, pero cuya presencia sigue en cada paso que doy. A mi mamita, cuya dulce voz y sus palabras llenas de sabiduría fueron el fuego que encendió en mí la determinación de seguir estudiando; aunque el tiempo nos separó, su legado es uno de mis impulsos más profundos, un eco eterno que me impulsó a nunca rendirme. Y a mi tío Pedrito, que, con su entusiasmo contagioso y su espíritu inquebrantable, me dio el coraje de ir a una ciudad desconocida en busca de uno de mis sueños; sin él, este viaje sería imposible, sus memorias me llenan de gratitud que causa dolor y alegría al mismo tiempo.

Dedico con todo el corazón el esfuerzo invertido en esta tesis a mi hermana menor, mi pequeña guerrera, que me enseñó el verdadero significado de la resiliencia. A pesar de las tormentas que azotaron su cuerpo, debilitándola, se levantó una y otra vez con una fuerza que me inspira todos los días, superando el cáncer con un coraje que ilumina mi camino. Elizabeth, has sido mi mejor lección de perseverancia y esperanza.

También quiero expresar mi sincero agradecimiento a las maravillosas personas que conocí aquí en Pedernales, cuya amistad y hospitalidad me envolvieron como un cálido abrazo en los días solitarios. Me hicieron sentir como en casa, convirtiendo lo extraño en familiar y lo difícil en tolerable.

Finalmente, agradezco a mi tutor, por su guía, apoyo y valiosos conocimientos, sin los cuales la realización de este trabajo de investigación no habría sido posible.

RESUMEN

Los arrecifes marginales rocosos del Pacífico tropical oriental (PTO) son ecosistemas altamente dinámicos y vulnerables, cuya estructura física influye directamente en la biodiversidad asociada y los procesos ecológicos que ocurren en ellos. Se evaluó la influencia de la estructura arrecifal en la abundancia, distribución espacial y potencial de bioerosión de los erizos *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii* en el sistema arrecifal rocoso de Surrone, ubicado frente a la costa de Pedernales, provincia de Manabí, Ecuador. Estos arrecifes marginales se ubican en un entorno de transición oceanográfica, influenciados por corrientes como las de Panamá y Humboldt, y son particularmente vulnerables a amenazas antropogénicas como las redes fantasmas y la contaminación. Mediante un enfoque cuantitativo, no experimental, transversal y relacional, se evaluó la estructura bentónica, la abundancia y la distribución de estas especies mediante transectos y cuadrantes de muestreo submarino. Los resultados indican una clara dominancia de *D. mexicanum*, especialmente en sustratos rocosos, con patrones de agregación espacial descriptivos, pero sin diferencias estadísticamente significativas atribuibles al limitado tamaño de la muestra. *E. thouarsii* solo presenta una presencia marginal. La discusión destaca el papel de estos erizos como ingenieros ecológicos, regulando las macroalgas y contribuyendo a la bioerosión, y sugiere implicaciones para la conservación. En general, este trabajo constituye una valiosa contribución al conocimiento de la biología marina local, aunque podría fortalecerse con un mayor número de réplicas y mediciones directas de bioerosión.

Palabras clave: *Arrecifes marginales, Diadema mexicanum, Eucidaris thouarsii, Estructura arrecifal, bioerosión*

SUMMARY

The rocky marginal reefs of the Eastern Tropical Pacific (PTO) are highly dynamic and vulnerable ecosystems, whose physical structure directly influences the associated biodiversity and the ecological processes that occur in them. The influence of the reef structure on the abundance, spatial distribution and bioerosion potential of the *Diadema mexicanum* and *Eucidaris thouarsii* urchins in the Surrone rocky reef system, located off the coast of Pedernales, Manabi province, Ecuador, was evaluated. These marginal reefs are located in an oceanographic transition environment, influenced by currents such as those of Panama and Humboldt, and are particularly vulnerable to anthropogenic threats such as ghost nets and pollution. Using a quantitative, non-experimental, cross-sectional and relational approach, the benthic structure, abundance and distribution of these species were evaluated using transects and underwater sampling quadrants. The results indicate a clear dominance of *D. mexicanum*, especially in rocky substrates, with descriptive spatial aggregation patterns, but without statistically significant differences attributable to the limited sample size. *E. thouarsii* has only a marginal presence. The discussion highlights the role of these hedgehogs as ecological engineers, regulating macroalgae and contributing to bioerosion, and suggests implications for conservation. In general, this work constitutes a valuable contribution to the knowledge of local marine biology, although it could be strengthened with a greater number of aftershocks and direct bioerosion measurements.

Keywords: Marginal reefs, *Diadema mexicanum*, *Eucidaris thouarsii*, Reef structure, bioerosión

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	7
SUMMARY	8
INDICE DE CONTENIDO	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
ÍNDICE DE TABLAS	11
ÍNDICE DE ANEXOS.....	12
CAPÍTULO I	13
1. CONTEXTUALIZACION DE LA INVETIGACIÓN	13
1.1. INTRODUCCIÓN	13
1.2. PLANTEAMINETO DEL PROBLEMA	14
1.3 IDENTIFICACION DE VARIABLES	16
1.4 OBJETIVOS	17
1.5 JUSTIFICACIÓN	18
1.6 MARCO TEORICO.....	18
CAPÍTULO II	29
2. DESARROLLO METODOLÓGICO (MATERIALES Y MÉTODOS).....	29
2.1 Enfoque de la Investigación.....	29
2.2 Diseño de la Investigación	29

2.3 Tipo de investigación	30
2.4 Métodos de investigación	30
2.5 MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
2.6 Variables de estudio	35
2.7 Manejo del ensayo	35
CAPÍTULO III.....	37
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
3.2 Discusión general.....	62
3.3 RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	65
4. CONCLUSIÓN.....	67
5. RECOMENDACIONES.....	69
6. BIBLIOGRAFÍA	71
7. ANEXOS	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Diadema mexicanum</i> (Agassiz, 1863): Morfología.....	23
Figura 2. <i>Eucidaris thouarsii</i>	25
Figura 3. Localización de la investigación.....	32
Figura 4. Presencia de <i>D. mexicanum</i> y <i>E. thouarsii</i>	38
Figura 5. Abundancia por sustrato	41

Figura 6.	Resultados de medias <i>Diadema mexicanum</i> y <i>Centrostephanus coronatus</i> ...	43
Figura 7.	Resultados de medias de abundancia según el tipo de sustrato	44
Figura 8.	Grafica de puntos de abundancia	47
Figura 9.	Conteo de abundancias de especies	48
Figura 10.	Gráfica de puntos de cuadrante.....	49
Figura 11.	Gráfico de comparación de abundancia entre sustratos	50
Figura 12.	Gráfico de comparación de abundancia entre sustratos.....	51
Figura 13.	Gráfica de probabilidad de abundancia	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Descripción taxonómica de <i>Diadema mexicanum</i>	22
Tabla 2.	Descripción taxonómica <i>Eucidaris thouarsii</i>	25
Tabla 3.	Materiales utilizados en el ensayo	31
Tabla 4.	Resultados de índice de abundancia en sustrato coral	37
Tabla 5.	Resultados de índice de abundancia en sustrato rocoso	38
Tabla 6.	Tabla de contingencia en (Abundancia total por sustrato) (para dominancia)	39
Tabla 7.	Prueba de Kruskal-Wallis: Abundancia vs. Especie	41
Tabla 8.	Prueba de Kruskal-Wallis: Abundancia vs. Sustrato	43
Tabla 9.	Prueba de Kruskal-Wallis: Abundancia vs. Cuadrante	44

Tabla 10.	Estadísticos descriptivos: Abundancia Resultados de Sustrato = Coral.....	46
Tabla 11.	Resultados de Sustrato = Rocoso.....	46
Tabla 12.	Cuenta de variables discretas: Especie.....	46
Tabla 13.	Prueba de Kruskal-Wallis: Abundancia vs. Especie.....	53
Tabla 14.	Prueba de Kruskal-Wallis: Abundancia vs. Sustrato	53
Tabla 15.	Prueba de Kruskal-Wallis: Abundancia vs. Cuadrante.....	54
Tabla 16.	Prueba.....	55
Tabla 17.	Prueba de Kruskal-Wallis: Abundancia vs. Sustrato	58
Tabla 18.	Prueba de Kruskal-Wallis: Abundancia vs. Cuadrante.....	59
Tabla 19.	Prueba.....	60

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1.	Población de <i>Diadema_mexicanum</i> y <i>Eucidaris_thouarsii</i>	78
Anexos 2.	Toma de datos en campo.....	80
Anexos 3.	Especies encontradas en zona de muestreo.....	81

CAPÍTULO I

1. CONTEXTUALIZACION DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

La zona costera de la provincia de Manabí, en el Ecuador continental, representa un entorno biogeográfico de excepcional complejidad y relevancia para la biología marina del Pacífico Oriental Tropical (PTO). Surrone se ubica en una zona crítica de transición oceanográfica frente a la costa del cantón de Pedernales. Esta ubicación no es meramente incidental; biogeográficamente, se encuentra en la confluencia de masas de agua moduladas por la corriente cálida de Panamá, que predomina estacionalmente, y la influencia norte de la Corriente fría de Humboldt, lo que genera un ecotono dinámico que define la estructura de las comunidades bentónicas. (Cabanillas-Terán et al., 2016).

Surrone contribuye con parches de arrecifes marginales de coral rocoso. A diferencia de las enormes estructuras arrecifales del Indo-Pacífico o el Caribe, estos ecosistemas marginales del Océano Pacífico Sur (SPO) se caracterizan por un crecimiento discontinuo, donde las comunidades coralinas (principalmente de los géneros *Pocillopora* y *Pavona*) colonizan sustratos rocosos preexistentes, creando un mosaico de hábitats altamente accidentados (Mera-Burgos, 2024). Esta configuración estructural es el principal determinante abiótico para el asentamiento y la supervivencia de la macrofauna de invertebrados, específicamente los equinoideos objetivo de esta investigación: *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii*.

Las especies *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii* emergen no solo como componentes destacados de la biodiversidad, sino también como ingenieros ecológicos fundamentales. Su

función trasciende la simple herbivoría; actúan como reguladores primarios de la estructura comunitaria, controlando la competencia entre macroalgas y corales escleractíneos, y modificando la geomorfología de los arrecifes mediante la bioerosión (Alvarado-Barrientos et al., 2015).

La importancia de validar y ampliar el estudio de Surrones radica en su vulnerabilidad. Según investigaciones previas de Cobeña-López (2024); y Mera-Burgos (2024) han documentado que estos parches arrecifales actúan como sumideros para las artes de pesca abandonadas, conocidas como "redes fantasmas". La interacción mecánica de estas redes con el bentos provoca la fracturación de las colonias de coral y la abrasión del sustrato, alterando la complejidad tridimensional esencial para la criptofauna.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los arrecifes de coral rocosos del Pacífico Oriental Tropical (POT) son ecosistemas marginales que se desarrollan en condiciones fluctuantes de temperatura y nutrientes, lo que los hace particularmente vulnerables a perturbaciones locales y globales (Figuroa-Pico et al., 2021). En este ecosistema, las especies *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii* desempeñan un papel fundamental como ingenieros ecológicos. Su función es doble y crucial: controlan la propagación de macroalgas que compiten con los corales (Rojas-Montiel et al., 2015). Sin embargo, según Trasviña (2018) en altas densidades poblacionales, pueden convertirse en factores activos de bioerosión y dañar la estructura arrecifal. Se desconoce la dinámica poblacional de estas especies en Surrones, y están expuestas a nuevas amenazas que podrían alterar este delicado equilibrio.

La degradación acelerada de los arrecifes marginales representa una amenaza significativa para la biodiversidad marina local, especialmente para las poblaciones de *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii* (Wicquart et al., 2020). Estos erizos de mar dependen de la complejidad estructural de los arrecifes coralinos para refugiarse, alimentarse y reproducirse, por lo que cualquier alteración en el hábitat afecta directamente su abundancia y distribución (Burn et al., 2025). Estudios recientes han documentado que la pérdida de cobertura coralina y la simplificación del hábitat incrementan la vulnerabilidad de los erizos frente a depredadores y disminuyen la disponibilidad de recursos alimenticios, lo que puede desencadenar cambios en la dinámica trófica y en la resiliencia de los arrecifes (Najeeb, 2025); (Glynn et al., 2020).

Además, las influencias antropogénicas, manifestadas en prácticas pesqueras destructivas, contaminación y turismo descontrolado, han exacerbado la fragmentación y degradación de los arrecifes de coral en la región, intensificando el problema ambiental (Hoegh-Guldberg et al., 2017). A pesar de la importancia ecológica de *D. mexicanum* y *E. thouarsii*, existe una evidente falta de estudios recientes que investiguen la relación entre la estructura de los arrecifes de coral y la ecología de estas especies en Manabí. Esto dificulta la toma de decisiones informadas sobre la gestión y protección de estos ecosistemas (Cabanillas-Terán et al., 2016).

La falta de monitoreo sistemático y de datos actualizados sobre la salud de los arrecifes coralinos y las poblaciones de erizos limita la capacidad de respuesta ante eventos de degradación, como el blanqueamiento coralino o la proliferación de macroalgas, fenómenos que han sido reportados en otras regiones del Pacífico y que podrían replicarse en Surrone (NOAA, 2024). Por otro lado, las interacciones entre estas dos especies de erizos de mar, su distribución ecológica y

su respuesta a los cambios ambientales locales en el contexto ecuatoriano permanecen en gran parte inexploradas, a pesar de su importancia para comprender la dinámica de los ecosistemas (Marcillo, 2022).

Por lo tanto, existe una necesidad urgente de conocimiento científico local sobre la relación entre la estructura de los arrecifes de coral y la ecología de *D. mexicanum* y *E. thouarsii*. Este conocimiento sentará las bases para la protección y el manejo sostenible de los arrecifes rocosos de Surrone-Manabí.

1.3 IDENTIFICACION DE VARIABLES

1.3.1 Variable independiente

- Estructura del arrecife coralino
- Temperatura del agua
- Corrientes marinas

1.3.2 Variable Dependiente

- Abundancia de *D. mexicanum* y *E. thouarsii*
- Distribución espacial
- Índice de bioerosión potencial

1.3.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

- a. ¿Cómo varía la abundancia y distribución espacial de *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii* en relación con la complejidad estructural de los arrecifes coralinos en la zona de

Surrones-Manabí, considerando factores como la cobertura coralina y la rugosidad del sustrato?

- b. ¿Cuál es la relación entre el tipo de sustrato, considerado como indicador de la condición del arrecife, y la abundancia de *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii* en los arrecifes coralinos estudiados?
- c. ¿Cómo influye la estructura de los arrecifes coralinos en el índice de bioerosión potencial atribuido a *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii*?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Evaluar cómo la estructura de los arrecifes coralinos influye en la distribución, abundancia y comportamiento de *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii* en los arrecifes rocosos de la zona de Surrones-Manabí.

1.4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la estructura de los arrecifes coralinos en relación con la presencia de *D. mexicanum* y *E. thouarsii*.
- Evaluar la abundancia y distribución espacial de *D. mexicanum* y *E. thouarsii* en los arrecifes coralinos estudiados.

- Analizar la relación entre el tipo de sustrato como indicador de la condición del arrecife y la abundancia de *D. mexicanum* y *E. thouarsii* en los arrecifes coralinos estudiados.

