



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR  
CARRERA DE BIOLOGÍA MARINA

**Título de Tesis:**

“Distribución y estructura comunitaria de corales en la Reserva  
Marina Galera San Francisco, Esmeraldas – Ecuador”.

*Trabajo práctico previo a la obtención del título de:*  
**BIÓLOGO MARINO**

**Discente autor:**

Padilla Márquez, Sandy Mikaela.

**Docente tutor:**

Blga. Darquea Arteaga, Jodie Jessica, M.Sc.

2024

UNIVERSIDAD ESTATAL  
PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR

CARRERA DE BIOLOGÍA MARINA

TÍTULO DE TESIS

**“Distribución y estructura comunitaria de corales  
en la Reserva Marina Galera San Francisco,  
Esmeraldas – Ecuador”.**

*Trabajo práctico previo a la obtención del título de:*  
**BIÓLOGO MARINO**

Discente autor:  
Padilla Márquez, Sandy Mikaela.

Docente tutor:  
Blga. Darquea Arteaga, Jodie Jessica M.Sc.

2024

UPSE

## AGRADECIMIENTOS

*Inmensamente seguiré en deuda con mi Dios por motivarme, mostrándome que la esperanza que le he depositado es lo único infalible, y cito “Deléitate a ti mismo en Dios y te concederá las peticiones de tu corazón” (Salmos 37:4 RVC, 1960). Además, por enlazarme con personas maravillosas que han conferido especial valor a cada etapa formativa, innovando aprendizajes y canalizando esfuerzos.*

*También seguiré en deuda con todos mis familiares, parientes, amigos y conocidos que han sido excepcionales conmigo y siempre me han bendecido. En especial, a quienes me acompañaron en mis travesías universitarias, demostrándome virtudes como la comprensión, abnegación, sabiduría, paciencia, entereza y cientos más. Mis amados sin ustedes esto no habría sido posible, ni siquiera imaginable.*

*Mediante este trabajo, reitero mi profunda gratitud hacia la comunidad universitaria, en especial, a quienes tuve la dicha de tratar directamente y que, en adición, me impartieron enseñanzas de vida. Para ustedes, el admirable personal; administrativo, sanitario, técnico, médico, docente, y mis catedráticos, tutoras y guías discentes de la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, mil gracias por enriquecer mi intelecto y contribuir a mi educación superior.*

*Afortunadamente recibí asistencia oportuna de las comunidades en: Atacames, Galera, Cabo San Francisco, Muisne, Tachina, y Tongorachi, durante la fase de monitoreo para esta investigación, aún en condiciones climáticas extremadamente hostiles. Así mismo, recibí espacios de estudio, instrumentación especializada y asesoramiento tecnológico de Rebolledo Monsalve Eduardo PhD; catedrático de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, por lo que les estoy sumamente agradecida.*

*Para concluir, aprovecho esta ocasión para extender mis mejores agradecimientos al actual personal del Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica Zonal No. 2, quien más quien menos, posibilitó el desarrollo de esta tesis en la primera media milla náutica, a lo largo de la Reserva Marina Galera San Francisco, Muisne – Ecuador.*

*“La gratitud es la menor de las virtudes, pero la ingratitud es el peor de los vicios” (Thomas Fuller).*

## **DEDICATORIA**

*En principio, esta investigación se pone a disposición de las futuras generaciones de discentes y próximos colegas míos, de quienes la atención será cautivada por la diversidad biológica de los ambientes marinos.*

*También, a través de esta tesis dedico los frutos de mis estudios a los investigadores de todo nivel y toda disciplina, quienes, gozando de amor y talento, hallarán soluciones ante desafíos globales, incentivando así, a que todos hagamos ciencia por un bien común.*

*De igual manera, las memorias de esta investigación se destinan a todas las personas que, alentadas de modo indirecto, decidirán explorar y disfrutar las maravillas de los sistemas coralinos, en especial, los que se han mostrado en el presente trabajo escrito.*

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

*Declaro que, el contenido del presente trabajo escrito goza de originalidad, autenticidad, y solo incorpora las fuentes de información necesarias y debidamente citadas. También, este trabajo práctico de fin de grado está sujeto a privilegios profesionales de mi autoría, propiedad intelectual y derechos afines, incluyendo la responsabilidad académica y legal de la Universidad Estatal Península De Santa Elena. Por lo que, cualquier información que se utilice a partir de este documento, deberá citarse como: Padilla-Márquez, Mikaela. (2024). Distribución y estructura comunitaria de corales en la reserva marina Galera San Francisco, Muisne - Ecuador. Tesis de grado. Universidad Estatal Península De Santa Elena, Ecuador. 80 PP.*

---

***Padilla Márquez Sandy Mikaela***

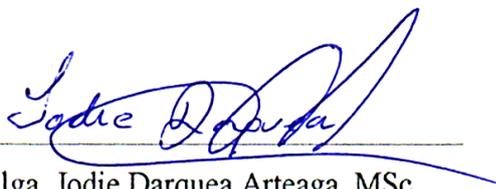
**DISCENTE EGRESADO AUTOR**

**C.I.: 1750102707**

## DECLARACIÓN DE DOCENTE TUTOR

En mi calidad de Docente Tutor del Trabajo de Titulación, "*Distribución y estructura comunitaria de corales en la Reserva Marina Galera San Francisco, Esmeraldas – Ecuador*", elaborado por Padilla Márquez Sandy Mikaela, estudiante de la Carrera de Biología Marina, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Bióloga marina, me permito declarar que luego de haber dirigido su desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por la cual, apruebo en todas sus partes, encontrándose apto para la evaluación del docente especialista.

Atentamente



Blga. Jodie Darquea Arteaga, MSc.

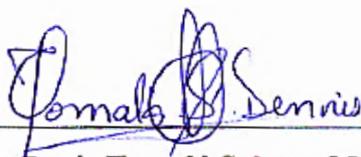
**DOCENTE TUTOR**

**C.I. 0918674359**

## DECLARACIÓN DE DOCENTE ESPECIALISTA

En mi calidad de Docente Especialista, del Trabajo Práctico de Tesis titulado: *“Distribución y estructura comunitaria de corales en la Reserva Marina Galera San Francisco, Esmeraldas – Ecuador”*, elaborado por la Srta. Padilla Márquez Sandy Mikaela de la Carrera de Biología Marina de la Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Biólogo Marino, me permito declarar que luego de haber evaluado el desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por la cual, declaro que se encuentra apto para la sustentación.

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, reading "Denis Tomalá Solano", written over a horizontal line.

**Blga. Denis Tomalá Solano, M.Sc.**

**DOCENTE ESPECIALISTA**

**C.I.: 0922584982**

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Blgo. Richard Duque Marín, Mgt.  
Decano Facultad Ciencias del Mar (e)



Ing. Jimmy Villón Moreno, M.Sc.  
Director de Carrera (e)



Blga. Jodie Darquea Arteaga, M.Sc.  
Docente tutor



Blga. Denis Tomalá Solano, M.Sc.  
Docente especialista



Lic. Roca Silvestre Pascual, M.Sc.  
Procurador General Secretario (e)

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

TÍTULO DE TESIS.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
DEDICATORIA.....	III
DECLARACIÓN EXPRESA DE AUTORÍA.....	IV
DECLARACIÓN DE DOCENTE TUTOR .....	V
DECLARACIÓN DE DOCENTE ESPECIALISTA .....	VI
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN.....	VII
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
GLOSARIO.....	XIII
ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS.....	XIX
RESUMEN .....	1
SUMMARY.....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. JUSTIFICACIÓN .....	6
3. OBJETIVOS.....	7
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	7
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
4. HIPÓTESIS .....	8
4.1. HIPÓTESIS DE TRABAJO ( $H_1$ ):.....	8
4.2. HIPÓTESIS NULA ( $H_0$ ): .....	8
5. MARCO TEÓRICO .....	9

5.1.	ANATOMÍA DE LOS CORALES.....	9
5.2.	CATEGORIZACIONES TAXONÓMICAS PARA LOS CORALES.....	10
5.3.	DIFERENCIAS ENTRE HEXACORALLIA Y OCTOCORALLIA .....	12
5.4.	RELEVANCIA ECOLÓGICA Y TEÓRICA DE LOS CORALES.....	14
5.5.	PRINCIPALES FACTORES QUE DISMINUYEN LAS POBLACIONES DE CORAL.....	16
5.6.	MONITOREO DE CORALES .....	19
5.7.	MEDIDAS INTERNACIONALES DE CONSERVACIÓN DE COMUNIDADES CORALINAS.....	19
5.8.	PROTECCIÓN LEGAL DE LOS CORALES EN ECUADOR.....	20
6.	MARCO METODOLÓGICO .....	21
6.1.	REQUERIMIENTOS DE ACCESO .....	21
6.2.	ÁREA GEOGRÁFICA DE ESTUDIO .....	21
6.3.	MONITOREO Y CENSO SUBMAREAL.....	22
6.4.	ABUNDANCIA RELATIVA Y DIVERSIDAD .....	25
6.5.	COBERTURA Y MORFOLOGÍA DE LOS CORALES.....	26
6.6.	ESTADO DE LA COLONIA (BLANQUEAMIENTO).....	28
7.	RESULTADOS .....	29
7.1.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	29
7.1.1.	CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DE CORAL.....	29
7.1.2.	ABUNDANCIA RELATIVA Y DIVERSIDAD DE CORALES .....	29
7.1.3.	COBERTURA Y MACROMORFOLOGÍA DE CORALES .....	33
7.1.4.	ESTADO DE LAS COLONIAS (BLANQUEAMIENTO).....	38
7.2.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	39
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	45