1.5 JUSTIFICACIÓN

El presente estudio busca aportar información científica sobre la ecología de dos especies de erizos marinos clave (*Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii*) y su relación con los arrecifes marginales de Surrone. Esta investigación busca contribuir llenando vacíos de información regional, permitiendo identificar posibles indicadores de salud del arrecife y así sustentar acciones de manejo sostenible. Estudios similares han demostrado la importancia de estos erizos en el mantenimiento del equilibrio ecológico en arrecifes del Pacífico (Rivas., Gómez., Millán., Mejía-Quintero., & Chasqui, 2023).

1.6 MARCO TEORICO

Los arrecifes marginales rocosos de la costa continental ecuatoriana, como lo es Surrone en Pedernales, son ecosistemas marginales que, a diferencia de las grandes barreras arrecifales, se desarrollan bajo condiciones fluctuantes de temperatura y turbidez. De acuerdo con investigaciones de Mera-Burgos (2024) en Surrone, la estructura del fondo marino está dominada por el coral hermatípico *Pavona clavus*, que forma colonias masivas y, por lo tanto, proporciona una superficie rugosa necesaria para el asentamiento de equinodermos.

Para Graham *et al* (2020) los arrecifes marginales son formaciones arrecifales aisladas o semiaisladas que desempeñan un papel vital en los ecosistemas marinos tropicales. Estos hábitats

sirven como refugios, fuentes de alimento y zonas de desove para numerosas especies de peces e invertebrados, favoreciendo la biodiversidad y la conectividad ecológica. Su estructura tridimensional, determinada por la cobertura coralina, la rugosidad del sustrato y su complejidad, influye directamente en la distribución y abundancia de organismos bentónicos y nectónicos (Morales-Ramírez et al., 2022). En regiones del Pacífico Oriental Tropical, los arrecifes coralinos han demostrado ser especialmente importantes para especies bioerosionadoras como *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii*. López-Alcivar et al (2022) resalta que, a pesar de su importancia, los arrecifes de las costas del Ecuador continental, especialmente los de la provincia de Manabí, han sido históricamente poco explorados en comparación con los bien documentados laboratorios naturales de las Islas Galápagos.

El sistema arrecifal de Surrone se inserta en el panorama de la biodiversidad marina del Ecuador como un enclave de refugio y productividad. Aunque Mera-Burgos (2024) lo describe como un arrecife de "baja riqueza" en especies de corales duros, su importancia funcional es desproporcionadamente alta en comparación con la diversidad alfa de corales escleractíneos. La estructura del ecosistema está determinada por la interacción entre el sustrato geológico inerte y la cubierta biogénica viva, lo que crea un hábitat heterogéneo con múltiples niveles tróficos.

1.6.1 Estructura Bentónica

Cobeña-López (2024); y Mera-Burgos (2024) nos dicen que la base estructural del ecosistema de Surrone consiste en formaciones rocosas basales que se extienden hasta profundidades de unos 20 metros. Si bien la comunidad coralina en esta base no está interconectada, predomina en términos de cobertura.

Para Silva (2016) las colonias masivas de *Pavona clavus* pueden alcanzar tamaños considerables y formar estructuras robustas, columnares o estratificadas, aumentando exponencialmente la superficie disponible y la rugosidad del sustrato. Según Alvarado-Barrientos (2012) esta complejidad topográfica es el principal factor limitante para los macroinvertebrados móviles como *D. mexicanum* y *E. thouarsii*, ya que les proporciona las cavidades y grietas necesarias para protegerlos durante el día, cuando son más vulnerables a la depredación visual.

De igual manera para Ochoa-Serena et al. (2025) *Porites lobata* con sus formas de crecimiento masivas y lobuladas, contribuye a la diversidad estructural. Si bien su cobertura relativa es menor, su presencia aumenta la heterogeneidad del paisaje bentónico y ofrece microhábitats diferenciados que pueden ser utilizados por diversas etapas ontogenéticas de los equinodermos.

El predominio de estas dos especies refleja la naturaleza selectiva del ecosistema de Surrones. Ambas son conocidas por su tolerancia al estrés, lo que sugiere que el arrecife se ha visto influenciado por filtros ambientales históricos que excluyeron especies más sensibles, como los corales ramificados del género *Pocillopora*. Si bien estos corales se encuentran en la región, podrían ser menos comunes en zonas de alta turbidez o bajo ciertas condiciones hidrodinámicas.

1.6.2 Generalidades y características de las especies clave

Para comprender el impacto de *D. mexicanum* y *E. thouarsii* en su entorno, es importante analizar sus características biológicas fundamentales. Si bien ambos pertenecen a la familia de los

erizos de mar, representan linajes evolutivos diferentes con adaptaciones morfológicas y funcionales divergentes que les permiten ocupar nichos ecológicos complementarios en el arrecife.

1.6.3 Diadema mexicanum (Agassiz, 1863): Morfología

Diadema mexicanum, comúnmente conocido como erizo de mar de espinas largas o erizo corona del Pacífico, es un equinodermo perteneciente a la clase Echinoidea, orden Diadematoida y familia Diadematidae (Alvarado-Barrientos et al., 2015). Morfológicamente, se caracteriza por una concha ligeramente aplanada de color negro intenso, a menudo adornada con líneas azules iridiscentes en las regiones interambulacrales y alrededor del periprocto, un rasgo característico del género. López-Pérez *et al* (2016) Menciona que sus espinas primarias son extremadamente largas, huecas y frágiles, recubiertas de una epidermis que contiene toxinas irritantes, lo que les proporciona un eficaz mecanismo de defensa contra la mayoría de los depredadores, estas espinas pueden superar los 10-15 cm de longitud, formando así un gran radio protector alrededor del animal.

Según Herrera-Escalante *et al.*, (2006) el comportamiento de esta especie es diurno y fotofóbico. Durante el día, se reúne en grietas y bajo los corales, utilizando sus espinas para anclarse y crear estructuras protectoras. Por la noche, sale a alimentarse en el arrecife, a veces alejándose lo suficiente como para encontrar partículas de algas.

1.6.4 Taxonomía *Diadema mexicanum* (Agassiz, 1863)

Taxonómicamente, *D. mexicanum* se consideró durante mucho tiempo una variante o subespecie de *Diadema antillarum* (del Caribe) o *Diadema savignyi* (del Indo-Pacífico) (Lessios et al., 2001). Sin embargo, Rodríguez *et al* (2013) manifiesta que análisis filogenéticos moleculares y estudios de barreras biogeográficas han confirmado su estatus como especie endémica del Pacífico tropical oriental. Su divergencia está vinculada al cierre del Istmo de Panamá, que aisló a las poblaciones del Pacífico de las del Atlántico hace aproximadamente 3,5 millones de años.

Tabla 1. Descripción taxonómica de *Diadema mexicanum*

Reino:	<i>Animalia</i>
Filo:	<i>Echinodermata</i>
Subfilo:	<i>Echinozoa</i>
Clase:	<i>Echinoidea</i>
Subclase:	<i>Euechinoidea</i>
Infraclase:	<i>Aulodonta</i>
Orden:	<i>Diadematida</i>
Familia:	<i>Diadematidae</i>
Género:	<i>Diadema</i>

Especie:

Diadema mexicanum

Fuente: Descripción taxonómica de *Diadema mexicanum* obtenido de Coppard et al., (2006)

Figura 1. *Diadema mexicanum* (Agassiz, 1863): Morfología



Nota: Fotografías tomadas en el sitio de estudio por el Autor de la investigación en el año 2026.

1.6.5 *Eucidaris thouarsii* (L. Agassiz & Desor, 1846): Morfología

Eucidaris thouarsii, o erizo lápiz de pizarra, pertenece al orden *Cidaroida*, un grupo de equinoideos primitivos que han conservado características morfológicas ancestrales (Ruiz-Nava et al., 2021). Su estrategia de supervivencia es muy diferente a la del erizo *Diadema*, ya que se basa en la solidez de su estructura más que en la resistencia química o la agilidad. Posee una testa rígida y globosa, compuesta por placas calcáreas gruesas y fuertemente suturadas (Abou Chakra et al., 2017).

A diferencia de las finas espinas de *Diadema*, para Petsios et al. (2025) las primeras espinas de *E. thouarsii* son muy gruesas, sólidas, cilíndricas. Estas espinas poseen una epidermis viva al madurar, que deposita carbonato de calcio visible. Para Lawrence et al. (2013) esta característica

permite que las espinas sean colonizadas por una biota epibiótica diversa, que incluye algas calcáreas, briozoos, esponjas y pequeños poliquetos. Esta "capa viva" sobre las espinas proporciona un camuflaje único, permitiendo al erizo mimetizarse visualmente con el sustrato rocoso o coralino, una adaptación importante contra depredadores visuales.

Cabanillas-Terán *et al.* (2016) describe que la base de las espinas primarias está protegida por un anillo de segundas espinas cortas y espatuladas, que protegen el sistema muscular que define las espinas principales. Posee una luz Aristóteles grande y potente, adaptada para cortar sustratos duros. Este cambio no solo le permite cortar algas, sino también alimentarse de carbonato de calcio y, en ocasiones, de carne viva de coral, que le sirve de alimento.

1.6.6 Taxonomía *Eucidaris thouarsii* (L. Agassiz & Desor, 1846)

El género *Eucidaris* tiene una distribución pantropical, *E. thouarsii* representa el Pacífico Oriental. Existe un debate científico sobre la comparación de las poblaciones de *Eucidaris* en islas oceánicas (Islas Galápagos, Islas Cocos, Islas Clipperton) con las poblaciones continentales. Algunos autores consideran que las poblaciones insulares constituyen una especie independiente, *Eucidaris galapagensis* Döderlein, 1887, debido a sutiles diferencias genéticas y morfológicas. Sin embargo, para las poblaciones costeras en el continente, como en Ecuador, la clasificación como *E. thouarsii* se considera válida y aceptada. Esta distinción es importante porque las poblaciones insulares a menudo exhiben diferentes comportamientos y densidades de población que las poblaciones continentales, que tienden a ser más crípticas debido a una mayor presión de depredación.

Tabla 2. Descripción taxonómica *Eucidaris thouarsii*

Reino:	<i>Animalia</i>
Filo:	<i>Echinodermata</i>
Subfilo:	<i>Echinozoa</i>
Clase:	<i>Echinoidea</i>
Subclase:	<i>Cidaroida</i>
Orden:	<i>Cidaroida</i>
Familia:	<i>Cidaridae</i>
Género:	<i>Eucidaris</i>
Especie:	<i>Eucidaris thouarsii</i>

Nota: Descripción taxonómica de *Eucidaris thouarsii* obtenido de Ruiz-Nava et al., (2021).

Figura 2. *Eucidaris thouarsii*



Nota. Figura de *Eucidaris thouarsii* obtenida de (Hueytletl, et al., 2024).

1.6.7 *Ecología funcional*

En un arrecife sano, estos erizos son los principales herbívoros bentónicos. Su dieta consiste en raspar incansablemente el sustrato rocoso y el coral muerto para ingerir algas filamentosas, macroalgas encapsuladas y otras algas. Según Lachnit et al., (2025) al eliminar la biomasa de algas, los erizos reducen la competencia por espacio y luz que enfrentan los corales. Las macroalgas, que crecen significativamente más rápido que los corales, pueden sofocar las colonias establecidas e impedir el asentamiento de nuevas larvas si no se controlan.

Para Ladd et al., (2018) el raspado causado por estas especies crea superficies de sustrato limpias y expuestas, condiciones ideales para el asentamiento y la metamorfosis de larvas de coral en fase de plánula, como *Pavona* y *Porites*. Por lo tanto, una densidad moderada de erizos es esencial para la colonización de los corales y la regeneración del arrecife tras una perturbación. Pero irónicamente para Alvarado *et al.*, (2016), el mismo mecanismo nutricional que beneficia a los corales puede ser destructivo, ya que, al raspar las algas, la linterna de Aristóteles del erizo también elimina el carbonato de calcio del sustrato. Cuando la densidad poblacional es alta, la tasa de bioerosión de *D. mexicanum* puede superar la tasa de calcificación del arrecife, lo que resulta en un balance negativo de carbonatos y una erosión neta de la estructura arrecifal.

Por otro lado, Herrera-Escalante *et al.* (2006) nos dice que, aunque la tasa de bioerosión volumétrica de *E. thouarsii* puede ser menor que la de *Diadema*, su comportamiento de pastoreo es diferente. *E. thouarsii* tiende a alimentarse en zonas más localizadas y tiene la capacidad de

morder las puntas de los corales ramificados o los bordes de los corales masivos, afectando directamente el tejido vivo.

1.6.8 Ciclo reproductivo

Estudios previos en latitudes similares (específicamente en Panamá y México) indican que *D. mexicanum* tiene un ciclo reproductivo estacional marcado, reproduciéndose típicamente entre abril y noviembre (Alvarado *et al.*, 2016). Sin embargo, existen lagunas en la información sobre las poblaciones ecuatorianas, donde la estacionalidad puede variar debido a las influencias locales de la Corriente fría de Humboldt y el frente ecuatorial, ya que estas podrían traer consigo variaciones.

Este ciclo está sincronizado con factores oceanográficos como la temperatura del mar (25 °C se considera un umbral crítico para la maduración gonadal) y posiblemente también con el fotoperiodo y las fases lunares. Las larvas (*Echinopluteus*) son planctotróficas y permanecen en la columna de agua durante varias semanas (normalmente de 4 a 6 semanas en las diademátidas), lo que les confiere un alto potencial de dispersión.

Por otro lado, se sabe que *E. thouarsii* son organismos de crecimiento lento, aunque faltan datos específicos en Ecuador continental, estos generalmente suelen tener ciclos reproductivos menos estacionales que los de *D. mexicanum* o presentan varios picos a lo largo del año. Froese & Pauly, (2024) dice que sus larvas (*Echinopluteus*) viven semanas o meses como organismos planctónicos, lo que, si bien permite una amplia distribución, también hace que su regreso y establecimiento en el arrecife dependan de las corrientes locales.

Para Bodnar (2015) estos organismos invierten mucha energía en construir su robusto esqueleto y sus espinas. Los modelos de crecimiento de los erizos sugieren que pueden vivir varias décadas. Su crecimiento es lento en comparación con el de los *diadematidos*.

1.6.9 Depredadores

Según Hernández *et al.*, (2024) & Trasviña (2018), los mayores depredadores de *D. mexicanum* y *E. thouarsii* son peces con morfologías especializadas para aplastar o volcar erizos. En el Pacífico Oriental Tropical, los más prominentes son el pez ballesta (*Sufflamen verres*), la vieja (*Bodianus diplotaenia*), el pez globo (*Arothron meleagris*) y, en menor medida, la langosta (*Panulirus spp.*). La sobrepesca de estas especies depredadoras libera a las poblaciones de *Diadema* de sus áreas de control natural. Estudios en áreas marinas protegidas como la Isla del Coco muestran que los erizos permanecen crípticos y presentan bajas densidades en presencia de una biomasa de depredadores saludable. Su liberación ecológica provoca cambios de comportamiento (alimentación diurna expuesta) y un aumento en la densidad poblacional.

CAPÍTULO II

2. DESARROLLO METODOLÓGICO (MATERIALES Y MÉTODOS)

2.1 Enfoque de la Investigación

En el presente trabajo de investigación no experimental teórico-práctico, se aplicaron métodos científicos y prácticos que permitieron evaluar cómo la estructura de los arrecifes coralinos influye en la distribución, abundancia y comportamiento de *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii* en los arrecifes rocosos de la zona de Surrone-Manabí, se empleó una metodología experimental con enfoque cuantitativo, descriptivo y de campo, el análisis de datos se realizó a través del programa estadístico Minitab de forma que se generó una mayor confianza sobre las variables de respuesta en estudio.

2.2 Diseño de la Investigación

Este trabajo de investigación se clasifica como no experimental porque no existe manipulación directa de las variables independientes por parte del investigador. En el ecosistema bentónico de Surrone, es logística y éticamente imposible cambiar variables macroecológicas como la rugosidad del sustrato, la temperatura del agua o la densidad de depredadores a una escala ecológicamente relevante. Por lo tanto, Díaz-Martínez *et al* (2015) dice que este tipo de estudio emplea una estrategia sistemática de observación *in situ*, que captura los fenómenos en su contexto natural sin intervención directa. Se analiza la influencia de la estructura del hábitat (una variable *ex post facto*) en las poblaciones de erizos, asumiendo que las variaciones observadas en la rugosidad y composición del sustrato son preexistentes y el resultado de procesos anteriores naturales y antropogénicos. Este diseño de estudio es ideal para la investigación ecológica donde

la validez ecológica (el grado en que los resultados son generalizables al mundo real) se prioriza sobre el control absoluto sobre las variables externas.

Por otro lado, la recolección de datos se programó para un único periodo durante el invierno (diciembre-enero), definiendo el estudio como transversal. Este diseño es adecuado para describir el estado actual ("snapshot ") de las poblaciones de *D. mexicanum* y *E. thourarsii*, así como las características del hábitat en un momento específico. Proporciona una línea de base ecológica crucial para una zona poco estudiada como los arrecifes de Manabí, lo que permite evaluar la salud estructural actual del arrecife.

2.3 Tipo de investigación

Esta investigación es relacional y ecosistémica. El objetivo principal es vincular las variables biológicas poblacionales con las variables físicas del entorno. El estudio opera a nivel comunitario-ecológico, integrando datos de organismos individuales (tasas fisiológicas estimadas) para extraer inferencias sobre los procesos a nivel comunitario (competencia, facilitación, bioerosión neta). El objetivo es comprender el Arrecife de Surroneas como un sistema interconectado en el que *D. mexicanum* y *E. thourarsii* actúan como ingenieros ecosistémicos, modificando la estructura física que, a su vez, regula sus propias poblaciones.

2.4 Métodos de investigación

Para la evaluación cuantitativa de la biota bentónica, se utilizó una combinación de transectos de cinta y cuadrantes tanto a escala poblacional como microespacial. Los transectos de cinta, considerados el método estándar para estimar densidades de macroinvertebrados móviles y

conspicuos, consistieron en líneas de 20 a 25 m de largo y 2 m de ancho a cada lado de la línea central, que cubrieron un área representativa, suficiente para capturar la variación espacial de organismos con distribuciones agregadas, como *Diadema*. Para lograr una mayor resolución en la caracterización de la cobertura bentónica y la complejidad a microescala, se utilizaron cuadrantes de PVC, colocados aleatoriamente o a intervalos fijos a lo largo de los transectos. Este método permitió una inspección detallada de organismos crípticos, como juveniles de *Eucidaris*, así como una estimación precisa de los porcentajes de cobertura de corales y algas, ya sea mediante subdivisiones internas del cuadrante o mediante análisis fotográfico posterior.

2.5 MATERIALES Y MÉTODOS

Antes de iniciar con los muestreos y la recolección de datos se llevó a cabo una capacitación académica, la cual consistía en entrenamiento Open Water Diver, realizado con un instructor certificado de Scuba Safety Nitrox International School.

2.5.1 Materiales

Tabla 3. Materiales utilizados en el ensayo

Equipos de Buceo: Traje, peso, aletas, botas, chaleco compensador (BCD), botella, máscara, regulador
Instrumentos de Muestreo: Cuadrantes de 1X1.
Cámara subacuática (GoPro Hero Black 11)
Bote

Fuente: Tabla elaborada por Autor de la investigación en el año 2026.

2.5.2 Área de estudio

El lugar de estudio en donde se realizó el levantamiento de información fue en el sistema arrecifal conocido como “Surrone” o “Bajo Surrone”, ubicado (Primera ubicación: 00°12.899' N y 80°09.539' W; Segunda ubicación: 00°12.905' N y 80°09.598' W) en la zona nerítica aproximadamente a 14 millas náuticas del Cantón Pedernales – Manabí, Ecuador.

Surrone ver Figura 3. se ubica en una zona crítica de transición biogeográfica bajo la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). El área se ve modulada por la Corriente de Humboldt (fría, rica en nutrientes, predominante en la estación seca de mayo a diciembre) y la Corriente de Panamá (cálida, de menor salinidad, predominante en la estación lluviosa de enero a abril). Esta dinámica crea un entorno de alta productividad, pero con fluctuaciones significativas de temperatura y turbidez, lo que clasifica a estos arrecifes como sistemas marginales adaptados a condiciones subóptimas para el desarrollo coralino (Mera-Burgos., 2024).

Figura 3. Localización de la investigación

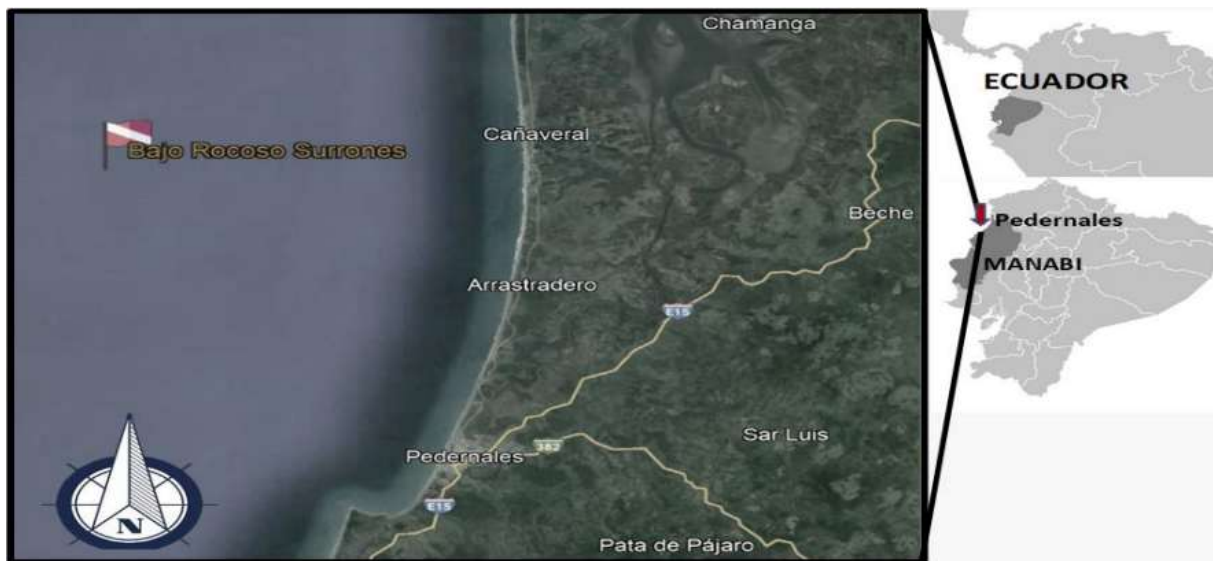


Figura 3. Ubicación geográfica del “bajo rocoso Surrone” Fuente. Elaborado por Darwin Macías en el año 2026.

El área se define como un arrecife de coral rocoso. El sustrato subyacente consiste en formaciones rocosas (probablemente de origen volcánico o sedimentario consolidado) que se elevan sobre un fondo arenoso a profundidades que oscilan entre los 25 y 30 m y los 10 y 15 m. La comunidad bentónica está dominada por corales escleractíneos masivos, principalmente *Pavona clavus*, que forman grandes colonias que contribuyen a la complejidad topográfica, y *Porites lobata* en menor número. Esta estructura biogénica, superpuesta a la roca, proporciona un hábitat esencial (refugio y alimento) para la macrofauna de invertebrados, incluyendo poblaciones de *D. mexicanum* y *E. thouarsii*, así como estrellas de mar (*Phataria unifascialis*, *Pentaceraster cumingi*) y una diversa comunidad de peces arrecifales (Cobeña et al., 2024).

2.5.3 Métodos y técnicas utilizados

Se aplicó una metodología experimental para ello se establecieron cuadrantes en los que se identificó el tipo de sustrato predominante y se realizó un censo visual directo de las especies *D. mexicanum* y *E. thouarsii*. También se aplicó la observación directa, sin extracción ni manipulación de organismos, garantizando la integridad del ecosistema arrecifal y el cumplimiento de principios de investigación ambiental responsable para cada especie observada donde se contabilizó el número total de individuos presentes dentro del cuadrante. Cuando en un mismo cuadrante se registró la presencia de más de una especie, cada una fue considerada de manera independiente para el análisis, asignando su respectiva abundancia, los datos fueron organizados en una matriz que incluyó: cuadrante, tipo de sustrato, especie y abundancia.

Los datos se estructuraron en formato largo, donde cada fila representó la abundancia de una especie específica en un cuadrante determinado. Este formato permitió evaluar la distribución espacial y la dominancia relativa de las especies en relación con el tipo de sustrato para ello se utilizó el programa Excel para ordenar los datos obtenidos dentro del ensayo.

2.5.4 Análisis estadístico

Para evaluar la relación entre la estructura del arrecife y la presencia de *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thourarsii*, se aplicaron los siguientes análisis: Abundancia total y media por especie; frecuencia de aparición por tipo de sustrato (rocoso y coralino); distribución de especies entre sustratos rocosos y coralinos a través de un análisis descriptivo, para caracterizar la dominancia y distribución de las especies en cada tipo de sustrato, se realizó tablas de contingencia, para analizar la asociación entre especie y tipo de sustrato y pruebas comparativas, orientadas a evaluar diferencias en la abundancia de erizos entre sustratos, considerando a la especie como factor explicativo a través de MINITAB, los resultados obtenidos permitieron identificar patrones de dominancia ecológica y asociaciones estructurales del arrecife en función de la composición de erizos de mar, incluyendo abundancia total y media por especie, frecuencia de aparición por tipo de sustrato, distribución de especies entre sustratos rocosos y coralinos y caracterizar la estructura de los arrecifes coralinos en relación con la presencia de *D. mexicanum* y *E. thourarsii*.

2.6 Variables de estudio

2.6.1 Variable estructural del arrecife

La estructura del arrecife se caracterizó a partir de los siguientes indicadores ecológicos:

- Tipo de sustrato: rocoso y coralino.
- Composición específica de erizos.
- Abundancia de erizos, expresada como número de individuos por cuadrante

Estos indicadores son ampliamente utilizados para describir la estructura y el estado ecológico de los arrecifes coralinos, debido al papel funcional de los erizos como organismos bioerosionadores y herbívoros.

2.6.2 Variables biológicas

Se registró la presencia y abundancia de las siguientes especies de erizos de mar:

- *Diadema mexicanum*
- *Eucidaris thouarsii*
- *Centrostephanus coronatus* (registrada como especie acompañante)

2.7 Manejo del ensayo

2.7.1 Recolección de datos

En cada cuadrante se identificó el tipo de sustrato predominante y se realizó un censo visual directo de las especies *D. mexicanum* y *E. thouarsii*. para cada especie observada se contabilizó el

número total de individuos presentes dentro del cuadrante. Cuando en un mismo cuadrante se registró la presencia de más de una especie, cada una fue considerada de manera independiente para el análisis, asignando su respectiva abundancia. Los datos fueron organizados en una matriz que incluyó: cuadrante, tipo de sustrato, especie y abundancia.

2.7.2 Organización y procesamiento de la información

Los datos se estructuraron en formato largo, donde cada fila representó la abundancia de una especie específica en un cuadrante determinado. Este formato permitió evaluar la distribución espacial y la dominancia relativa de las especies en relación con el tipo de sustrato. Se calcularon estadísticas descriptivas básicas, incluyendo: Abundancia total y media por especie, frecuencia de aparición por tipo de sustrato, distribución de especies entre sustratos rocosos y coralinos y caracterizar la estructura de los arrecifes coralinos en relación con la presencia de *D. mexicanum* y *E. thouarsii*.

2.7.3 Análisis estadístico

Para evaluar la relación entre la estructura del arrecife y la presencia de *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii*, se utilizó MINITAB para el procesamiento de datos y se aplicaron los siguientes análisis: análisis descriptivo, para caracterizar la dominancia y distribución de las especies en cada tipo de sustrato, tablas de contingencia, para analizar la asociación entre especie y tipo de sustrato, pruebas comparativas, orientadas a evaluar diferencias en la abundancia de erizos entre sustratos, considerando a la especie como factor explicativo.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.1 Caracterizar la estructura de los arrecifes coralinos en relación con la presencia de D. mexicanum y E. thouarsii.

El presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar cómo la estructura de los arrecifes coralinos influye en la distribución, abundancia y comportamiento de *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii* en los arrecifes rocosos de la zona de Surrone-Manabí, los datos obtenidos en el área de estudio aplicando los cuadrantes como método de evaluación se obtuvieron los siguientes resultados después del procesamiento y análisis de los datos. de *D. mexicanum* y *E. thouarsii* ver Figura 4 y Tabla 4.

Tabla 4. Resultados de índice de abundancia en sustrato coral

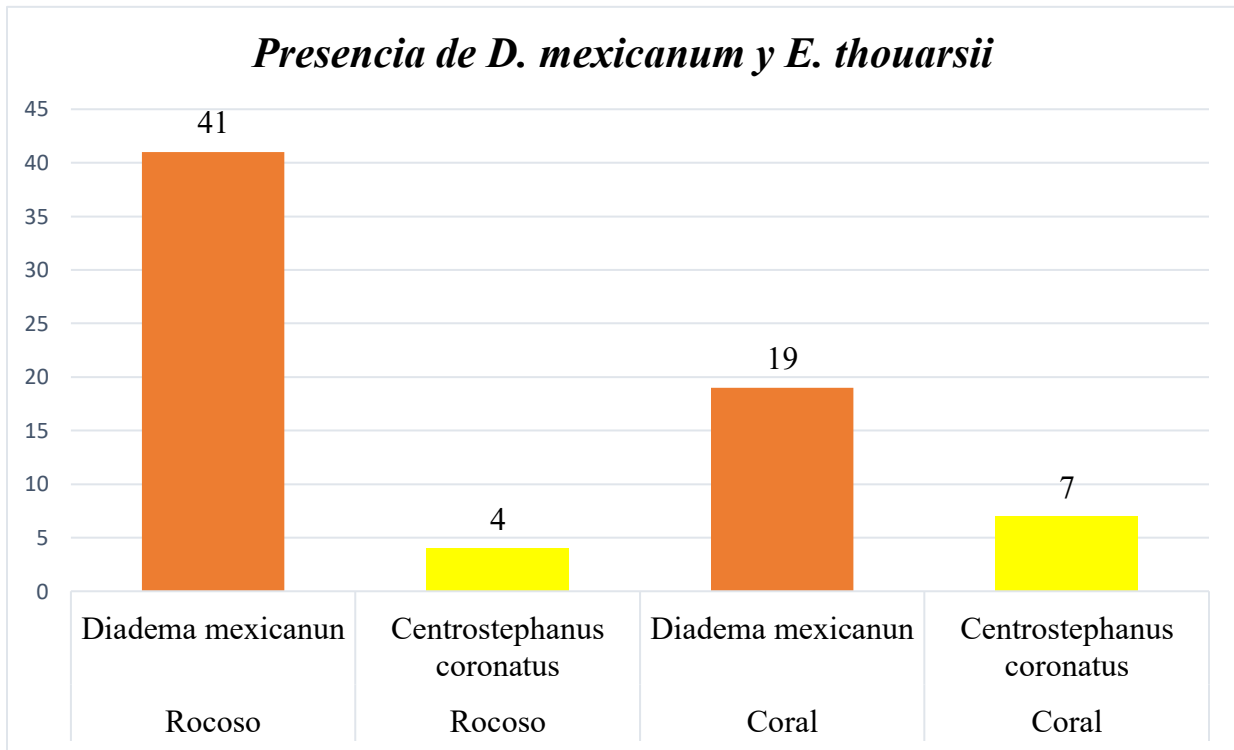
Variable	Especie	Media	Desv.Est.	Varianza	Coef Var	Suma	Mín.	Máx.
Abundancia	<i>Centrostephanus</i>	1,750	0,957	0,917	54,71	7,000	1,000	3,000
	<i>coronatus</i>							
	<i>Diadema</i>	2,714	1,113	1,238	40,99	19,000	1,000	4,000
	<i>mexicanum</i>							

Fuente: Obtenida del programa estadístico MINITAB después del análisis de datos.