8.1.	CONCLUSIONES .....	45
8.2.	RECOMENDACIONES.....	46
9.	MARCO REFERENCIAL.....	47
9.1.	BIBLIOGRAFÍAS .....	47
10.	ANEXOS.....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Esquema general de estructura interna de pólipos de hexacoral.</i> .....	9
Figura 2. <i>Anatomía interna y externa de pólipo de un coral.</i> .....	10
Figura 3. <i>Anatomía interna y externa de pólipo de un hexacoral.</i> .....	12
Figura 4. <i>Georreferenciación para monitoreo de los sitios submareales en RMGSF.</i> ..	22
Figura 5. <i>Diseño de monitoreo de sitios con comunidades coralinas.</i> .....	23
Figura 6. <i>Esquema del método de contabilización de cobertura coralina.</i> .....	27
Figura 7. <i>Ejemplo de medición de una colonia.</i> .....	27
Figura 8. <i>Abundancia relativa de corales por familia.</i> .....	30
Figura 9. <i>Presencia de familias de corales por sitio.</i> .....	31
Figura 10. <i>Valores de los índices biológicos.</i> .....	32
Figura 11. <i>Porcentaje de cobertura general de corales por sitio monitoreado.</i> .....	33
Figura 12. <i>Ejemplares de formas coloniales coralinas en la RMGSF.</i> .....	37
Figura 13. <i>Porcentaje de blanqueamiento en corales por familia.</i> .....	39
Figura 14. <i>Ejemplos de equipos electrónicos utilizados en la fase de monitoreo.</i> .....	57
Figura 15. <i>Ejemplares de fauna marina adyacente a los sitios.</i> .....	58
Figura 16. <i>Algunos ejemplares de corales, representados hasta el nivel de género.</i> .....	59

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Geo-referenciación de coordenadas en formato UTM.</i> .....	21
Tabla 2. <i>Caracterización de los corales en seis sitios monitoreados en la RMGSF.</i> .....	24
Tabla 3. <i>Descripción de abundancia relativa e índices biológicos de diversidad alfa.</i> .	25
Tabla 4. <i>Categorizaciones de blanqueamiento en corales.</i> .....	28
Tabla 5. <i>Porcentaje de cobertura de corales en la RMGSF.</i> .....	34
Tabla 6. <i>Diferencias entre corales de la RMGSF.</i> .....	36
Tabla 7. <i>Plantilla del registro de datos.</i> .....	57

## **GLOSARIO**

- Ahermatípico:** es un adjetivo para la incapacidad de construir arrecifes coralinos.
- Abismal:** es un área geográfica que tiene características de abismo.
- Acción sinérgica:** es la interacción de dos o más factores que estando combinados ocasionan efectos mayores que cuando se observan por separado en un ambiente determinado.
- Aguas someras:** son aquellas donde la profundidad es inferior a 30m y también son denominadas aguas superficiales.
- Anamastosado:** es un adjetivo que indica un entrelazamiento entre estructuras tubulares a modo de red.
- Anatómico:** es un adjetivo que se relaciona a la anatomía, la cual, estudia la estructura de una planta o de un animal.
- Anóxico:** es la condición de un ambiente donde el oxígeno libre respirable es escaso o insuficiente.
- Antocodio:** es la región superior de los pólipos.
- Anthozoa:** es una clase cnidarios polipoides en los que la fase medusoide está ausente por completo, son sésiles, suelen ser coloniales y son todos marinos.
- Arpón:** es un instrumento que se compone de un astil de madera armado por uno de sus extremos con una punta de hierro que sirve para herir o penetrar, y de otras dos que miran hacia el astil y hacen presa.

- Batimetría:** es el análisis de las profundidades marinas.
- Célula urticante:** es una célula especializada que contiene en su protoplasma una cápsula esférica o piriforme, el nematocisto, cargado con veneno o congestina, lo cual, provoca picazón o comezón.
- Cenénquima:** es el tejido blando de cualquier organismo vivo.
- Cnidarios:** son animales con cnidocistos, generalmente son: pólipo o medusa.
- Cnidocisto:** son células urticantes que se encuentran en los tentáculos de los Cnidarios, que sirven para la captura de presas, defensa, locomoción, acoplamiento y contienen a los nematocistos.
- Coenosarco:** es una capa que conecta a todos los pólipos y que también alberga zooxantelas.
- Diblástico:** es el animal que termina su desarrollo embrionario en la fase de gástrula, con dos hojas embrionarias, una externa llamada ectodermo y otra interna llamada endodermo. Los cnidarios y ctenóforos realizan este proceso.
- Ecomorfo:** son los rasgos morfológicos asociados a aspectos ecológicos.
- Ectodermo:** es una membrana externa que se crea en la gastrulación durante el desarrollo de un embrión, que junto a las otras dos membranas (mesodermo y endodermo) son capaces de formar tejidos, órganos, estructuras del sistema nervioso, entre otras regiones que son importantes para completar la fase adulta de un organismo.
- Esclerito:** es un elemento esquelético calcáreo compuesto por carbonato de calcio cristalizado en forma de aragonito, que es visible a nivel microscópico y también es denominado espícula.

- Escorrentía:** es el escurrimiento del agua lluvia por la red de drenaje o por pendientes naturales hasta llegar a la red fluvial o directamente al mar.
- Epifaunal:** se refiere a la fauna o conjunto de organismos que viven sobre el sedimento en el medio acuático.
- Espuelas:** son huecos arenosos con salientes en el frente arrecifal.
- Estándar:** es un adjetivo que indica que un valor o rango es referencial.
- Fotosíntesis:** es un proceso de organismos vegetales unicelulares y multicelulares, con el que se transforma la energía lumínica del sol en energía química aprovechada como alimento.
- Gastrodermis:** es la capa interna del animal, que forma la única gran cavidad gastrovascular, que se comunica por un solo orificio con el exterior y que se usa para la alimentación, la excreción y la liberación de gametos.
- Gonocorismo:** es el tipo de reproducción sexuada en la que los organismos simplemente poseen un solo aparato reproductor, y para que se dé una reproducción se necesitaran dos organismos con diferente aparato reproductor.
- Interstitial:** tiene dos contextos ecológicos; por un lado, se refiere a los resquicios y huecos naturales del suelo submarino que delimitan el hábitat endobentónico de los ecosistemas acuáticos y cuyos habitantes ocupan y, por otro lado, se refiere a los líquidos que se encuentran en los espacios que rodean las células de un organismo.
- Mesenterios:** son láminas de tejido que se extienden desde la pared de la columna.

- Mesoglea:** es una sustancia de consistencia gelatinosa que recorre el ectodermo y el endodermo, ubicándose entre ambos.
- Metabólico:** alude al metabolismo de un organismo, donde ocurren cambios químicos que generan energía y otros productos básicos para procesos vitales.
- Metazoo:** es un organismo animal del que el cuerpo está formado por varias células diferenciadas.
- Mitigación:** es un proceso que engloba medidas para minimizar el impacto destructivo y perturbador de un desastre o siniestro ambiental.
- Mixotrófico:** se refiere a un organismo que es capaz de obtener energía a través de la fotosíntesis y de fuentes externas.
- Nematocisto:** se ubica en la dermis de los tentáculos de los corales, corresponde a una parte de las células cnidocitas, tiene forma de cápsula, en el nematocisto se almacena el veneno que se expulsa al exterior a través de filamentos.
- Oligotrófico:** se refiere a un ambiente que presenta niveles muy bajos de nutrientes.
- Patógeno:** es un virus o microorganismo que tiene la capacidad de insertarse dentro del cuerpo o células de metazoos y que tiene la capacidad de enfermarle.
- Plánula:** es la larva de un organismo marino o acuático.
- Pínnula:** es el equivalente al foliolulo de las hojas compuestas de las plantas superiores.

- Pólipo de coral:** es un organismo animal marino pequeño que puede vivir individualmente o en colonias.
- Resiliencia:** es la capacidad de mantener las funciones y procesos clave frente a tensiones o presiones, con resistencia y adaptación al cambio.
- Sedimentos:** son un conjunto de partículas depositadas en el fondo de una masa de agua.
- Semoviente:** es un tabique interno que divide de modo completo o parcial una cavidad o partes del cuerpo de un animal.
- Sésil:** es el organismo vivo que tiene la capacidad de movilizarse por sí mismo.
- Septo:** es el órgano u organismo que completa el desarrollo fisiológico, mientras, está siempre adherido, agarrado o arraigado a un sustrato.
- Simbiosis:** es la asociación de interacción entre dos o más individuos de distintas especies, en la que todos resultan únicamente beneficiados.
- Sifonoglifo:** es el surco con cilios que provoca la circulación del agua dentro de un organismo.
- Solenios:** son finos canalículos gastrodérmicos en los pólipos de coral.
- Somero:** es el adjetivo calificativo que indica poca profundidad, y es sinónimo de superficial.

- Sustrato: es todo material sólido distinto del suelo “*in situ*”, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que permite el anclaje de un organismo, desempeñando, por tanto, el papel de soporte.
- Talúd: es la zona bentónica topográfica submarina que se ubica entre los 200 a 4000 metros de profundidad.
- Transecto: es una línea real o imaginaria útil para hacer observaciones y recopilación de datos en estudios exploratorios.
- Teca: es una cubierta que sirve de protección a un organismo o a un grupo celular, tanto vegetal como animal.
- Zooxantelas: son microalgas unicelulares fotosintéticas que suelen vivir en simbiosis con otros organismos.
- Zooxanthellae: generalmente del género *Symbiodinium*, son microorganismos que viven en simbiosis con algunos animales marinos y protistas.
- Zoántido: es un tipo de coral representado por el género *Zoanthus*.

## ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

ACC:	Análisis de Correlación Canónica.
AGRRA:	Programa de Evaluación Rápida de Arrecifes del Atlántico y Golfo.
AIDA:	Asociación Interamericana de Defensa Ambiental.
ARAP:	Autoridad de los Recursos Acuáticos de Panamá.
CARICOMP:	Caribbean Coastal Marine Productivity.
CBEMN:	Community Based Environmental Monitoring Network.
Ds:	Índice de diversidad alfa; Dominancia de Simpson.
H':	Índice de diversidad alfa; Equidad de Shannon-Wiener.
H' máx:	Entropía máxima.
INVEMAR:	Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés.
J':	Índice de diversidad alfa; Equidad de Pielou.
Log <sub>2</sub> :	Logaritmo de base 2.
MAATE:	Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica.
NaGISA:	Natural Geography In Near Shore Areas.

ni:	Número de organismos en un sistema. También indica el número de organismos de cada taxón.
N:	Número total de organismos de todos los taxa. También suele ser representarse como NT.
NSMCMM:	Nova Scotia Marine Community Monitoring Manual.
NT:	Número total de organismos.
OPT:	Océano Pacífico Tropical.
PET:	Pacífico Este Tropical o POT: Pacífico Oriental Tropical.
pi:	Proporción de organismos en un sitio. También indica la proporción de una especie respecto al total de especies.
PNM:	Parque Nacional Machalilla.
PUCESE:	Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Esmeraldas.
RMGSF:	Reserva Marina Galera San Francisco.
SAM:	Sistema Arrecifal Mesoamericano.
SIMAC:	Sistema de Monitoreo de Arrecifes Coralinos.
S:	Número de taxa. También es un índice de máxima Equidad y cuando genera valores cercanos a 1 mayor es la Equidad.
UICN:	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.
$\Sigma$ :	Símbolo de sumatoria total.

## RESUMEN

En el estudio de los servicios ecosistémicos marinos, los sistemas arrecifales juegan un papel crucial para el desarrollo humano y ambiental. Esta investigación analizó los corales de seis sitios submareales en la Reserva Marina Galera San Francisco, con el objetivo de evaluar la diversidad, estructura morfológica y blanqueamiento de las comunidades coralinas en la primera milla náutica, para así, promover estrategias de conservación y monitoreo de los parches de coral en la costa ecuatoriana. De modo que, se estudió la cobertura y morfología de colonias de corales en sitios denominados como: Galera, Punta Tortuga, Galerita, Caimito, Quingue y Cabo San Francisco, designando representantes taxonómicos hasta el nivel genérico, registrando signos de un blanqueamiento potencial y evaluando la abundancia, diversidad y dominancia entre corales desde febrero hasta septiembre de 2023. Los resultados indicaron que, en Galerita, Caimito, Quingue y Cabo San Francisco, Pocillopora fue el género más abundante y frecuente, acumulando el 45% de las abundancias totales, seguido por Leptogorgia (24,4%), y finalmente, por Tubastrea (1,3%) que fue el género menos abundante. En Galerita, los corales de Pocillopora también mostraron susceptibilidad al blanqueamiento, y así mismo, presentaron hasta un 10% de pérdida de la coloración. En este sentido, los índices de diversidad alfa revelaron que todos los sitios monitoreados no presentan equitatividad; de los que Quingue presentó el valor más alto de Shannon – Weaver de 1,49 bits, y Cabo San Francisco obtuvo el mayor índice de Simpson de 0,56 bits, indicando así, la presencia dominante de Antipathes. Mientras que, los valores más bajos de Shannon – Weaver se registraron por la presencia del género Leptogorgia en Galera y Punta Tortuga; sitios caracterizados por fondos mayoritariamente arenosos. En síntesis, este estudio presenta los géneros más dominantes y los más susceptibles de la comunidad de corales en la RMGSF, y también indica la relación entre los fondos rocosos con la diversidad y abundancia de corales.

### **Palabras clave:**

Corales, blanqueamiento, estructura, comunidad, abundancia, distribución, Esmeraldas.

## SUMMARY

In the study of marine ecosystem services, reef systems play a crucial role for human and environmental development. This research analyzed the corals of six subtidal sites in the Galera San Francisco Marine Reserve, with the objective of evaluating the diversity, morphological structure and bleaching of coral communities in the first nautical mile, in order to promote conservation strategies and monitoring of coral patches on the Ecuadorian coast. Thus, we studied the coverage and morphology of coral colonies in sites called: Galera, Punta Tortuga, Galerita, Caimito, Quingue and Cabo San Francisco, designating taxonomic representatives up to the generic level, registering signs of potential bleaching and evaluating the abundance, diversity and dominance among corals from February to September 2023. The results indicated that, in Galerita, Caimito, Quingue and Cabo San Francisco, Pocillopora was the most abundant and frequent genus, accumulating 45% of the total abundances, followed by Leptogorgia (24.4%), and finally, by Tubastrea (1.3%) which was the least abundant genus. In Galerita, Pocillopora corals also showed susceptibility to bleaching, with up to 10% loss of coloration. In this sense, the alpha diversity indices revealed that all the monitored sites did not present equitability; of which Quingue presented the highest Shannon-Weaver value of 1.49 bits, and Cabo San Francisco obtained the highest Simpson index of 0.56 bits, thus indicating the dominant presence of Antipathes. Meanwhile, the lowest Shannon-Weaver values were recorded for the presence of the genus Leptogorgia in Galera and Punta Tortuga; sites characterized by mostly sandy bottoms. In summary, this study presents the most dominant and most susceptible genera of the coral community in the RMGSF, and also indicates the relationship between rocky bottoms and coral diversity and abundance.

### **Keywords:**

Corals, bleaching, structure, community, abundance, distribution, Esmeraldas.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los corales son invertebrados marinos sésiles pertenecientes al grupo de los Cnidarios, adaptados a la vida acuática (Alicea et al., 2023). Generalmente habitan en aguas cálidas, poco profundas (menores a 100 m) y transparentes, donde necesitan luz solar para sustentar a las algas simbióticas que realizan fotosíntesis y proporcionan nutrientes a los corales (Weis, 2019). En los ambientes marinos, los corales se clasifican principalmente en dos tipos: los corales pétreos, pertenecientes al orden Scleractinia, que construyen las bases de los arrecifes, generando exoesqueletos calcáreos mediante la secreción de carbonato de Calcio (Tortolero-Langarica et al., 2022), y los corales blandos, que no construyen estructuras externas sólidas, sino que mantienen un endoesqueleto, y a menudo, presentan formas ramificadas y columnares (Kayal & Adjeroud, 2022).

Los corales forman colonias que pueden adquirir diversas formas, como: globo, platillo, ramillete, montículo, arbusto, abanico, ramificación o incrustación, distribuyéndose generalmente sobre formaciones rocosas irregulares (Alicea et al., 2023; Analuddin et al., 2023). En este sentido, la distribución y forma de las colonias están influenciadas por: el tipo de coral, la etapa de desarrollo de cada arrecife, factores meteorológicos y oceánicos, que crean diferentes hábitats para los corales (Davis, 2009). La luz solar y la profundidad también contribuyen a la distribución vertical de los corales (Andayani et al., 2023; Hasan et al., 2023; Li & Wu, 2023). Además, estudios como los de Soler (2016) y Mitchell et al. (2024), reportan una distribución considerable de corales en aguas más profundas, generalmente, a partir de los 50 m de profundidad en adelante, donde forman hábitats importantes para una variedad de organismos en ecosistemas de zonas neríticas (Wagner et al., 2020). En síntesis, los corales se distribuyen en la mayoría de los ambientes marinos, tanto en aguas superficiales como profundas, adoptando múltiples formas coloniales.

En el caso de los corales formadores de arrecifes de aguas poco profundas, la relación simbiótica con algas dinoflageladas fotosintéticas, llamadas zooxantelas (Hein et al., 2021); se basa en un intercambio favorable de energía. Las zooxantelas proporcionan nutrientes como la glucosa (producto fotosintético) a los corales, acelerando así, la creación de carbonato de Calcio, mientras que, cada pólipo de coral provee de nitratos y

fósforo a las zooxantelas para que realicen la fotosíntesis (Islas-Flores & Morales-Ruiz, 2021; Stanway, 2023), contribuyendo así, a la productividad primaria de los océanos (Souter et al., 2020).

En el Pacífico Este Tropical (PET), donde los ecosistemas coralinos presentan una diversidad más modesta que los del Indo-Pacífico y el Caribe, los corales se distribuyen en profundidades reducidas y generalmente, de escasa extensión. Sin embargo, son comunidades coralinas son altamente singulares (Laborda, 2018). En estos sitios se encuentran Hexacorales (corales duros) y Octocorales (corales blandos), que se diferencian, principalmente, por la cantidad de cavidades gastrovasculares, septos y tentáculos (Daly et al., 2003). Entre ellos, resaltan los hexacorales de las familias *Myriopathidae* y *Antipathidae*; de consistencia rígida y colorida (Soler-Hurtado, 2016). De igual manera, destacan los Octocorales de la familia *Gorgoniidae*; de textura blanda y aspecto ramificado (Abad et al., 2022; Breedy & Cortés, 2015).