En el sustrato coral, *Diadema mexicanum* presenta una mayor abundancia media (2,71 ind.) que *Centrostephanus coronatus* (1,75 ind.), indicando una mayor dominancia relativa de la primera especie en este hábitat. La variabilidad es moderada en ambas, aunque *C. coronatus* exhibe un

coeficiente de variación más alto (54,7%), lo que sugiere una distribución más heterogénea entre unidades de muestreo. En contraste, *D. mexicanum* muestra mayor estabilidad relativa ($CV \approx 41\%$) y valores máximos más elevados (4 vs. 3), consistente con una mejor adaptación o mayor afinidad ecológica al sustrato coralino. El mínimo igual (1) en ambas especies indica presencia constante, sin ausencias en los muestreos.

Figura 4. Presencia de *D. mexicanum* y *E. thouarsii*.



Fuente: Gráfico elaborado por autor de la investigación, después de la toma de datos en área de investigación.

Tabla 5. Resultados de índice de abundancia en sustrato rocoso

Variable	Especie	Media	Desv Est.	Varianza	Coef Var	Suma	Mín	Máx.
----------	---------	-------	-----------	----------	----------	------	-----	------

Abundancia	<i>Centrostephanus coronatus</i>	2,00	1,41	2,00	70,7 1	4,00	1,00	3,00
	<i>Diadema mexicanum</i>	5,86	2,67	7,14	45,6 3	41,00	2,00	10,00
	<i>Eucidaris thouarsii</i>	1,000 0	0,00	0,00000	0,00	2,000 0	1,00 00	1,000 0

En el sustrato rocoso ver Tabla 5. *Diadema mexicanum* presenta la mayor abundancia media (5,86 ind.) y la mayor suma total (41), evidenciando una dominancia marcada y alta afinidad por este hábitat. Aunque muestra elevada desviación estándar (2,67), su coeficiente de variación moderado (45,6%) indica una heterogeneidad controlada y presencia relativamente consistente, alcanzando además el valor máximo más alto (10 ind.). *Centrostephanus coronatus* registra abundancia intermedia (media = 2,0) con alta variabilidad relativa (CV = 70,7%), lo que sugiere una distribución espacial irregular y dependencia de microhábitats. *Eucidaris thouarsii* exhibe abundancia mínima y constante (media = 1; CV = 0), asociada a nichos específicos y menor competitividad.

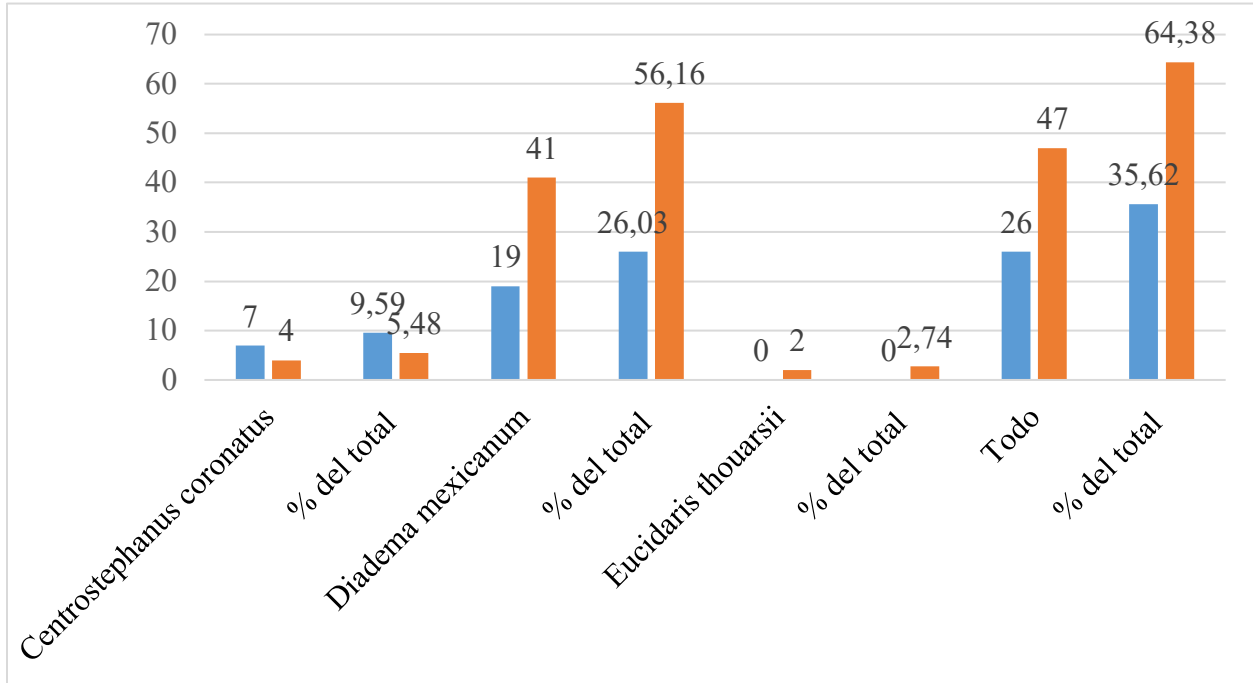
Tabla 6. Tabla de contingencia en (Abundancia total por sustrato) (para dominancia)

	Coral	Rocoso	Todo
<i>Centrostephanus coronatus</i>	7	4	11
% de la fila	63,64	36,36	100,00
% de columna	26,92	8,51	15,07
% del total	9,59	5,48	15,07
<i>Diadema mexicanum</i>	19	41	60
% de la fila	31,67	68,33	100,00

% de columna	73,08	87,23	82,19
% del total	26,03	56,16	82,19
<i>Eucidaris thouarsii</i>	0	2	2
% de la fila	0,00	100,00	100,00
% de columna	0,00	4,26	2,74
% del total	0,00	2,74	2,74
Todo	26	47	73
% de la fila	35,62	64,38	100,00
% de columna	100,00	100,00	100,00
% del total	35,62	64,38	100,00

Nota. La tabla contiene la abundancia total por sustrato. La Tabla 6. Es la de contingencia donde se evidencia una asociación clara entre especie y tipo de sustrato. *Diadema mexicanum* concentra la mayor abundancia total (82,2%) y muestra una preferencia marcada por el sustrato rocoso (68,3% de su abundancia; 87,2% del total en rocoso), confirmando su afinidad ecológica por este hábitat. *Centrostephanus coronatus* presenta una distribución más equilibrada, aunque con mayor proporción en coral (63,6%), lo que sugiere menor especialización. *Eucidaris thouarsii* aparece exclusivamente en sustrato rocoso, pero con baja frecuencia (2,7%), indicando presencia puntual y posible especialización de nicho. En conjunto, los resultados reflejan una estructuración de la comunidad bentónica influenciada por el tipo de sustrato.

Figura 5. Abundancia por sustrato



En la Figura 5. se registraron un total de 73 individuos distribuidos en dos grupos de muestreo, la especie más abundante fue *Diadema mexicanum* con 19 individuos (26,03%), seguida por *Centrostephanus coronatus* con 7 individuos (9,59%). No se registraron individuos de *Eucidaris thouarsii* en este grupo. En el grupo 2, *Diadema mexicanum* también fue la especie dominante con 41 individuos (56,16%), mostrando un incremento considerable respecto al grupo 1. *Centrostephanus coronatus* presentó 4 individuos (5,48%), mientras que *Eucidaris thouarsii* registró 2 individuos (2,74%), siendo esta la única especie ausente en el grupo 1.

Tabla 7. Prueba de Kruskal-Wallis: Abundancia vs. Especie

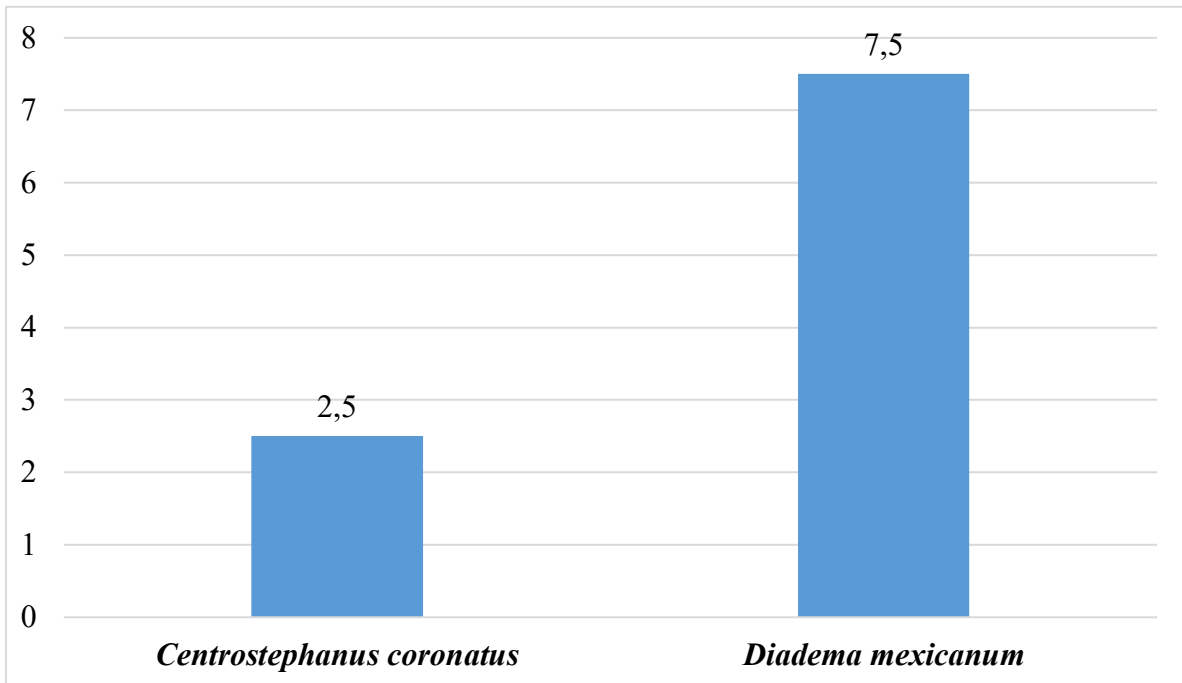
Especie	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z	Valor p
---------	---	---------	-------------------------	---------	---------

<i>Centrostephanus coronatus</i>	4	2,5	3,4	-1,30	0,194
<i>Diadema mexicanum</i>	4	7,5	5,6	1,30	0,189
General	8		4,5		

Nota. Pruebas comparativas, orientadas a evaluar diferencias en la abundancia de erizos entre sustratos, considerando a la especie como factor explicativo.

Menciona Ortega, (2026) que la prueba H de Kruskal-Wallis es una prueba no paramétrica basada en el rango que puede utilizarse para corroborar si existen diferencias relevantes a nivel estadístico entre dos o más grupos de una variable independiente en una variable dependiente ordinal o continua esta prueba determina si las medianas de dos o más grupos son diferentes. Kruskal-Wallis no evidenció diferencias estadísticamente significativas en la abundancia entre las especies evaluadas ($p = 0,189$; $p > 0,05$) por lo que no se rechaza la hipótesis nula de igualdad de medianas. Aunque *Diadema mexicanum* mostró una mediana superior (7,5) frente a *Centrostephanus coronatus* (2,5), esta diferencia no es concluyente. Los valores Z indican una tendencia opuesta entre especies; sin embargo, el tamaño muestral reducido limita la potencia del análisis y la solidez de la inferencia estadística, ver Figura 6.

Figura 6. Resultados de medias *Diadema mexicanum* y *Centrostephanus coronatus*



Nota. Gráfico elaborado a partir del análisis de datos a través de EXCEL para mostrar las diferencias de medias de cada especie.

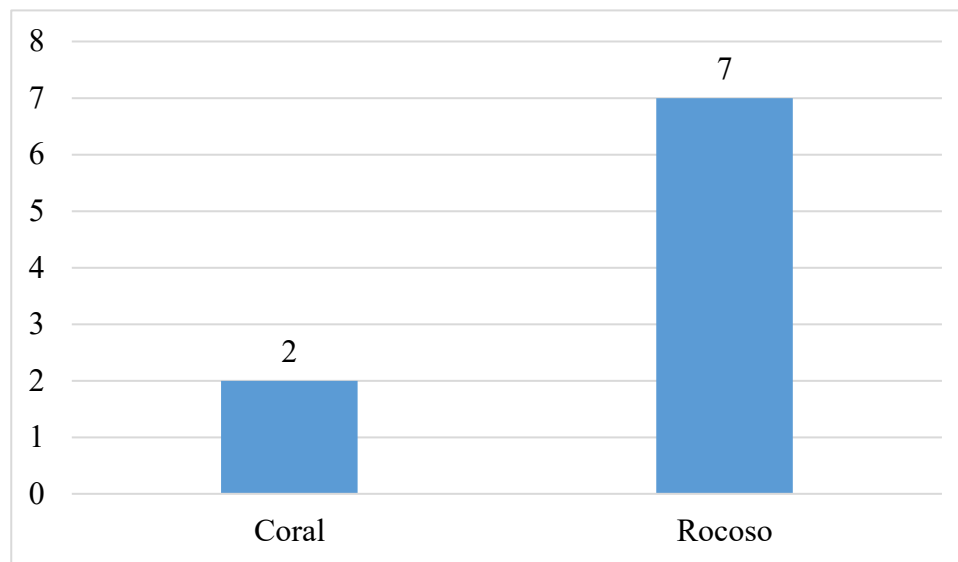
Tabla 8. Prueba de Kruskal-Wallis: Abundancia vs. Sustrato

Sustrato	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z	Valor p
Coral	3	2	3,0	-1,34	0,180
Rocoso	5	7	5,4	1,34	0,174
General	8		4,5		

Nota. Pruebas comparativas, orientadas a evaluar diferencias en la abundancia de erizos entre sustratos, considerando a el sustrato como factor explicativo.

La prueba de Kruskal-Wallis indicó que no existen diferencias estadísticamente significativas en la abundancia según el tipo de sustrato ($p = 0,174$; $p > 0,05$), por lo que no se rechaza la hipótesis nula. Aunque el sustrato rocoso presentó una mediana mayor de abundancia (7) frente al coralino (2), esta diferencia corresponde solo a una tendencia descriptiva, limitada por el bajo tamaño muestral ver Figura 7.

Figura 7. Resultados de medias de abundancia según el tipo de sustrato



Nota. Gráfico elaborado a partir del análisis de datos a través de EXCEL para mostrar las diferencias de medias de cada especie.

Tabla 9. Prueba de Kruskal-Wallis: vs. Cuadrante

Cuadrante	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
1	1	10	8,0	1,53
2	1	8	7,0	1,09
3	1	7	6,0	0,65

7	1	1	1,5	-1,31
9	1	3	4,5	0,00
10	1	1	1,5	-1,31
11	1	3	4,5	0,00
12	1	2	3,0	-0,65
General	8		4,5	

La prueba de Kruskal-Wallis no evidenció diferencias estadísticamente significativas en la abundancia de erizos entre cuadrantes por lo que no se rechaza la hipótesis nula. Si bien se observan variaciones en las medianas y en los rangos entre cuadrantes, estas corresponden únicamente a patrones descriptivos. El tamaño muestral unitario por cuadrante limita la potencia estadística y la capacidad de detectar diferencias reales.