Mundialmente las comunidades de coral han reflejado un acelerado descenso durante las últimas décadas, tanto de cobertura coralina como de diversidad (Ngoile, 2022), ello debido a, la acción combinada de factores ambientales y antropogénicos que derivan en la degradación de los hábitats de los corales y la pérdida de diversidad coralina (Palma-Sánchez, 2021; Riegl et al., 2019). Este declive es evidente con el blanqueamiento y bajas cantidades de colonias de coral (McLaren, 2011). En esta dirección, Ecuador atenúa las amenazas contra los corales instaurando protecciones jurídicas mediante el Código Orgánico de Ambiente (MAATE, 2017), y también con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (MAATE, 1976), que en el perfil costero, ha declarado varias áreas protegidas marinas para la conservación de ecosistemas acuáticos; como la Reserva Marina Galera San Francisco, creada desde 2008 al noroeste de la provincia de Esmeraldas, que cuenta con 119,9 hectáreas terrestres, 54604 hectáreas marinas y se extiende 10 millas náuticas desde la línea de costa (MAATE, 2019). Esta área protegida se caracteriza básicamente por presentar vegetación de: bosque siempre verde, estuarios, manglares, pendientes (de: arena, limo y roca), invertebrados intermareales, macrofauna marina y comunidades coralinas de parches rocosos profundos y emergentes (MAATE, 2019).

En el contexto de conservación, se han reportado más de sesenta familias de corales en Ecuador, incluyendo a: Acroporidae, Agariicidae, Gorgoniidae, Poritidae, Pocilloporidae, entre otros (Glynn, 2003; Rivera & Martínez, 2011), principalmente, en el Parque Nacional Machalilla, la Reserva Marina El Pelado y la Reserva de Producción Faunística Marino Costera Puntilla de Santa Elena. Pero, la Reserva Marina Galera San Francisco (RMGSF) solo ha listado, de modo cualitativo, a seis familias de coral en el plan de manejo, entre ellas, la familia Sertulariidae, representada por corales hermatípicos de la especie *Tridentata turbinata* (MAATE, 2019).

Por otra parte, Cárdenas-Calle et al. (2018) señalan la presencia de corales de la familia Carijoidae en ciertas zonas de Ecuador, incluida la Reserva Marina Galera San Francisco, y mencionando que, en el Pacífico Este Tropical estos octocorales crecen rápidamente sobre los sustratos rocosos, aislando a los parches de corales nativos. Además, el Instituto de Investigaciones Marinas NAZCA desde el 2010, ha direccionado algunos estudios en la RMGSF, exclusivamente, hacia el aprovechamiento sustentable de organismos de interés comercial y turístico (NAZCA, 2010, 2011, 2017). Incluso considerando estas publicaciones, se carece de suficientes antecedentes que detallen a las comunidades de coral y, en consecuencia, que brinden un registro de los sitios y cobertura de corales del área protegida.

Actualmente, no se ha documentado el estado de las colonias de coral en la RMGSF frente al cambio climático, mismo que ocasiona la pérdida de zooxantelas, debido a, las temperaturas extremas (Bay et al., 2023; Devantier, 2023; Nielsen et al., 2018; Pinsky et al., 2023). Bajo estas condiciones, el tejido coralino se torna traslúcido, reflejando así, el blanco del carbonato de Calcio; un fenómeno conocido como blanqueamiento de los corales (Weis, 2019), para el que, se requieren estudios que observen las condiciones recientes de los corales, particularmente, en la Reserva Marina Galera San Francisco.

Por los fundamentos precedentes, la investigación presente atiende la distribución y estructura comunitaria de colonias coralinas en determinados sitios submareales de la RMGSF, analizando cambios de cobertura, diversidad, abundancia relativa y aspecto morfológico, con el objetivo de contribuir a los métodos actuales de conservación y monitoreo de corales.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación se justifica con el levantamiento de información específica acerca de las comunidades de coral en ciertas zonas submareales de la Reserva Marina Galera San Francisco, examinando la estructura, distribución, abundancia y blanqueamiento de las comunidades de corales. Porque las investigaciones previas en esta área protegida, por medio de: informes, proyectos y planes de manejo; no brindan información cuantitativa de estos organismos ni se especializan en descripciones detalladas sobre los mismos y tampoco reportan la situación de las comunidades coralinas respecto al blanqueamiento (Cárdenas et al., 2021; MAATE, 2019; NAZCA, 2017; A. Sosa, 2019; K. Sosa, 2011). Información que es esencial para identificar áreas críticas para la conservación y para contribuir a la formulación de estrategias de manejo adaptativas y sostenibles.

En resumen, es emergente el registro de información especializada en las comunidades de coral en la RMGSF, en el contexto del cambio ambiental acelerado, que ocasiona la disminución de las comunidades de corales y la pérdida de la diversidad. Además, la zona costera de la provincia de Esmeraldas enfrenta otras amenazas, como la contaminación marina, la erosión costera, escorrentías, especies invasoras, entre otras. Estas amenazas deben valorarse con elementos clave de diagnóstico como la dispersión larvaria y la mortalidad coralina (Riegl et al., 2019) para contribuir así, al desarrollo de estrategias de adaptación y conservación que ayuden a proteger los ecosistemas de parches de coral frente a amenazas crecientes.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Establecer la diversidad, estructura morfológica y blanqueamiento de las comunidades de corales presentes en la primera milla náutica de la Reserva Marina Galera San Francisco, por medio de monitoreos *in situ*, para la conservación y desarrollo de programas de monitoreo de corales en Esmeraldas, Ecuador.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Determinar la abundancia y diversidad de corales en seis zonas submareales de la primera media milla náutica de la Reserva Marina Galera San Francisco, empleando índices biológicos de diversidad alfa.
- b) Caracterizar la cobertura y morfología de las colonias coralinas en los sitios de estudio, a través de métodos de conteo directo e Image J.
- c) Identificar las condiciones de las colonias de corales con relación al blanqueamiento, mediante la categorización establecida en el Global Protocol for Assessment and Monitoring of Coral Bleaching.

## **4. HIPÓTESIS**

### **4.1. HIPÓTESIS DE TRABAJO ( $H_1$ ):**

Los corales en los sitios de estudio presentan una abundancia relativa, diversidad y blanqueamiento similares.

### **4.2. HIPÓTESIS NULA ( $H_0$ ):**

Los corales en los sitios de estudio no presentan una abundancia relativa, diversidad y blanqueamiento semejantes.

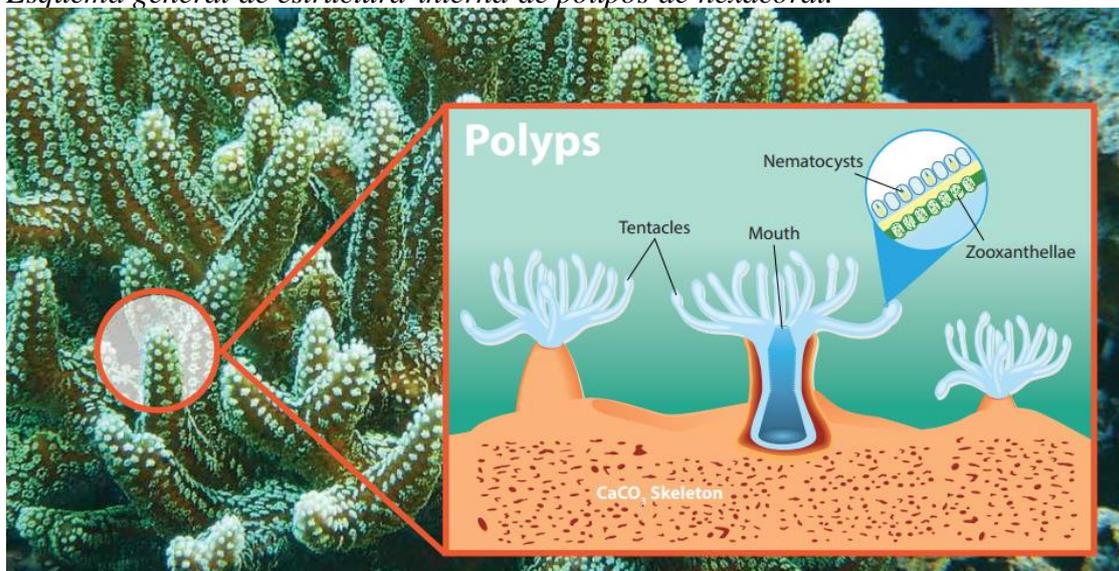
## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1. ANATOMÍA DE LOS CORALES

En términos anatómicos, los corales son el conjunto de metazoos diblásticos conocidos como pólipos, que crecen de forma colonial y habitan la zona bentónica del mar (Pang et al., 2020). La mayoría de especies de estos invertebrados sésiles pueden alcanzar los 7cm de diámetro (Pang et al., 2020) y conformar jardines o parches de coral en las costas ecuatorianas (Palma-Sánchez, 2021). Cada pólipo de coral asume funciones vitales, siendo las principales: la captura de los alimentos, el transporte de nutrientes, la excreción, la defensa y la reproducción (Alicea et al., 2023), y cada pólipo consta de dos extremos: uno distal que es el disco oral-anal, y otro proximal, que es el disco pedal adherido a la colonia. Los pólipos de una misma colonia están unidos entre sí, por cenénquima, formada por mesoglea y perforada por solenios (Pang et al., 2020). Se añade que, la mayoría de los pólipos de coral conviven en simbiosis con zooxantelas (Figura 1), microalgas o dinoflagelados (Riegl et al., 2019). Hasta el 2023, a nivel global se han documentado más de 7.300 especies de coral (Alicea et al., 2023).