3.1.2 Interpretación del primer objetivo

Los resultados evidencian una dominancia descriptiva de *Diadema mexicanum*, especialmente en sustrato rocoso, lo que sugiere una mayor afinidad ecológica y capacidad de ocupación de este hábitat. *Centrostephanus coronatus* mostró abundancias menores y más variables, mientras que *Eucidaris thouarsii* presentó una presencia puntual. No obstante, las pruebas de Kruskal-Wallis no detectaron diferencias estadísticamente significativas por especie, sustrato ni cuadrante, probablemente debido al tamaño muestral reducido. En conjunto, los patrones observados reflejan tendencias ecológicas coherentes, pero requieren mayor esfuerzo de muestreo para confirmación inferencial.

3.1.3 *Evaluar la abundancia y distribución espacial a escala de cuadrantes según tipo de sustrato de D. mexicanum y E. thouarsii en los arrecifes coralinos estudiados.*

Tabla 10. Estadísticos descriptivos: Abundancia Resultados de Sustrato = Coral

Variable	Especie	N	N*	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
Abundancia	<i>Diadema_ mexicanum</i>	18	0	2,000	1,029	1,000	2,000	4,000

Tabla 11. Resultados de Sustrato = Rocoso

Variable	Especie	N	N*	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
Abundancia	<i>Diadema_ mexicanum</i>	13	0	3,846	2,996	1,000	3,000	10,000
	<i>Eucidaris_ thouarsii</i>	2	0	1,0000	0,000000	1,0000	1,0000	1,0000

Las estadísticas descriptivas muestran que *Diadema mexicanum* presentó mayor abundancia media en sustrato rocoso que en coralino, con mayor variabilidad. En sustrato coralino, su distribución fue más homogénea. *Eucidaris thouarsii* registró abundancia mínima y presencia limitada, asociada únicamente al sustrato rocoso.

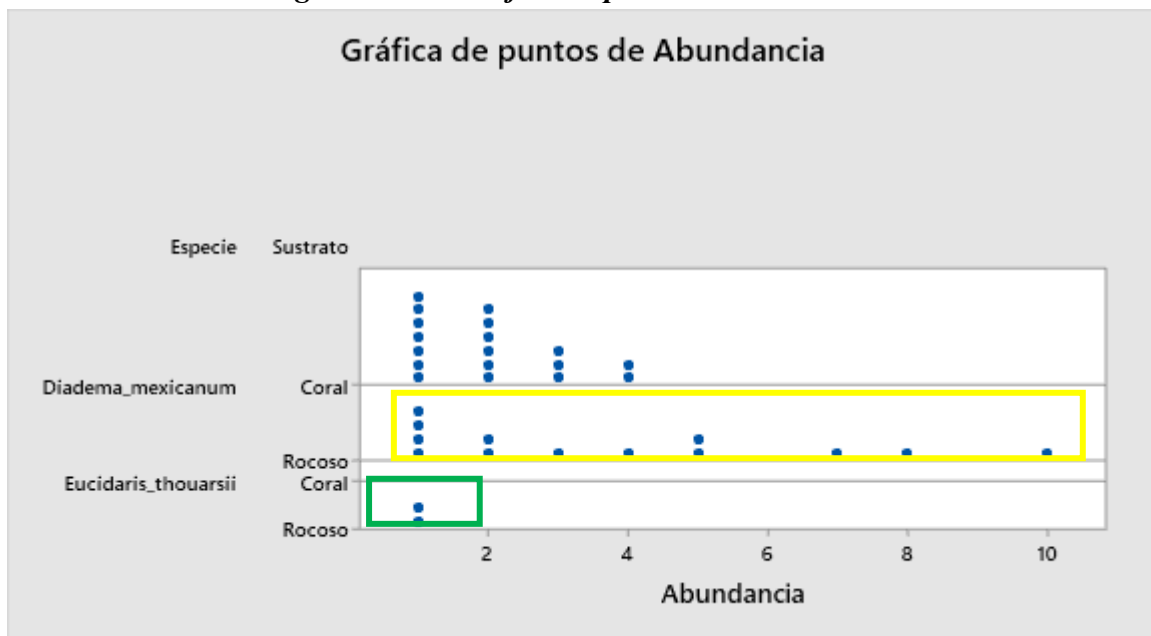
Tabla 12. Cuenta de variables discretas: Especie

Especie	Conteo
<i>Diadema_ mexicanum</i>	31

<i>Eucidaris_thouarsii</i>	2
N=	33

La Tabla 12. evidencia una marcada dominancia de *Diadema mexicanum* en el área de estudio, mientras *Eucidaris thouarsii* presenta presencia marginal, indicando baja representatividad poblacional.

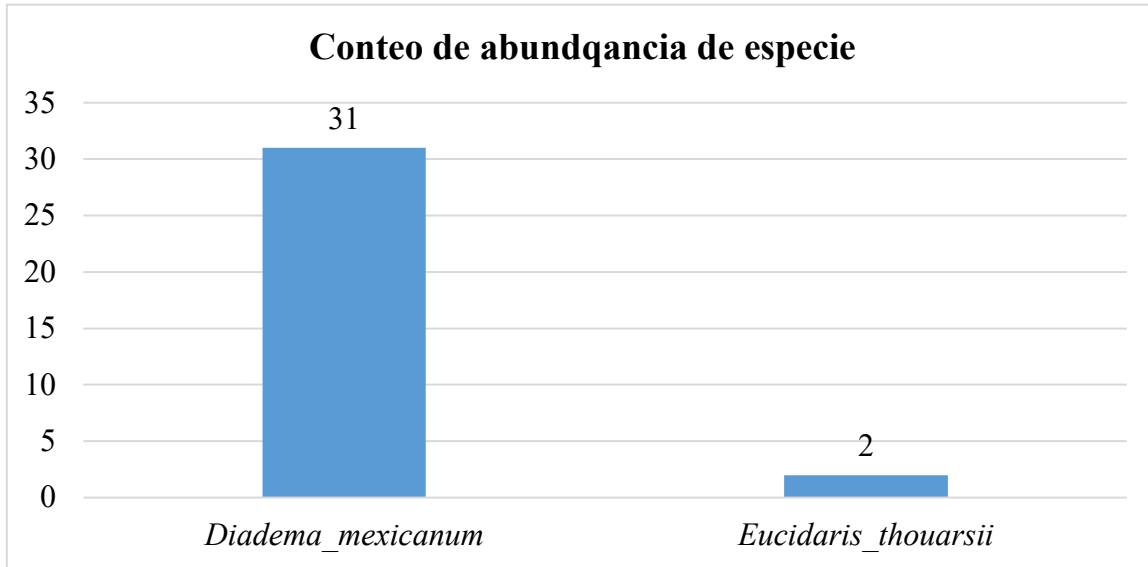
Figura 8. Gráfica de puntos de abundancia



Nota. Gráfico obtenido de programa estadístico MINITAB después del respectivo análisis de datos.

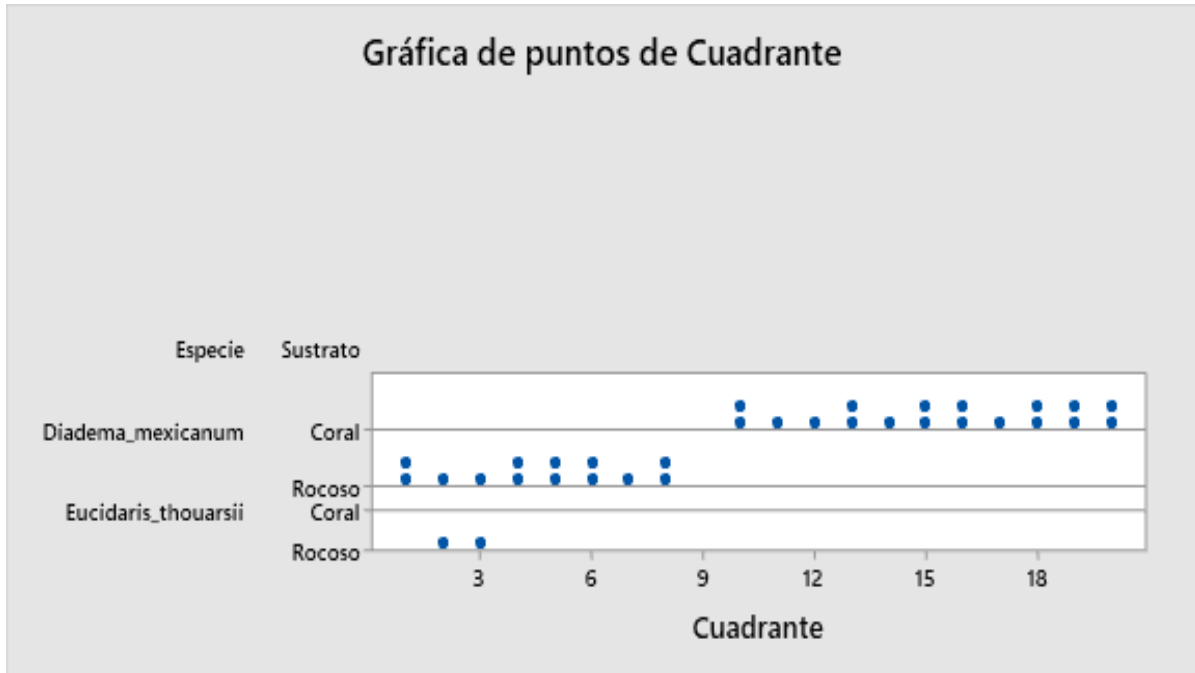
La Figura 8. Presenta una gráfica donde el eje horizontal representa la abundancia (número de individuos) y el eje vertical organiza la información por especie y tipo de sustrato, se evidencia mayor abundancia y variabilidad de *Diadema mexicanum*, especialmente en sustrato rocoso (rectángulo amarillo), con valores máximos elevados. En contraste, *Eucidaris thouarsii* presenta baja abundancia y distribución restringida (rectángulo verde). Este patrón sugiere preferencias de hábitat diferenciadas y una distribución espacial agregada influenciada por el tipo de sustrato.

Figura 9. *Conteo de abundancias de especies*



Nota. Gráfico realizado en EXCEL, del conteo de abundancia de especie va enlazado a Tabla 12.

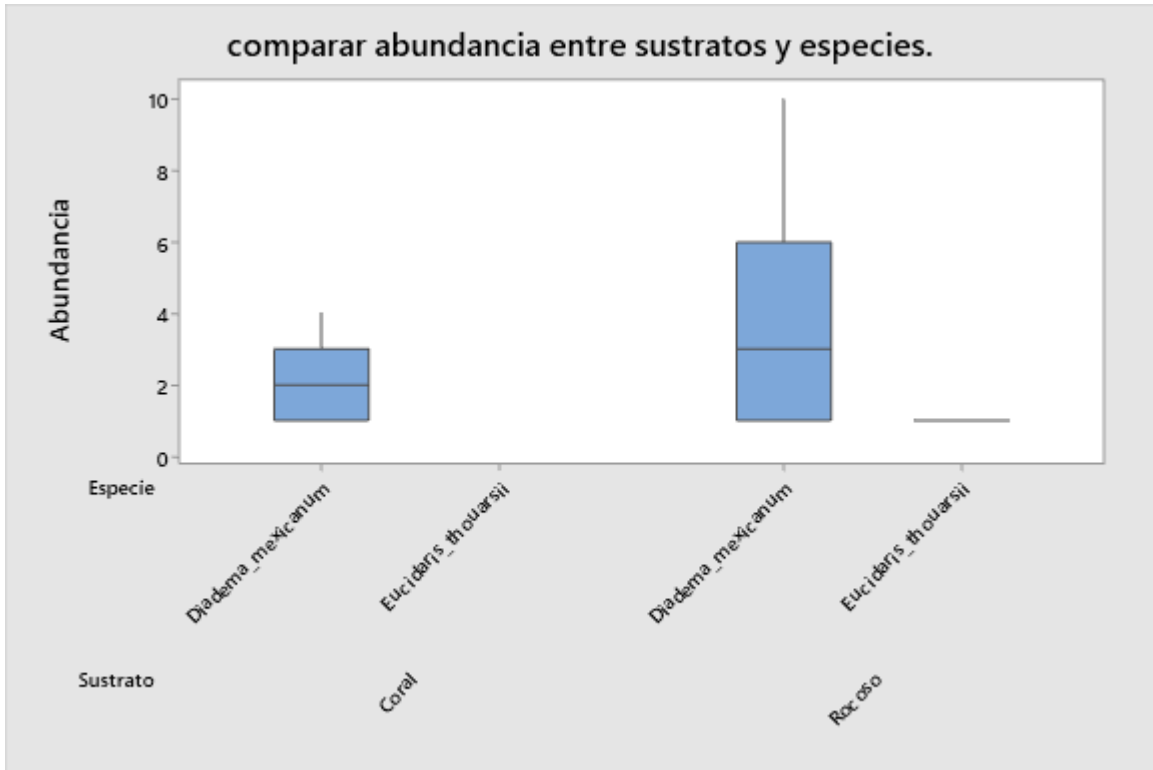
Figura 10. Gráfica de puntos de cuadrante



Nota. Gráfico de puntos de cuadrante obtenido de programa estadístico MINITAB después del respectivo análisis de datos.

La Figura 10. se presenta la gráfica de puntos de cuadrante donde se muestra que *Diadema mexicanum* se distribuye a lo largo de la mayoría de los cuadrantes, con mayor frecuencia en sustrato coralino, indicando amplia ocupación espacial. En contraste, *Eucidaris thouarsii* aparece en pocos cuadrantes y principalmente en sustrato rocoso, evidenciando una distribución restringida y baja representatividad poblacional.

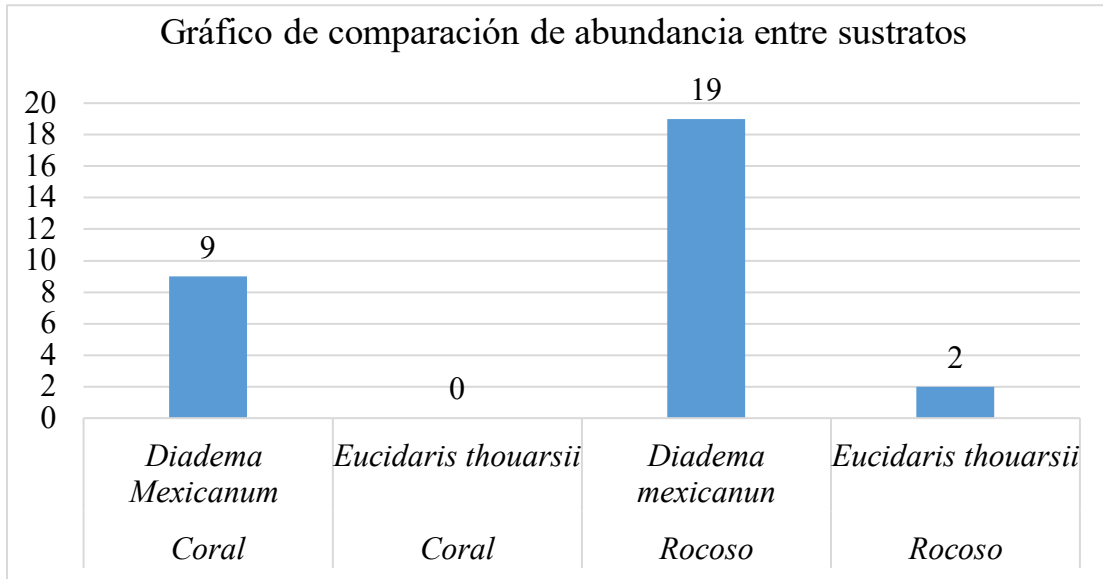
Figura 11. Gráfico de comparación de abundancia entre sustratos



Nota. Gráfico de puntos de cuadrante obtenido de programa estadístico MINITAB después del respectivo análisis de datos.