Figura 1

*Esquema general de estructura interna de pólipos de hexacoral.*

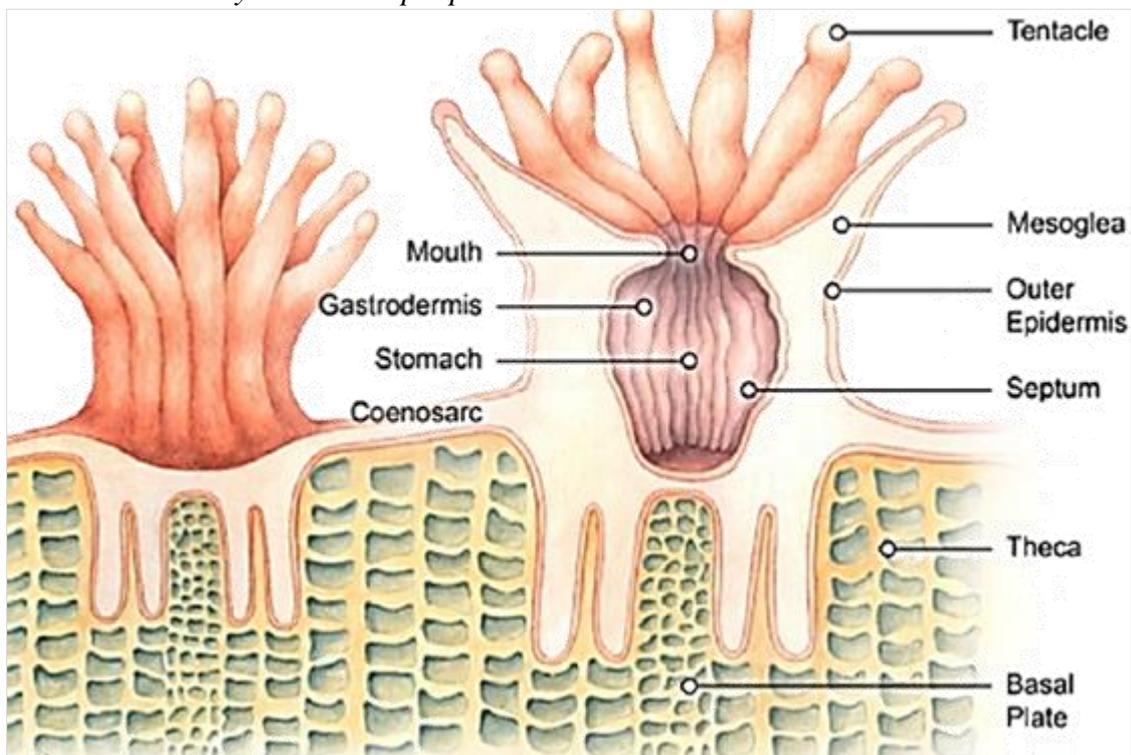


*Nota:* La fotografía corresponde a un tipo de hexacoral, con el que se muestra la presencia de tentáculos, boca, nematocistos y zooxantelas dentro del tejido de los pólipos, así como, el esqueleto interno constituido por Carbonato de Calcio (CaCO<sub>3</sub>). Derechos de autor 2012 por Pacific Coastal and Marine Science Center.

## 5.2. CATEGORIZACIONES TAXONÓMICAS PARA LOS CORALES

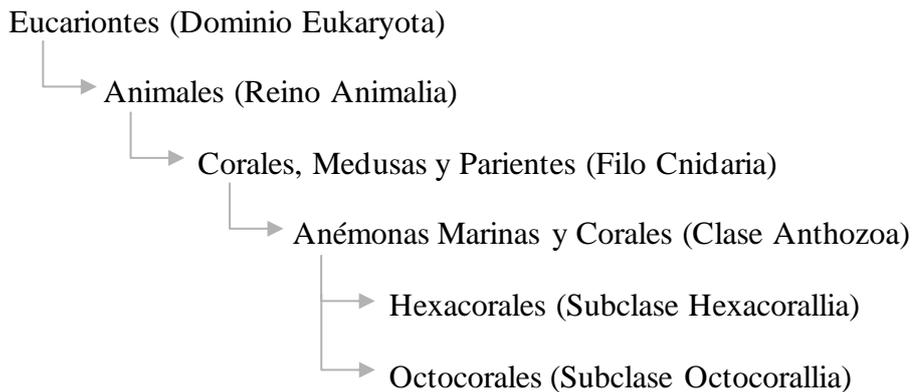
En lo que concierne al estudio (dentro del campo de la Biología), los corales están categorizados para la clase Anthozoa del filo Cnidaria (Cowman et al., 2020), porque los pólipos de coral en fase adulta exhiben anatómicamente formas corpóreas de copa cilíndrica blanda (Figura 2), con tentáculos acomodados alrededor de la cavidad superior oral-anal (Daly et al., 2003), lo que los diferencia de otros organismos marinos. Además, a nivel interno y en contraste con la morfología interna de la mayoría de los metazoos, los pólipos de coral exhiben estructuras y organizaciones celulares primitivas (Daly et al., 2003), como: epidermis, mesoglea (que en los antozoos consta de elementos celulares de origen ectodérmico o endodérmico), gastrodermis y cavidad gastrovascular septada; donde ocurre la circulación, digestión y distribución de nutrientes (García et al., 2011). Y el sistema nervioso (Cowman et al., 2020) difuso-no centralizado; donde la mayoría de neuronas son multifuncionales, organizadas en una red nerviosa con puntos de interacción (García et al., 2011).

Figura 2  
*Anatomía interna y externa de pólipo de un coral.*



*Nota:* El esquema corresponde a un tipo de coral, donde se representan los elementos del cuerpo de un pólipo, que de modo externo son: los tentáculos, la boca, la epidermis, el plato basal, y de manera interna son: la mesoglea, la gastrodermis, los septos, el estómago, el coenosarco (que comunica a los pólipos entre sí) y la teca. Derechos de autor 2012 por Pacific Coastal and Marine Science Center.

A la vez, la cantidad y acomodo de los tentáculos en los pólipos, derivan a los corales en dos subclases: Hexacorallia y Octocorallia (Linan-Cabello, 2012). En este contexto, los caracteres asociados con la forma de las colonias y los elementos esqueléticos como los escleritos, que también contribuyen a la interpretación de identificaciones (Cowman et al., 2020). A continuación, se registra la clasificación taxonómica de los dos grupos de corales:

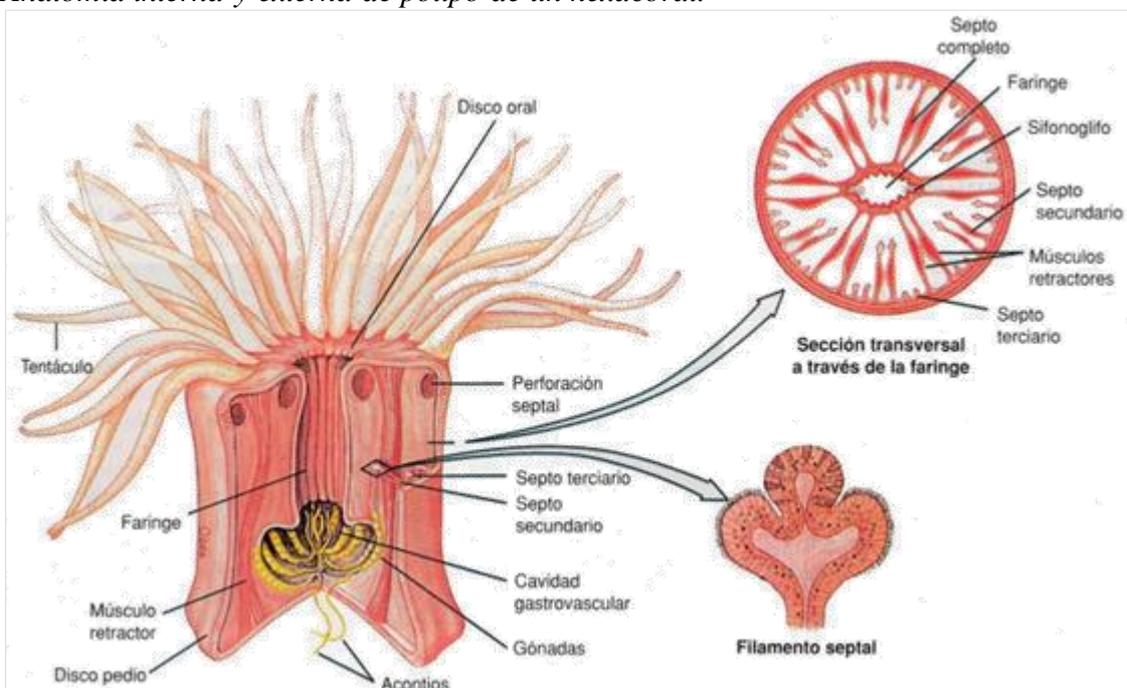


En este contexto de clasificación, conviene mencionar que, según las formas coloniales externas, los corales se catalogan en tres tipos: corales ramificados o arborescentes, corales masivos y corales submasivos o incrustantes (Linan-Cabello, 2012). Acorde a esta clasificación; los corales ramificados presentan proyecciones laterales adyacentes a la estructura principal, similar a las ramas de un árbol y también semejantes a una red de enmalle, es decir, con forma de crecimiento anamastoso (Palma-Sánchez, 2021). Acerca de los corales masivos, estos presentan formas de gran hoja, nodular, columnar a modo de torres y semiesférica a modo de domo, creciendo uniformemente sobre la superficie del sustrato (Wagner et al., 2020). Por otra parte, los corales submasivos presentan formas laminares foliáceas horizontales y proyecciones irregulares con crestas a modo de costras (Wagner et al., 2020).

### 5.3. DIFERENCIAS ENTRE HEXACORALLIA Y OCTOCORALLIA

Por un lado, los hexacorales, que han sido popularizados como formadores de arrecifes, presentan colonias duras porque la consistencia de los esqueletos es calcárea (Daly et al., 2003), donde el ectodermo en el disco oral presenta tentáculos siguiendo una simetría hexarradial, es decir, en múltiplo de siete, que contienen nematocistos simples paralizadores (cnidae o células urticantes). Así mismo, el extremo distal está perforado por una boca central, presentando un sifonoglifo oral que deriva en el tubo actino faríngeo y se une con la cavidad gastrovascular o celenterón de estos organismos (Kayal et al., 2013). Esta cavidad está dividida en siete septos (mesenterios); en lugar de “mesenterios” se utiliza el término “septos”. Simultáneamente, el cenénquima está cubierto por una capa de epidermis (Figura 3), es decir, las capas celulares ectodérmicas y endodérmicas suelen estar conectadas por la mesoglea (contiene carbonato de calcio escleritos y colágeno), donde sólo el antocodio sobresale del cenénquima (Kayal et al., 2013).

Figura 3  
*Anatomía interna y externa de pólipo de un hexacoral.*



*Nota:* El esquema representa de manera transversal los elementos internos de un pólipo de hexacoral. Derechos de autor 2021 por Picton & Morrow.

Continuando con la jerarquía, descrita inicialmente por Vaughan y Wells (1943), los hexacorales son agrupados en: Actiniaria (anémonas), Scleractinia (madreporarios,

corales duros), *Ceriantharia* (anémonas tubo), *Antipatharia* (corales negros), *Corallimorpharia* (anémonas corales), *Zoantharia* (anémonas coloniales) y *Ptychodactiaria*. Hasta la actualidad la subclase ha registrado más de 4,300 especies en todos los océanos (Daly et al., 2003), incluyendo morfotipos coloniales masivos (corales cerebro), ramificados (corales cuerno de alce), planos horizontales (corales plato) e incrustantes (corales mostaza). Cabe resaltar que los hexacorarios (o zoantarios), engloban tanto a las especies con seis tentáculos, como a todas las que tienen más de 8 tentáculos (en muchas ocasiones múltiplo de 6) y con seis mesenterios completos y pareados (Daly et al., 2003).

Por otro lado, los octocorales, que han sido popularizados como abanicos y plumas de mar, presentan colonias blandas porque la consistencia de los esqueletos es proteínica; a base de estructuras de corallum (Fabricius, 2010<sup>a</sup>), donde los pólipos presentan tentáculos siguiendo una simetría octorradiada bipinnada; mostrada a nivel de mesenterios (Fabricius, 2010b). Es decir, los pólipos exhiben tentáculos en múltiplo de ocho, bordeados por hileras dobles de pínulas y extensiones laterales (Fabricius, 2010b). Así mismo, las cavidades gastrovasculares de estos organismos están divididas en ocho septos, tienen recubrimiento córneo y carecen de esqueleto interno continuo porque tienen espículas calcáreas fusionadas y/o libres (McFadden et al., 2007). Actualmente, se mantiene la clasificación taxonómica propuesta por Bayer (1961, 1981) y Sánchez et al. (2003, 2007), quienes dividen al grupo en tres grandes órdenes: Helioporacea o corales azules; Alcyonacea conocida como corales estolonados, corales blandos o gorgonias, y Pennatulacea o plumas de mar (McFadden et al. 2010).

De los octocorales se han registrado más de 3,000 especies en todos los océanos (Fabricius, 2010a), incluyendo los morfotipos: estolonados, abanicos de mar, látigos de mar, plumas de mar, corales blandos y corales azules. Entre los octocorales, destaca la amplia endemividad de las gorgonias en las aguas tropicales de las costas del Pacífico, donde los pólipos coralinos de la familia Gorgoniidae son monomórficos y retráctiles, con un eje (axis) de gorgonina y calcificaciones en los espacios intersticiales (Fabricius, 2010a), rodeadas por cenénquima fino de solenia y ornamentación uniforme y simétrica de escleritos (Fabricius, 2010<sup>a</sup>). Es relevante mencionar que la presencia de pínulas en los tentáculos, es diagnóstico para varios taxones de octocorales (Fabricius, 2010b).

#### 5.4. RELEVANCIA ECOLÓGICA Y TEÓRICA DE LOS CORALES

En el ámbito evolutivo, la teoría básica de Bronfenbrenner (1981) y los modelos matemáticos de McManus (2021), que se basan en la interacción entre especies, expresan que la conexión constante y aleatoria entre poblaciones marinas conduce a una mayor diversidad y más posibilidades de persistir a través del tiempo. Siendo un ejemplo, el mecanismo de supervivencia entre pólipos de coral y microalgas endógenas, en los que la proporción de simbiontes huéspedes es de 30.000 por milímetro cúbico de tejido vivo (Pang et al., 2020). Esta asociación benéfica que empieza con interacciones constantes gracias a los movimientos y direcciones aleatorias de las corrientes marinas (Villacís et al., 2023), tiene amplias repercusiones; entre ellas la productividad primaria, porque los corales y microalgas participan en la eliminación de dióxido de carbono, a través de la fotosíntesis (Islas-Flores & Morales-Ruiz, 2021). Por esta razón, el carbono en los océanos es veinte veces más elevado que en las actuales áreas terrestres de bosque en el planeta (Souter et al., 2020), lo que contribuye a la continuación del ciclo de carbono.

Además de lo anterior, los corales posibilitan la supervivencia de organismos epifaunales, que los consideran lugares de alimentación y refugio. Porque los corales exhiben células urticantes que repelen a los peces predadores (Kushida & Reimer, 2019). Tal es el caso de los peces del género *Amphiprion* que en fase adulta aprovechan las zonas de corales para el desove y eclosión de alevines (Figuroa-Guzmán, 2015). Debido a ello, el MAATE, a través del acuerdo 067, manifiesta que los arrecifes y comunidades coralinas son ecológica y económicamente importantes, y por ello, los considera como sector estratégico, mientras, manifiesta que muchas especies de corales a nivel mundial son consideradas en peligro de extinción (Acuerdo 067., 2016).

Por una parte, la contribución ambiental de los corales hermatípicos se refleja con los cementos de calcio en los componentes abióticos de los sistemas submareales. Ello, a través de la generación de calcio carbonatado, que al trascurrir el tiempo se acumula y refuerza los fondos bentónicos. Por otra parte, los octocorales ahermatípicos, sí aportan carbonato de calcio en forma de espículas de aragonita (Fabricius, 2010<sup>a</sup>), que también contribuye sustancialmente a la acreción de las estructuras existentes en depósitos bentónicos y a la firmeza de los sedimentos. Estos depósitos de calcio brindan un sostén

a los demás componentes de los arrecifes como: macroalgas, esponjas, colonias juveniles de coral, entre otros (Souter et al., 2020). Por lo que, a causa de estas estructuras calcáreas los corales son considerados “ingenieros ecosistémicos” (Blanchon, 2011).

Adicionalmente, las zonas coralinas deterioradas evidencian la relevancia de los corales para la disminución del hidro-dinamismo abrasivo sobre los perfiles litorales (McLaren, 2011). Porque los corales frenan la velocidad de colisión entre las olas, lechos marinos y zonas costeras, reduciendo así, los efectos erosivos. Por ejemplo, los fenómenos naturales como huracanes y tormentas intensifican la fuerza de las corrientes marinas, pero al impactar con las estructuras coralinas, la energía de estas se reduce entre un 75% y 95% antes de llegar a las zonas costeras (Souter et al., 2020). Con lo anterior, los corales cumplen la función constructora y protectora frente a daños biológicos y climáticos en el perfil costero.

Sobre el crecimiento de corales, la formación de colonias depende de factores que desplazan las larvas desde zonas intermareales hasta profundidades abismales y viceversa, mientras que, fragmentan los hábitats marinos (Rodríguez-Troncoso & Tortolero-Langarica, 2014). En este aspecto, tanto la teoría Darwinista de la Subsistencia o Hundimiento (1942) como los conceptos de W. M. Davis (1928), sostienen que la estructura y distribución de corales no solo depende de la etapa de desarrollo del arrecife y del sumergimiento de la tierra, sino que también depende de elementos, como: fenómenos meteorológicos, cambios tectónicos de la masa terrestre, diferencias térmicas, escombros y niveles del mar. Por otra parte, las teorías neutrales de Hughes (1986), McGill (2006) y Rosindell & Cornell (2007), manifiestan que la distribución y abundancia de las especies cambia según los hábitats y nichos.