La Figura 11. Muestra la gráfica de comparación de abundancia entre sustratos y especies, donde se evidencia una mayor mediana y dispersión de la abundancia, con presencia de valores extremos, lo que indica una distribución heterogénea. Este patrón sugiere agregación espacial de los organismos, influenciada por el tipo de sustrato y la disponibilidad de microhábitats favorables dentro del arrecife.

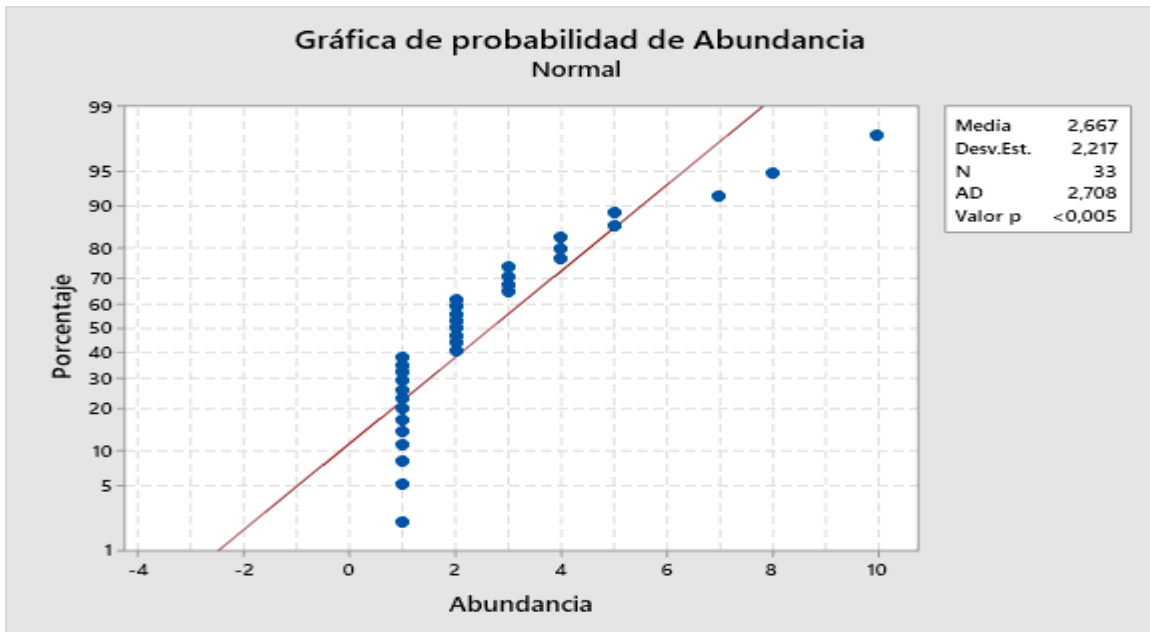
Figura 12. Gráfico de comparación de abundancia entre sustratos



Nota. Gráfico elaborado a partir del análisis de datos a través de EXCEL para comparar la abundancia de especies entre sustratos, este gráfico presenta los resultados de la Figura 11.

La Figura 12. Presenta el grafico de comparación de abundancia de especies entre sustratos, donde la *Diadema mexicanum* fue la especie dominante en ambos sustratos, aunque mostró una abundancia significativamente mayor en el sustrato rocoso (19 individuos) en comparación con el coralino (9 individuos). Esta diferencia podría estar asociada a factores como mayor disponibilidad de refugios, alimento o menor competencia en ambientes rocosos. Por otro lado, *Eucidaris thouarsii* estuvo ausente en el sustrato coralino y solo se registró en el rocoso, con una abundancia baja (2 individuos). Esta distribución restringida podría indicar una preferencia específica por sustratos duros más estables o características estructurales propias del ambiente rocoso que favorecen su asentamiento.

Figura 13. Gráfica de probabilidad de abundancia



Un gráfico de probabilidad es una herramienta sencilla para determinar si un conjunto de datos sigue o no una distribución hipotética. Los datos se grafican contra una distribución teórica de tal manera que, si el gráfico es una línea recta, es razonable asumir que la muestra estadística observada proviene de la distribución especificada. Las desviaciones de esta línea indican desviaciones de esa distribución. Entre los gráficos de probabilidad, se utiliza para evaluar si los datos se distribuyen de forma aproximadamente normal. En un gráfico de residuos, en el eje horizontal graficamos los datos ordenados en orden ascendente, en este caso los residuos estudentizados clasificados, y en el eje vertical las puntuaciones normales (también llamadas estadísticas de orden normal) $z(i)$ para una muestra de tamaño I (Nisbet et al., 2018).

En la Figura 13. se presenta la gráfica de probabilidad de la abundancia indica que los datos no siguen una distribución normal, evidenciando asimetría y desviaciones en los extremos. Este

patrón sugiere una distribución agregada de los erizos, común en organismos bentónicos asociados al sustrato.

Tabla 13. Prueba de Kruskal-Wallis: Abundancia vs. Especie

Especie	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z	Valor p
Diadema_mexicanum	31	2	17,6	1,51	0,131
Eucidaris_thouarsii	2	1	7,0	-1,51	0,116
General	33		17,0		

La aproximación de chi-cuadrada podría no ser exacta cuando algunos tamaños de muestra sean menores que 5.

La prueba de Kruskal-Wallis Tabla 13. no detectó diferencias significativas en la abundancia entre especies ($p > 0,05$). Aunque *Diadema mexicanum* presentó una mediana mayor que *Eucidaris thouarsii*, el reducido tamaño muestral de esta última limita la potencia estadística, sugiriendo que las diferencias observadas son solo descriptivas.

Tabla 14. Prueba de Kruskal-Wallis: Abundancia vs. Sustrato

Sustrato	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z	Valor p
Coral	18	2	15,5	-0,99	0,320
Rocoso	15	2	18,8	0,99	0,301
General	33		17,0		

La prueba de Kruskal-Wallis en Tabla 14. indica que no existen diferencias estadísticamente significativas en la abundancia de erizos entre sustratos coralino y rocoso ($p > 0,05$). Aunque el

sustrato rocoso presentó una clasificación de medias ligeramente mayor, ambas medianas fueron iguales, evidenciando una distribución similar entre hábitats.

Tabla 15. Prueba de Kruskal-Wallis: Abundancia vs. Cuadrante

Cuadrante	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
1	2	5,5	20,0	0,45
2	2	4,5	19,5	0,38
3	2	4,0	19,0	0,30
4	2	3,0	18,3	0,19
5	2	2,5	17,0	0,00
6	2	1,5	12,3	-0,72
7	1	3,0	23,5	0,68
8	2	3,5	23,5	0,98
10	2	1,0	7,0	-1,51
11	1	1,0	7,0	-1,05
12	1	1,0	7,0	-1,05
13	2	3,0	22,3	0,79
14	1	3,0	23,5	0,68
15	2	2,0	17,5	0,08
16	2	2,0	15,3	-0,26
17	1	1,0	7,0	-1,05
18	2	2,0	15,3	-0,26
19	2	2,0	17,5	0,08
20	2	3,0	22,3	0,79
General	33		17,0	

Método	GL	Valor H	Valor p
---------------	-----------	----------------	----------------

No ajustado para empates	18	9,40	0,950
Ajustado para empates	18	10,19	0,925

Tabla 16. Prueba

La aproximación de chi-cuadrada podría no ser exacta cuando algunos tamaños de muestra sean menores que 5.

La prueba de Kruskal-Wallis Tabla 15. no evidenció diferencias significativas en la abundancia de erizos entre cuadrantes ($p > 0,05$). Aunque se observaron variaciones descriptivas en medianas y rangos, estas no fueron estadísticamente concluyentes, probablemente debido al bajo tamaño muestral por cuadrante y a la alta variabilidad espacial.

3.1.4 Interpretación del segundo objetivo

El segundo objetivo de la investigación tuvo como finalidad evaluar la abundancia y distribución espacial, a escala de cuadrantes y según el tipo de sustrato, de *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii* en los arrecifes coralinos estudiados. Para cumplir este objetivo, se depuró la base de datos original, excluyendo registros de sustrato mixto y especies no contempladas, con el fin de mantener consistencia metodológica y responder de manera precisa al planteamiento del estudio.

Los resultados evidencian una marcada dominancia de *Diadema mexicanum* en el área de estudio, representando el 93,9 % del total de individuos registrados, mientras que *Eucidaris thouarsii* mostró una presencia marginal, con solo dos individuos asociados exclusivamente al sustrato rocoso. Este patrón sugiere que *D. mexicanum* constituye la especie estructural dominante dentro de la comunidad de erizos evaluada, lo cual coincide con lo reportado en otros estudios donde esta especie se asocia a una alta capacidad de colonización y tolerancia a diferentes condiciones de hábitat.

El análisis descriptivo indicó que *Diadema mexicanum* presentó una mayor abundancia media en sustrato rocoso ($3,85 \pm 2,99$) en comparación con el sustrato coralino ($2,00 \pm 1,03$). Además, la mayor desviación estándar observada en el sustrato rocoso refleja una mayor heterogeneidad espacial, con presencia de valores extremos que alcanzaron hasta diez individuos por cuadrante. En contraste, el sustrato coralino mostró una distribución más homogénea, con abundancias moderadas y ausencia de valores máximos elevados, lo que podría estar relacionado con una mayor complejidad estructural y disponibilidad más uniforme de microhábitats.

Las gráficas de puntos y de caja reforzaron estos hallazgos, mostrando una distribución agregada de *D. mexicanum*, especialmente en sustrato rocoso, donde se concentran los mayores valores de abundancia. Este patrón de agregación es característico de organismos bentónicos y suele asociarse a factores como disponibilidad de refugio, rugosidad del sustrato y presión de depredación. Por su parte, *E. thouarsii* presentó una distribución extremadamente restringida, lo que impide inferencias robustas sobre sus preferencias espaciales, aunque su presencia exclusiva en sustrato rocoso sugiere una posible afinidad por este tipo de hábitat.

La gráfica de probabilidad confirmó que los datos de abundancia no siguen una distribución normal, evidenciando asimetría y acumulación de valores bajos, lo que justificó el uso de pruebas no paramétricas. En este contexto, la prueba de Kruskal-Wallis aplicada para comparar la abundancia entre especies no detectó diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$). Sin embargo, *D. mexicanum* presentó una mediana mayor que *E. thouarsii*, lo que indica una tendencia descriptiva consistente con los resultados observados. La baja potencia estadística derivada del reducido tamaño muestral de *E. thouarsii* limita la capacidad de detectar diferencias significativas y debe considerarse como una restricción del estudio.

De igual manera, la comparación de abundancia entre sustratos y entre cuadrantes no evidenció diferencias significativas, a pesar de las variaciones descriptivas observadas. Estos resultados sugieren que, a la escala espacial evaluada, la distribución de los erizos presenta una alta variabilidad local que no se traduce en patrones estadísticamente diferenciables, probablemente debido al bajo número de réplicas por categoría y a la naturaleza altamente agregada de estos organismos.

En conjunto, los resultados permiten concluir que *D. mexicanum* domina ampliamente la comunidad de erizos y muestra una mayor abundancia y variabilidad en sustrato rocoso, mientras que *E. thouarsii* presenta una distribución limitada y baja representatividad. Aunque no se detectaron diferencias significativas desde el punto de vista estadístico, los patrones descriptivos observados aportan evidencia ecológica relevante sobre la estructura espacial de estas especies en los arrecifes coralinos estudiados.

3.1.5 Analizar la relación entre el tipo de sustrato como indicador de la condición del arrecife y la abundancia de *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii* en los arrecifes coralinos estudiados

En ecología arrecifal es válido usar variables (indicadoras) cuando no se mide la salud directamente, en este caso, se puede definir a la Salud del arrecife como indicador:

- **Tipo de sustrato**
 - Coral → mayor complejidad estructural (mejor estado relativo)
 - Rocoso → menor complejidad (estado distinto)
- **Abundancia de erizos herbívoros**, especialmente *Diadema mexicanum*, como indicador funcional del sistema (control de macroalgas).

3.1.6 Comparación por sustrato (como indicador de salud) con prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis / Mann–Whitney

Tabla 17. Prueba de Kruskal-Wallis: Abundancia vs. Sustrato

Sustrato	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z	Valor p
Coral	18	2	15,5	0,99	0,320
Rocoso	15	2	18,8	0,99	0,301
General	33		17,0		

La relación entre la condición del arrecife y la abundancia de erizos se evaluó utilizando el tipo de sustrato como variable indicadora de la salud arrecifal ver Tabla 17. donde se considera al sustrato coralino como un hábitat de mayor complejidad estructural y mejor estado relativo, y al

sustrato rocoso como una condición distinta del sistema. Asimismo, la abundancia de *Diadema mexicanum* fue empleada como indicador funcional del ecosistema debido a su rol herbívoro en el control de macroalgas.

El análisis inferencial mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis no evidenció diferencias estadísticamente significativas en la abundancia de erizos entre sustratos coralino y rocoso ($p > 0,05$). Ambas condiciones presentaron medianas iguales, aunque el sustrato rocoso mostró una clasificación de medias ligeramente superior. Este patrón sugiere una tendencia descriptiva a mayor presión herbívora en áreas rocosas, mientras que la menor abundancia en sustrato coralino podría asociarse a un mayor equilibrio funcional del arrecife.

La ausencia de significancia estadística indica que la relación entre el tipo de sustrato y la abundancia de erizos responde más a procesos ecológicos graduales que a diferencias estructurales marcadas. La especie *Eucidaris thouarsii* presentó una ocurrencia limitada, por lo que su aporte al análisis fue interpretado de manera descriptiva. En conjunto, los resultados respaldan el uso del sustrato como indicador indirecto de la condición arrecifal, aunque resaltan la necesidad de incorporar variables directas de salud del arrecife en estudios futuros.

Tabla 18. Prueba de Kruskal-Wallis: Abundancia vs. Cuadrante

Cuadrante	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
1	2	5,5	20,0	0,45
2	2	4,5	19,5	0,38
3	2	4,0	19,0	0,30

4	2	3,0	18,3	0,19
5	2	2,5	17,0	0,00
6	2	1,5	12,3	-0,72
7	1	3,0	23,5	0,68
8	2	3,5	23,5	0,98
10	2	1,0	7,0	-1,51
11	1	1,0	7,0	-1,05
12	1	1,0	7,0	-1,05
13	2	3,0	22,3	0,79
14	1	3,0	23,5	0,68
15	2	2,0	17,5	0,08
16	2	2,0	15,3	-0,26
17	1	1,0	7,0	-1,05
18	2	2,0	15,3	-0,26
19	2	2,0	17,5	0,08
20	2	3,0	22,3	0,79
General	33		17,0	

Tabla 19. Prueba

Método	GL	Valor H	Valor p
No ajustado para empates	18	9,40	0,950

Ajustado para empates	18	10,19	0,925
-----------------------	----	-------	-------

3.1.7 Interpretación del tercer objetivo

El análisis de la relación entre la condición del arrecife y la abundancia de erizos se abordó a partir de la distribución espacial de *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii* a escala de cuadrantes, considerando que cada cuadrante representa una unidad espacial asociada a un tipo de sustrato y, por tanto, a una condición relativa del arrecife. La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis no evidenció diferencias estadísticamente significativas en la abundancia de erizos entre los cuadrantes evaluados ($p > 0,05$), lo que indica que las medianas de abundancia fueron estadísticamente similares en el área de estudio.

No obstante, los valores descriptivos muestran variaciones espaciales en la abundancia, con cuadrantes que presentaron medianas relativamente altas, particularmente aquellos asociados a sustratos rocosos, donde se observaron clasificaciones de medias superiores. Este patrón sugiere una mayor presión herbívora en áreas con menor complejidad estructural, coherente con el rol funcional de *D. mexicanum* como controlador de macroalgas. En contraste, varios cuadrantes vinculados a sustrato coralino presentaron medianas bajas y clasificaciones de medias inferiores, lo que podría reflejar un mayor equilibrio ecológico y una mejor condición relativa del arrecife.

La ausencia de significancia estadística puede atribuirse al reducido tamaño muestral por cuadrante y a la alta heterogeneidad espacial característica de los ecosistemas arrecifales. La escasa presencia de *E. thouarsii* limitó su análisis inferencial, por lo que su distribución fue interpretada de manera descriptiva. En conjunto, los resultados sugieren que, aunque no se detectaron

diferencias estadísticas claras, la variación espacial de la abundancia de erizos respalda el uso del tipo de sustrato como un indicador indirecto de la condición del arrecife, destacando la necesidad de incorporar variables directas de salud arrecifal en futuras investigaciones.

3.2 Discusión general

La presente investigación permitió analizar la estructura de los arrecifes coralinos estudiados a partir de la presencia, abundancia y distribución espacial de los erizos de mar *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii*, considerando el tipo de sustrato como un indicador indirecto de la condición arrecifal. En conjunto, los resultados evidencian patrones ecológicos consistentes desde un enfoque descriptivo, aunque sin respaldo estadístico inferencial concluyente, principalmente debido a limitaciones en el tamaño muestral y a la alta heterogeneidad espacial propia de los ecosistemas arrecifales.

En relación con el primer objetivo, el marcado predominio de *Diadema mexicanum* observado en el área de estudio concuerda con lo reportado en numerosos arrecifes marginales del Pacífico Oriental Tropical, donde esta especie suele constituir el componente principal de la comunidad de erizos herbívoros (Alvarado et al., 2016; Glynn et al., 2020). La mayor abundancia registrada en sustratos rocosos sugiere una afinidad ecológica por hábitats con superficies duras expuestas y la disponibilidad de micro refugios, características que favorecen tanto la alimentación como la protección contra los depredadores. Estudios previos indican que *D. mexicanum* tiene una alta plasticidad ecológica, lo que le permite colonizar ambientes con menor complejidad coralina y alta variabilidad ambiental, como los arrecifes rocosos del Pacífico ecuatoriano y Centroamericano (Rojas-Montiel et al., 2015; López-Alcívar et al., 2022).

En contraste, la baja abundancia de *Centrostephanus coronatus* y la presencia ocasional de *Eucidaris thouarsii* reflejan patrones similares a los documentados en otros sistemas arrecifales marginales, donde estas especies suelen desempeñar roles secundarios dentro de la comunidad bentónica (Ruiz-Nava et al., 2021). En particular, *E. thouarsii* ha sido descrita como una especie con hábitos más crípticos y menor movilidad, asociada a refugios específicos y con densidades naturalmente bajas en zonas continentales someras, lo que explicaría su baja representación en las muestras realizadas (Hernández et al., 2024). La ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre especies y sustratos, evidenciada por las pruebas de Kruskal-Wallis, coincide con lo reportado en estudios donde la alta heterogeneidad espacial y el tamaño muestral limitado dificultan la detección de contrastes estructurales claros, reforzando el carácter descriptivo de este tipo de análisis ecológico (Morales-Ramírez et al., 2022).

En cuanto al segundo objetivo, la distribución espacial estuvo dominada en gran medida por *Diadema mexicanum*, que concentró más del 90% de los individuos registrados. Este patrón es consistente con investigaciones realizadas en México, Costa Rica y Panamá, donde esta especie forma densas agregaciones dependiendo del sustrato y la disponibilidad de refugios, generando distribuciones espaciales claramente agregadas (Alvarado et al., 2016; Ladd et al., 2018). En el presente estudio, la mayor variabilidad observada en sustrato rocoso sugiere una respuesta directa a la heterogeneidad del microhábitat, mientras que la distribución más homogénea en sustrato coralino podría asociarse con una mayor estabilidad estructural e interacciones biológicas más equilibradas, como la competencia por el espacio y la depredación.

La exclusividad de *Eucidaris thouarsii* en sustrato rocoso y su mínima abundancia coinciden con observaciones realizadas en arrecifes del Pacífico oriental, donde esta especie presenta una distribución restringida y una baja detectabilidad en censos visuales submareales (Ruiz-Nava et al., 2021; Hernández et al., 2024). Aunque las pruebas estadísticas no mostraron diferencias significativas entre especies, sustratos o cuadrantes, los patrones descriptivos obtenidos brindan información relevante sobre la ocupación espacial de los erizos y refuerzan la importancia de interpretar estos resultados desde una perspectiva ecológica más que estrictamente estadística.

En cuanto al tercer objetivo, el uso del tipo de sustrato como variable proxy de la condición del arrecife permitió explorar la relación entre la estructura del hábitat y la abundancia de erizos herbívoros. La tendencia descriptiva hacia mayores abundancias de *Diadema mexicanum* en sustratos rocosos ha sido interpretada en otros estudios como un indicador de mayor presión herbívora en ambientes con menor complejidad estructural y menor cobertura coralina (Alvarado-Barrientos et al., 2015; Graham et al., 2020). Este patrón sugiere que *D. mexicanum* puede desempeñar un doble papel, contribuyendo al control de las macroalgas, pero también aumentando el potencial de bioerosión cuando sus densidades aumentan de manera sostenida.

Por el contrario, la menor abundancia registrada en los sustratos coralinos podría reflejar un mayor equilibrio funcional del arrecife, donde la complejidad estructural y la interacción con otros componentes biológicos regulan la densidad de herbívoros (Glynn et al., 2020; Lachnit et al., 2025). Sin embargo, la ausencia de diferencias estadísticamente significativas indica que la relación entre la estructura del arrecife y la abundancia de erizos responde a gradientes ecológicos continuos en lugar de contrastes abruptos entre los tipos de sustrato. Este resultado coincide con

lo señalado por Graham et al. (2020), la OMS enfatiza la necesidad de integrar indicadores directos de salud de los arrecifes, como la cobertura de corales vivos, la biomasa de algas y la presencia de depredadores, para una evaluación más sólida del funcionamiento de los arrecifes marginales.

3.3 RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- a. **¿Cómo varía la abundancia y distribución espacial de *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii* en relación con la complejidad estructural de los arrecifes coralinos en la zona de Surrone-Manabí, considerando factores como la cobertura coralina y la rugosidad del sustrato?**

D. mexicanum exhibió una mayor abundancia promedio en sustratos rocosos (5.86 individuos por cuadrante) en comparación con los coralinos (2.71), con una distribución agregada y heterogénea, evidenciada por altas desviaciones estándar (hasta 2.67 en rocosos). Esto indica que la rugosidad del sustrato rocoso, aunque menos complejo que el coralino, proporciona más micro refugios para agregaciones diurnas, posiblemente debido a grietas naturales que ofrecen protección contra los depredadores. En áreas con mayor cobertura coralina, como colonias de *Pavona clavus*, la distribución fue más homogénea, pero con valores máximos más bajos (hasta 4 individuos), lo que sugiere una posible limitación por competencia espacial o menor disponibilidad de algas filamentosas. Por otro lado, *E. thouarsii* presentó una abundancia mínima y constante (promedio de 1 individuo), restringida exclusivamente a sustratos rocosos, lo que apunta a una preferencia por hábitats con menor complejidad estructural, donde sus espinas gruesas y camuflaje epibiótico son más efectivos contra los depredadores. No se detectaron diferencias estadísticas significativas (prueba de Kruskal-Wallis, $p > 0.05$), pero los patrones descriptivos sugieren que la complejidad

coralina reduce la agregación de *D. mexicanum* al promover un equilibrio trófico más estable, mientras que la rugosidad de la roca favorece altas densidades locales.

b. ¿Cuál es la relación entre el tipo de sustrato, considerado como indicador de la condición del arrecife, y la abundancia de *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii* en los arrecifes coralinos estudiados?

Usando el sustrato como proxy de la condición del arrecife (coral = mayor complejidad y mejor estado; rocoso = menor complejidad y potencialmente más degradado), los resultados revelan una relación positiva entre el sustrato rocoso y la abundancia de *D. mexicanum* (68.3% de su abundancia total), lo que podría reflejar un estado arrecifal con mayor presión herbívora para controlar macroalgas en áreas simplificadas. En los sustratos coralinos, la abundancia fue menor y más estable, lo que sugiere un ecosistema en mejores condiciones donde los erizos no requieren altas densidades para mantener el equilibrio. *E. thouarsii* se asoció solo con montañas rocosas (100% de las ocurrencias), pero con baja frecuencia (2,7% del total), lo que indica nichos específicos en condiciones menos complejas. La tabla de contingencias respalda una asociación clara, dominando *D. mexicanum* el 87.2% del total en rocky, aunque sin significación estadística (Kruskal-Wallis, $p = 0.174$). Esto implica que los sustratos rocosos, como indicadores de potencial degradación, favorecen a erizos herbívoros como *D. mexicanum* para restaurar la cobertura algal, mientras que los coralinos promueven la resiliencia con abundancias moderadas.

c. ¿Cómo influye la estructura de los arrecifes coralinos en el índice de bioerosión potencial atribuido a *Diadema mexicanum* y *Eucidaris thouarsii*?

La estructura del arrecife influye directamente en el índice de bioerosión potencial a través de la densidad y el comportamiento de los erizos de mar. Si bien *D. mexicanum* es un herbívoro importante para el control de macroalgas, una alta densidad puede provocar un balance negativo de carbonatos debido a su constante raspado del sustrato (Alvarado-Barrientos et al., 2015). En Surrone, la dominancia moderada de esta especie sugiere que el arrecife aún mantiene un equilibrio funcional, similar a otros sistemas arrecifales marginales del Pacífico (Ladd et al., 2018; Lachnit et al., 2025).

4. CONCLUSIÓN

- El sistema arrecifal Surrone presenta una estructura comunitaria equinoide característica de los arrecifes continentales del Pacífico Oriental Tropical, definida por un marcado predominio de *Diadema mexicanum* y una participación marginal de *Eucidaris thouarsii*. Esta configuración evidencia un funcionamiento ecológico diferente al observado en sistemas insulares como las Galápagos, donde la presión de depredación y la estructura trófica generan ensamblajes más equilibrados. En el arrecife estudiado, *D. mexicanum* mostró una alta afinidad por los sustratos rocosos, alcanzando densidades medias que son funcionalmente críticas para el control de macroalgas y la estabilidad bentónica, lo que sugiere un estado de resiliencia activa del ecosistema. Su distribución espacial, agregada y heterogénea a escala de cuadrantes, refleja la influencia directa de la complejidad estructural del sustrato, que actúa no solo como superficie de asentamiento, sino principalmente como refugio de la depredación y factor limitante de la capacidad portante del sistema.

- La baja abundancia y distribución restringida de *Eucidaris thouarsii*, registrada exclusivamente en sustratos rocosos, sugiere una especialización de nicho y confirma su papel secundario dentro de la estructura de la comunidad arrecifal. Aunque los análisis estadísticos no mostraron diferencias significativas en la abundancia de erizos según especie, tipo de sustrato o cuadrante, este resultado se atribuye principalmente a la alta variabilidad espacial típica de los ecosistemas arrecifales y al tamaño de la muestra, más que a la ausencia de patrones ecológicos relevantes. En este sentido, el tipo de sustrato emerge como un indicador indirecto útil de la condición del arrecife, reflejando gradientes ecológicos continuos en lugar de contrastes estructurales abruptos.
- Sin embargo, la dependencia funcional casi exclusiva de *Diadema mexicanum* para la herbivoría bentónica hace que el arrecife Surrone sea un sistema potencialmente vulnerable. Los eventos de mortalidad masiva asociados a enfermedades, o alteraciones en las redes tróficas debido a la sobrepesca de depredadores, podrían desencadenar tanto la pérdida del control de algas como procesos de bioerosión excesivos, comprometiendo la estabilidad estructural del arrecife. Asimismo, cualquier reducción en la complejidad del sustrato, ya sea por bioerosión intensa o por perturbaciones físicas de origen antropogénico, disminuiría la disponibilidad de refugios, afectando la capacidad de carga de los erizos y favoreciendo estados alternativos de degradación. En conjunto, los resultados confirman que la complejidad estructural del sustrato constituye la variable maestra que regula la dinámica de los equinoides y el funcionamiento ecológico del arrecife, subyaciendo en la necesidad de preservar la integridad física del hábitat como eje central para la resiliencia de los arrecifes rocosos de la costa ecuatoriana.

5. RECOMENDACIONES

- Los resultados de este estudio muestran la necesidad de implementar estrategias de manejo y conservación orientadas a mantener la funcionalidad ecológica del arrecife Surrónes. En este sentido, es prioritario adoptar un enfoque de gestión pesquera ecosistémica que regule estrictamente la captura de peces depredadores clave de erizos de mar, como el pez ballesta (*Sufflamen spp.*) y los lábridos del género *Bodianus*, cuya presencia constituye el principal mecanismo natural de control poblacional de *D. mexicanum* y evita su proliferación excesiva y el consiguiente aumento de la bioerosión. Además, se recomienda la remoción urgente de artes de pesca fantasma detectados en la zona, particularmente redes abandonadas que generan daño físico directo al arrecife, reducen la complejidad estructural del sustrato y comprometen la capacidad de carga del sistema para erizos y peces asociados.
- Desde una perspectiva científica, es fundamental fortalecer el diseño metodológico de futuras investigaciones aumentando el tamaño muestral e implementar número de réplicas por cuadrante y tipo de sustrato, lo que mejorará el poder estadístico y obtendrá inferencias más robustas. También se recomienda incorporar indicadores directos de la salud de los arrecifes, como la cobertura de coral vivo, la rugosidad del sustrato, la presencia y biomasa de macroalgas y la diversidad bentónica, con el fin de complementar el uso del tipo de sustrato como indicador proxy y lograr una evaluación más integral del estado ecológico del arrecife. La realización de muestreos en diferentes épocas del año

también permitirá evaluar variaciones temporales en la abundancia y distribución de erizos de mar, especialmente en un contexto de alta variabilidad ambiental asociada a eventos climáticos extremos.