Palma-Sánchez (2021) señala que las colonias de coral tienden a ser heterogéneas, es decir, dispersas de manera no uniforme y de formas irregulares. Así mismo, Riegl et al (2019) afirman que la heterogeneidad de los corales se debe a las características del entorno-sustrato, los cambios térmicos en la superficie oceánica (temperaturas óptimas entre 26°C a 27°C), niveles de profundidad, alcance de la luz solar, cantidad de nutrientes, de sedimentos, intensidad de las corrientes marinas, entre otros. Todos estos, condicionan, por un lado, la forma de las colonias y, por otro, el asentamiento de plánulas y fragmentos

de coral. Por ejemplo, en el océano Pacífico el fenómeno de “El Niño”; un flujo de aguas cálidas desde el hemisferio Norte hacia el Sur, domina sobre la corriente marina de Humboldt, generando cambios importantes en las costas de Ecuador, de los que destacan: el descenso de nutrientes en aguas someras, y el aumento de la temperatura del agua de 2 a 3°C (Glynn et al., 2018), lo cual, disminuye las densidades de corales zooxantelados.

De modo general, se puede decir que la distribución de coral no es uniforme en la zonificación basal de los mares del Pacífico, es decir, en las zonas secas planas la diversidad y cobertura de coral es baja; en zonas de crestas de máxima pendiente la diversidad es baja y la cobertura alta; y en zonas de pendiente no pronunciada la diversidad es alta y la cobertura es baja (Glynn, 2003). Siendo que las espuelas de los frentes arrecifales, son cruciales durante la dispersión de las corrientes en el talud frontal (Palma-Sánchez, 2021). Además, los parches de coral pueden iniciar en la costa terrestre, avanzar hacia el talud posterior, extenderse en llanuras o terrazas arrecifales, continuar en crestas y/o surcos de arrecife y seguir descendiendo por las pendientes y precipicios del talud frontal marino (Davis, 2009).

Aunque NAZCA (2016) reporta que la RMGSF presenta zonas intermareales y submareales con parches de corales y bosques de gorgonias (MAATE, 2019), no ha determinado con exactitud la superficie de cobertura coralina de importancia para la conservación, dentro de los límites geográficos del área protegida (Zurita & Luna, 2018). Sin embargo, los estudios de Ngoile (2022) y Souter et. (2020) recomiendan declarar zonas intangibles a los sitios con presencia de corales porque encierran una alta diversidad específica, además, de ser bioindicadores de la salud de los ecosistemas marinos y aportar a la funcionalidad de los mismos.

## **5.5. PRINCIPALES FACTORES QUE DISMINUYEN LAS POBLACIONES DE CORAL**

En el ámbito de la salud; como muchos otros organismos animales, los corales también son susceptibles frente a factores biológicos y climáticos (Figueroa-Guzmán, 2015; Glynn, 1976; Linan-Cabello, 2012). Estos procesos son respuestas fisiológicas internas

(inanición, enfermedades, estrés), que ocurren tras la descompensación metabólica de los pólipos (Ngoile, 2022). A la vez, Riegl et al. (2019) mencionan que, sin importar el origen de los agentes estresores, la acción sinérgica de los factores externos deriva en efectos concatenados como: el debilitamiento de cada pólipo, la expulsión de los huéspedes simbioses (zooxantelas), la traslucidez del tejido blando o blanqueamiento, la prevalencia de enfermedades infecciosas, la pérdida de tejido, la mortalidad individual y la disminución de las poblaciones de coral.

De los efectos, la situación de mayor estudio es el “Blanqueamiento”; una manifestación física, que indica la ausencia de las zooxantelas simbioses, que deberían mantenerse por fagocitosis, dentro de las células epidérmicas de los pólipos de coral (Pang et al., 2020). Esta ausencia de los simbioses no solo limita la alimentación de los pólipos, sino que, también disminuye las posibilidades de supervivencia en ambientes oligotróficos (Richmond & Hunter, 1990), pero el signo del blanqueamiento por sí solo, no indica la mortalidad de los pólipos de coral. Gil-Agudelo et al., (2009) demostraron que la mayoría de colonias blancas se recuperan después de atravesar este proceso (Gil-Agudelo et al., 2009). También, es importante mencionar que el blanqueamiento es uno de los principales problemas que se evidencia en hexacorales, sin embargo, los corales azooxantelados y octocorales son más resistentes frente a cambios ambientales (Rodríguez-Troncoso & Tortolero-Langarica, 2014).

De manera puntual, Gi-Agudelo et al. (2009) exponen que los corales son afectados por los cambios en la composición de las aguas oceánicas, con alteraciones en los valores estándar de la: temperatura, turbidez, concentración de sales minerales y de gases. Estas variaciones físico-químicas, que son producto de fenómenos meteorológicos y descargas de origen terrestre y navío, se reflejan con excesos de fitoplancton y presencia de sedimentos, como: heces fecales, fluidos agrícolas, metales pesados, etc (Souter et al., 2020). Estos sedimentos aumentan la turbidez y contaminación de las aguas superficiales y de fondo (Souter et al., 2020), lo que en este ámbito, es un obstáculo que interfiere en las estrategias alimenticias mixotróficas de los pólipos de coral, representando para los pólipos: menor acceso a nutrientes, donde se les dificulta: atrapar el alimento, asimilar nutrientes inorgánicos disueltos y absorber dióxido de carbono oceánico (Wagner et al., 2020). También, los sedimentos representan para los pólipos poca cantidad de luz solar,

donde se dificulta la obtención de radiación (Brown et al., 2018), y así mismo, representan más gasto energético direccionado hacia la eliminación de sedimentos ingeridos, que hacia el crecimiento (Browne et al., 2010). De ahí que, los sedimentos disminuyen la tasa de calcificación, que se evidencia en la talla media de las colonias y, por ende, en la extensión de la cobertura coralina.

Por otra parte, en los sedimentos el excedente de algas activa los microbiomas en las aguas, actuando como reservorio y medio de transporte de patógenos (Enciso-Padilla et al., 2008). En este sentido, los principales agentes causales de afecciones y enfermedades en las poblaciones de coral del Pacífico y Caribe son: cianobacterias (*Oscillatoria*, *Phormidium corallyticum*, *Phormidium vaderianum* y *Trichodesmium*), ciliados (*Halofolliculina corallasia*, *Helicostoma nonatum*), hongos filamentosos (*Aspergillus sydowii* Tipo II), bacterias (*Aurantimonas coralicida*, *Serratia marcescens*, *Vibrio shilonii*, *Vibrio corallilyticus*), entre otros (Gil-Agudelo et al., 2009).

Además, los sedimentos al restringir el intercambio gaseoso crean condiciones anóxicas que retardan la recuperación de los corales después del blanqueamiento (Glynn et al., 2010), mientras, generan abrasión y desgaste entre colonias (Glynn et al., 2010). Por otro lado, los sedimentos propician la competencia entre poblaciones sésiles marinas (algas, bio-erosionadores, corales) para las que se dificulta la colonización de espacios bentónicos (Ngoile, 2022). Estas competencias por ocupación de sustrato son cruciales durante el post asentamiento de plánulas y reclutamiento de larvas-juveniles, que se manifiesta con menos cobertura viva, principalmente, en corales duros (Bernardez, 1993).

En Ecuador, desde el 2013 el Instituto de Investigaciones Marinas Nazca ha reportado la presencia del octocoral invasor *Carijoa riisei* “copo de nieve” en zonas rocosas y sustratos marinos artificiales, incluidos los de la Reserva Marina Galera San Francisco. También, Cárdenas et al., en 2021 reportó la distribución de este coral para la RMGSF, y lo asocia con varios estudios de otras localidades (Alcalde et al., 2010; Figueroa-Guzmán, 2013; MAATE, 2019), donde presenta una alta capacidad de colonización, junto al aumento de la mortalidad total y parcial de los corales endémicos, y el desplazamiento de las poblaciones coralinas. Por lo que, se requieren investigaciones para determinar los efectos de este octocoral sobre la abundancia de los corales nativos de la RMGSF.

## **5.6. MONITOREO DE CORALES**

En materia de brindar seguimientos a la biodiversidad marina, la Asociación Interamericana de Defensa Ambiental AIDA (2015) insta a realizar monitoreos, con protocolos de buceo, en función de la fisiografía bentónica de los sitios a estudiar. El protocolo del CBEMN (2018) y NSMCMM (2018) indican realizar censos visuales prolongados en función del fondo marino. Banks et al. (2016) manifiestan que las técnicas como la de: transectos con puntos de intersección y parcelas fijas son las mejores para el monitoreo de zonas extensas con comunidades coralinas. Mientras, Bruckner (2013) y ARAP (2015) exponen que los transectos de cinturón, cuadrantes, conteo por puntos aleatorios y monitoreo individual de colonia son ideales para monitoreos de corales masivos y extensos, en especial, para los de tipo pétreo. Entre tanto, los protocolos del SAM (2003), SIMAC (2002) y CARICOMP (1994) utilizan los transectos permanentes. En todo caso, en cada uno de ellos, analiza la cantidad de corales, y el tamaño y condición de cada colonia, sean: blanqueamiento, pérdida de tejidos o mortalidad.

Entre las técnicas para establecer el blanqueamiento en corales, está la determinación de la densidad poblacional de zooxantelas por área ocupada de tejido vivo, trasladando colonias vivas con segmentos blancos hacia ambientes controlados en laboratorio (Carricart-Ganivet, 1993). En complemento, para conocer el estado de salud de los corales, además de caracterizar la presencia, ocurrencia o prevalencia de blanqueamiento con evaluaciones proporcionales por observación directa, también, se debe confirmar la presencia de patógenos con extracción de tejido (Lang et al., 2012).