- También se sugiere establecer parcelas de monitoreo permanente que permitan evaluar la respuesta de las poblaciones de arrecife y *D. mexicanum* tras eventos climáticos extremos, facilitando la detección temprana de procesos de recuperación o posibles transiciones hacia estados de degradación. El análisis específico del papel funcional de *D. mexicanum* en el control de macroalgas y su relación con la resiliencia arrecifal constituye una línea prioritaria de investigación, dado su papel central en la dinámica bentónica del sistema. Finalmente, se recomienda desarrollar estudios enfocados en *Eucidaris thouarsii*, incluyendo censos nocturnos y evaluaciones de reclutamiento por placas de asentamiento, con el fin de determinar si su baja abundancia responde a limitaciones en la conectividad larvaria o a procesos de mortalidad post-asentamiento asociados a la depredación local. Estas acciones contribuirán a una comprensión más completa del funcionamiento ecológico del Arrecife Surrone y proporcionarán bases sólidas para su manejo y conservación a largo plazo

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abou Chakra, M., Lovric, M., & Stone, J. (2017). Predicting morphological disparities in sea urchin skeleton growth and form. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/133900>
- Alvarado-Barrientos, J. J. (2012). *Estado e Impacto de Diadema Mexicanum A. Agassiz, 1863 (Echinoidea) en los arrecifes coralinos del Pacifico Tropical Oriental* [Universidad Autonoma de Baja California]. <https://rediberoamericanaequinodermos.com/wp-content/uploads/2015/09/Alvarado%202012%20Diadema%20mexicanum%20bioerosion%20PTO%20UABCS%20PhD.pdf>
- Alvarado-Barrientos, J. J., Reyes-Bonilla, H., & Benítez-Villalobos, F. (2015). *Diadema mexicanum*, a key species of sea urchin in coral reefs of the Eastern Tropical Pacific: state of knowledge and future perspectives. *Revista de Biología Tropical*, 63(S2), 135-157. <https://doi.org/10.15517/rbt.v63i2.23140>
- Alvarado, JJ, Cortés, J., Guzmán, H. y Reyes-Bonilla, H. (2016). Bioerosión por el erizo de mar *Diadema mexicanum* en arrecifes de coral del Pacífico Oriental Tropical. *Marine Ecology (Berlín, Alemania)* , 37 (5), 1088–1102. <https://doi.org/10.1111/maec.12372>
- Bodnar, AG (2015). Mecanismos celulares y moleculares de la senescencia insignificante: perspectivas del erizo de mar. *Invertebrate Reproduction & Development* , 59 (sup1), 23–27. <https://doi.org/10.1080/07924259.2014.938195>
- Burn, D., Álvarez-Noriega, M. y Ferrari, R. (2025). Colapso poblacional de especies de coral clave tras un estrés térmico sin precedentes. *Tendencias en Ecología y Evolución* , 40 (12), 1164-1166. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2025.10.006>

- Cabanillas-Terán, N., Loor-Andrade, P., Rodríguez-Barreras, R., & Cortés, J. (2016). Trophic ecology of sea urchins in coral-rocky reef systems, Ecuador. *National Library of Medicine National Center for Biotechnology Information*.
- Cabrera-Rivera, E., Molina-Hernández, A., Medellín-Maldonado, F., Guendulain-García, S., Pérez-Cervantes, E., Rioja-Nieto, R., Medina-Valmaseda, A. E., & Álvarez-Filip, L. (2024). Night surveys reveal abundant populations of sea urchins with high erosive potential in Cayo Arenas, Banco de Campeche. *Ciencias Marinas*, 50(1b). <https://doi.org/10.7773/cm.y2025.3508>
- Cedeño-Posso., C., Vides-Casado., M., Rocha., V., Borrero-Pérez., G. H., F., A. P., & Alonso, & D. (2022). Benthic macrohabitat classification and *Madracis* spp. coral patch distribution in a deep-sea marine protected area of Colombia. *Frontiers in Marine Science* .
- Cobeña-López, J. F. (2024). *Caracterización de macroinvertebrados en el arrecife de Surrones-Pedernales-Manabí-Ecuador*. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión Pedernales.
- Coppard, S. E., & Campbell, A. C. (2006). Taxonomic significance of test morphology in the echinoid genera *Diadema* Gray, 1825 and *Echinothrix* Peters, 1853 (Echinodermata). *Zoosystema*, 28(1), 93-112. <https://sciencepress.mnhn.fr/sites/default/files/articles/pdf/z2006n1a6.pdf>
- Figuroa-Pico., J., Tortosa., F. S., & Carpio., & A. (2021). Natural and anthropogenic-induced stressors affecting the composition of fish communities on the rocky reefs of Ecuador. *ScienceDirect* .

- Díaz-Martínez, Julia Patricia, Benítez-Villalobos, Francisco, & López-Serrano, Antonio. (2015). Densidad, distribución espacial y tasa de mortalidad del erizo de mar *Diadema mexicanum* (Diadematoidea: Diadematidae) en dos arrecifes de Bahías de Huatulco, Oaxaca, México. *Revista de Biología Tropical*, 63 (Supl. 2), 173-182. <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v63i2.23152>
- Figueroa-Pico, J., Tortosa, FS, y Carpio, AJ (2021). Factores de estrés naturales y antropogénicos que afectan la composición de las comunidades de peces en los arrecifes rocosos de Ecuador. *Boletín de Contaminación Marina*, 164 (11/12/2018). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112018>
- Figueroa Pico, J. A., Tortosa, F. S., Quijije, M., Mero, N., Carrera-Fernández, M., & Carpio, A. J. (2025). *Cambios Espacio-Temporales En Comunidades De Equinodermos Bajo Estrés Natural Y Antropogénico En Arrecifes Rocosas Ecuatorianos*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5159610>
- Froese, R., & Pauly, D. (Eds.). (2024). *Eucidaris thouarsii*: Summary page. SeaLifeBase. www.sealifebase.org, version (04/2024). <https://www.sealifebase.org/summary/Eucidaris-thouarsii.html>
- Glynn, P. J., Glynn, P. W., Maté, J., & Riegl, B. (2020). Agent-based model of Eastern Pacific damselfish and sea urchin interactions shows increased coral reef erosion under post-ENSO conditions. *Ecological Modelling*, 423(108999), 108999. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.108999>
- Graham, N. A. J., Cinner, J. E., Norström, A. V., & Nyström, M. (2020). Coral reefs as novel ecosystems: embracing new futures. *Nature Ecology & Evolution*, 4, 559–562.

- Hernández, J. C., Alfonso, B., Guzmán-Mora, A. G., & Alvarado, J. J. (2024). Predators of the sea urchin *Diadema mexicanum* (Diadematoidea: Diadematidae) at the Eastern Tropical Pacific coral reefs. *Revista de biología tropical*, 72(S1), e59007. <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop..v72is1.59007>
- Herrera-Escalante, T., López-Pérez, R. A., & Leyte-Morales, G. E. (2005). Bioerosion caused by the sea urchin *Diadema Mexicanum* (Echinodermata: Echinoidea) at Bahías de Huatulco, Western Mexico. *Revista de Biología Tropical*, 53 Suppl 3, 263–273. <https://rediberoamericanaequinodermos.com/wp-content/uploads/2015/09/16-HERRERA-Bio.pdf>
- Hoegh-Guldberg, O., Poloczanska, E. S., Skirving, W., & Dove, S. (2017). Coral Reef Ecosystems under Climate Change and Ocean Acidification. *Frontiers in Marine Science*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00158>
- Hueytletl, P., Granja, F., Galván, V., Rodríguez, Z., & Ríos, J. (2024). *Erizo punta de lapiz*. Recuperado el 20 de 02 de 2026, de <https://enciclovida.mx/especies/130440-eucidaris-thouarsii>
- Jérémy Wicquart, David Souter, Serge Planes, Murray Logan, David Obura y Francis Staub. (2020). *Estado y tendencias de los arrecifes de coral del Pacífico Tropical Oriental*. <https://gcrmn.net/wp-content/uploads/2022/05/Chapter-10.-Status-and-trends-of-coral-reefs-of-the-Eastern-Tropical-Pacific.pdf>
- Lachnit, C., Esplandiu, E., Patterson, J., & Lirman, D. (2025). Tandem reef restoration using corals and sea urchins: Building complex habitat for herbivores. *PLoS ONE*, 20(6), Article e0325468. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0325468>

- Ladd, M. C., Shantz, A. A., Nedimyer, K., & Burkepile, D. E. (2018). Harnessing ecological processes to facilitate coral restoration. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 16(7), 387-394. <https://doi.org/10.1002/fee.1792>
- Lawrence, J. M., & Jangoux, M. (2013). Cidaroids. In J. M. Lawrence (Ed.), *Sea urchins: Biology and ecology* (3rd ed., pp. 225-242). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396491-5.00016-2>
- Lessios, H. A., Kessing, B. D., & Pearse, J. S. (2001). Population structure and speciation in tropical seas: global phylogeography of the sea urchin *Diadema*. *Evolution; International Journal of Organic Evolution*, 55(5), 955–975. <https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2001.tb00613.x>
- López-Alcivar, G. F., & Vasquez-Sanchez, L. R. (2022). *Influencia de la contaminación de los asentamientos humanos sobre los arrecifes de coral en la costa continental de Ecuador* [Universidad Estatal Del Sur De Manabí]. <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/4865/1/L%c3%93PEZ%20ALCIVAR%20GINA%20FERNANDA-%20VASQUEZ%20SANCHEZ%20LUIS%20RICARDO.pdf>
- López-Pérez., A., & López-López, & D. (2016). Bioerosive impact of *Diadema mexicanum* on southern Mexican Pacific coral reefs . *Ciencias Marinas* .
- Marcillo, M. R. R. (2022). *Análisis espacial comparativo de la población de erizos de mar *echinometra vanbrunti* asociados al intermareal rocoso de San Lorenzo— Santa Elena, Ecuador, entre los periodos de diciembre, 2019 – enero, 2020 y junio - julio 2022* [Universidad Estatal Península De Santa Elena].

<https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/afff6778-9e3d-4830-b6ae-7cf792def14b/content>

Mera-Burgos, J. E. (2024). *Identificación de especies de corales hermatípicos (Hexacoralaria) en el arrecife Surrone cantón Pedernales, 2024*. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Morales-Ramírez, Á., Cortés, J., & Alvarado, J. J. (2022). Coral patch reefs: ecological importance, threats, and conservation perspectives. *Frontiers in Marine Science*, 9, 1–14.

Najeeb, S. (2025). Drivers and consequences of degradation in tropical reef island ecosystems: strategies for restoration and conservation. *Frontiers in Marine Science*.

Nisbet, R., Miner, G., & Ken, Y. (2018). Gráfica de probabilidad normal. En *Manual de análisis estadístico y aplicaciones de minería de datos* (2da edición ed.). Recuperado el 20 de 02 de 2026, de <https://www.sciencedirect.com/topics/mathematics/normal-probability-plot#:~:text=Un%20gr%C3%A1fico%20de%20probabilidad%20normal,si%20la%20distribuci%C3%B3n%20es%20normal>.

NOAA. (15 de 04 de 2024). *National Oceanic and Atmospheric Administration*. Obtenido de National Oceanic and Atmospheric Administration: <https://www.noaa.gov/news-release/noaa-confirms-4th-global-coral-bleaching-event>

Ochoa-Serena, A., Tortolero-Langarica, J. J. A., Rodríguez-Zaragoza, F. A., Carricart-Ganivet, J. P., Clua, E., & Rodríguez-Troncoso, A. P. (2025). Growth patterns of reef-building Porites species in the remote Clipperton Atoll reef. *Diversity*, 17(7), 492. <https://doi.org/10.3390/d17070492>

Ortega, C. (2026). Prueba de Kruskal-Wallis: Qué es, ventajas y cómo se realiza. Recuperado el 20 de 02 de 2026, de <https://www.questionpro.com/blog/es/prueba-de-kruskal-wallis/>

- Petsios, E., Fuchs, C. E., Kowalewski, M., Larson, P., Portell, R. W., & Tyler, C. L. (2025). Quaternary intensification of spine epibiosis in the cidaroid echinoid *Eucidaris*: implications for anthropogenic impacts. *Frontiers in Marine Science*, *12*.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1513138>
- Pitchford., J. (2025). Huge sea-urchin populations are overwhelming Hawaii's coral reefs. *Science Daily*.
- Rivas., N., Gómez., C. E., Millán., S., Mejía-Quintero., K., & Chasqui., & L. (2023). Coral reef degradation at an atoll of the Western Colombian Caribbean. *National Library of Medicine National Center for Biotechnology Information* .
- Rojas-Montiel, B., & Benítez-Villalobos, F. (2015). Ecología poblacional de *Diadema mexicanum* (Echinodermata: Echinoidea) en dos comunidades arrecifales de bahías de Huatulco, Oaxaca, México. *Revista mexicana de biodiversidad* , *86* (1), 123–130.
<https://doi.org/10.7550/rmb.42918>
- Ruiz-Nava, M.-P., Conejeros-Vargas, C.-A., & Solís-Marín, F.-A. (2021). Redescription of the sea urchin *Eucidaris thouarsii* (Cidaroida: Cidaridae) based on material from the Mexican Pacific. *Revista de biología tropical*, *69*(Suppl.1), S438–S451.
<https://doi.org/10.15517/rbt.v69isuppl.1.46383>
- Silva, N. B. P. (2016). *Características de crecimiento del coral Pavona clavus (Dana, 1848) y el efecto de la temperatura del mar superficial en su tasa de calcificación, en la Isla de la Plata, Ecuador* [Benemérita Universidad Autónoma De Puebla].
<https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/689629ff-841e-456f-a5a4-e0f48ebcf5a8/content>

Trasviña, AAÁ. (2018). *DIETA DE Eucidaris thingarsii (ECHINODERMATA: ECHINOIDEA) EN SANTA ROSALÍA, BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO* [Universidad Autónoma De Baja California Sur]. <https://biblio.uabcs.mx/tesis/te4004.pdf>

7. ANEXOS

Anexos 1. Población de *Diadema_mexicanum* y *Eucidaris_thouarsii*

Cuadrante	Sustrato	Especie	Abundancia
1	Rocoso	<i>Diadema_mexicanum</i>	10
2	Rocoso	<i>Diadema_mexicanum</i>	8
3	Rocoso	<i>Diadema_mexicanum</i>	7
4	Rocoso	<i>Diadema_mexicanum</i>	5
5	Rocoso	<i>Diadema_mexicanum</i>	4
6	Rocoso	<i>Diadema_mexicanum</i>	2
8	Rocoso	<i>Diadema_mexicanum</i>	5
10	Coral	<i>Diadema_mexicanum</i>	1
13	Coral	<i>Diadema_mexicanum</i>	4
15	Coral	<i>Diadema_mexicanum</i>	2
16	Coral	<i>Diadema_mexicanum</i>	3

18	Coral	<i>Diadema_mexicanum</i>	3
19	Coral	<i>Diadema_mexicanum</i>	2
20	Coral	<i>Diadema_mexicanum</i>	4
1	Rocoso	<i>Diadema_mexicanum</i>	1
4	Rocoso	<i>Diadema_mexicanum</i>	1
5	Rocoso	<i>Diadema_mexicanum</i>	1
6	Rocoso	<i>Diadema_mexicanum</i>	1
7	Rocoso	<i>Diadema_mexicanum</i>	3
8	Rocoso	<i>Diadema_mexicanum</i>	2
10	Coral	<i>Diadema_mexicanum</i>	1
11	Coral	<i>Diadema_mexicanum</i>	1
12	Coral	<i>Diadema_mexicanum</i>	1
13	Coral	<i>Diadema_mexicanum</i>	2
14	Coral	<i>Diadema_mexicanum</i>	3
15	Coral	<i>Diadema_mexicanum</i>	2
16	Coral	<i>Diadema_mexicanum</i>	1
17	Coral	<i>Diadema_mexicanum</i>	1

18	Coral	<i>Diadema_mexicanum</i>	1
19	Coral	<i>Diadema_mexicanum</i>	2
20	Coral	<i>Diadema_mexicanum</i>	2
2	Rocoso	<i>Eucidaris_thouarsii</i>	1
3	Rocoso	<i>Eucidaris_thouarsii</i>	1

Nota. Tabla elaborada por autor, después de la respectiva toma de datos en campo.

Anexos 2. Toma de datos en campo



Anexos 3. Especies encontradas en zona de muestreo