## **5.7. MEDIDAS INTERNACIONALES DE CONSERVACIÓN DE COMUNIDADES CORALINAS**

Entre las estrategias de conservación, no se contemplan acciones defensivas ni se han estandarizado tratamientos bioquímicos para ralentizar, detener y mitigar la condición del blanqueamiento en los corales (CITES, s. f.; CRA, 2016; IUCN, 2023). Sin embargo, la Asociación Interamericana de Defensa Ambiental (2015) propone que la prevención de agentes estresores, cuando menos de índole antropogénica, es la alternativa más viable.

## 5.8. PROTECCIÓN LEGAL DE LOS CORALES EN ECUADOR

En Ecuador se han creado órganos legislativos que protegen a los corales con medidas punitivas. Entre ellos está el Código Orgánico Ambiental del 2017, que interpone medidas preventivo-provisionales, como la suspensión parcial o total de las actividades ilegales que afecten el ambiente, entre estas medidas están la retención de los permisos ambientales, y de los especímenes, equipos y medios de transporte de los pescadores (Art. 309). Además, la Ley Orgánica para el Desarrollo de la Acuicultura y Pesca del 2020, impone prohibiciones como la pesca comercio-artesanal en las millas de reserva (Art. 104), exceptuando, la pesca con arpón (Art. 124). A otro nivel, el Código Orgánico Integral Penal ecuatoriano (2021) sanciona con pena privativa de libertad de uno a tres años a quienes ocasionen daños a la biodiversidad y recursos naturales (Art. 245). Así mismo, el Código Orgánico Ambiental interpone penas de multas salariales según la gravedad de la infracción y acorde a la capacidad económica de las personas naturales y jurídicas (Art. 320 – 332). Todos ellos, amparados en el inciso primero de la Constitución del Ecuador del 2008, el cual manifiesta: “*Que el Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales*” (Art. 73).

Desde otro prisma, en el Ecuador se han cubierto dimensiones sociales con compromisos en materia de educación ambiental. Entre ellos, del Acuerdo Ministerial No. 067 sobre las medidas de protección y conservación de los arrecifes y comunidades coralinas del Ecuador; con el Art. 18 busca: “...*impulsar procesos de divulgación y capacitación dirigidos a...todos los sectores...sobre la importancia de la conservación de estos ecosistemas.*” Y con el Art 19 propone: “...*promover campañas de educación ambiental marino costeras ... para ... conservación de estos ecosistemas...*” (MAATE, 2016). Además, el Art. 14 de la Constitución Ecuatoriana del 2008, declara: “*Que, es de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.*”

## 6. MARCO METODOLÓGICO

### 6.1. REQUERIMIENTOS DE ACCESO

Como primera instancia investigativa, previo al ingreso en el área de interés, se gestionó el permiso de investigación conferido por el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica, autorizado mediante el código No. **MAATE-ARSFC-2023-3062**, para el monitoreo de corales en la primera media milla de la franja costera de la Reserva Marina Galera San Francisco (RMGSF), cantón Muisne, provincia de Esmeraldas - Ecuador.

### 6.2. ÁREA GEOGRÁFICA DE ESTUDIO

Para la investigación se seleccionaron seis sitios submareales (Tabla 1) al Noroeste de Esmeraldas a lo largo de la primera media milla náutica de la Reserva Marina Galera Cabo San Francisco (Figura 4).

Tabla 1

*Geo-referenciación de coordenadas en formato UTM, de los sitios de monitoreados.*

No.	SITIO NOMBRE	ZONA	LATITUD NORTE (Y)	LONGITUD ESTE (X)
1	Galera	17 N	605198,63	90928,32
2	Punta Tortuga	17 N	602884,21	88329,64
3	Galerita	17 N	600190,90	84618,95
4	Caimito	17 N	599925,85	81820,98
5	Quingue	17 N	599617,33	77130,70
6	Cabo San Francisco	17 N	601347,76	71463,51

La Reserva Marina Galera Cabo San Francisco consta de ambientes terrestres de 119,9 hectáreas entre: acantilados, playas, bosques siempre verdes y de ambientes marinos de 54604 hectáreas entre: sustratos arenosos, rocosos, fangosos y mar que se extiende 10 millas náuticas desde la costa, donde las profundidades superan los 200 metros. En estos se presentan ecosistemas con parches de coral, flora acuática, moluscos, peces y estacionalmente tortugas y ballenas. (MAATE, 2019).

Figura 4

Georreferenciación para monitoreo de los sitios submareales en la RMGSF.



*Nota:* En el mapa se muestran los sitios monitoreados que se encuentran dentro del área protegida RMGSF, en este se presenta la ubicación general por división política y por división del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Ecuador. De derecha a izquierda se muestra la ubicación del país Ecuador en el Sur del continente americano, la ubicación de la provincia de Esmeraldas en el Noroeste de Ecuador, el cantón Muisne y las parroquias Galera, Quingue y Cabo San Francisco que engloban a la reserva marina, los nombres, números e íconos asignados a los sitios de estudio, mismos que se describen en la Tabla 1, y de abajo hacia arriba se muestran las ubicaciones de las áreas protegidas a nivel de país, de provincia y de cantón, cabe mencionar que la Reserva Marina Galera San Francisco colinda con el Refugio de Vida Silvestre Manglar el Estuario del Río Muisne.

### 6.3. MONITOREO Y CENSO SUBMAREAL

En cada sitio submareal, con una frecuencia mínima bimensual, desde febrero hasta septiembre de 2023, se realizaron dieciocho monitoreos en total, cada uno de ellos, desde las 07:00 am hasta las 18:00 pm. En cada monitoreo se utilizó una embarcación con motor fuera de borda (75 HP, 4500–5500 revoluciones por minuto), partiendo desde Muisne (zona de embarque) hasta cada sitio submareal, lo que, representó una navegación de 15 minutos hasta el sitio más cercano en Cabo San Francisco y de hasta 40 minutos al sitio más lejano denominado Galera. Durante los monitoreos se fijó la posición geográfica al

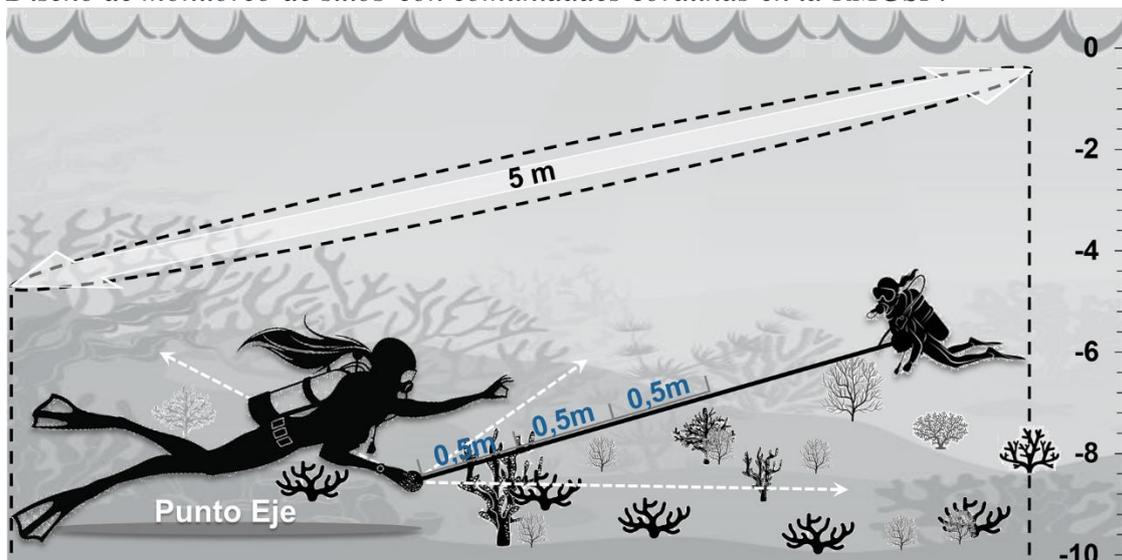
inicio, durante y al final de las inmersiones, por medio del GPS GARMIN 64x. Los métodos utilizados fueron de carácter no extractivo.

Una vez en las áreas a monitorear, se realizaron censos visuales del ecosistemas (Figura 5) y del fondo con equipo subacuático, empleándose los métodos del Coral Reef Monitoring Manual for the Caribbean and Western Atlantic (1994) y del Nova Scotia Marine Community Monitoring (2018), para reconocer el tipo de entorno arrecifal según la forma y caracterización de la topografía del fondo, que se muestra en la Tabla 2), acorde al sustrato marino, sea: arena, gravilla, bloque, roca de fondo, restos de conchas marinas, zonas de cresta, delanteras.

Posterior a los censos visuales, se empleó el método punto intercepto o intercepción por punto, que consistió en registrar los corales cada cierta distancia (Rogers et al., 1994). Por lo que, se monitoreó sobre un transecto lineal cada 50 cm (Figura 5), seleccionándose este método porque permite inspeccionar varios transectos en cada sitio, de forma continua y durante intervalos de tiempo prolongados. Técnica de monitoreo requerido para este estudio, debido a que la mayoría de los sitios visitados, presentaban: una turbidez de nivel medio a alto y corales distantes entre ellos, separados por áreas arenosas.

Figura 5

*Diseño de monitoreo de sitios con comunidades coralinas en la RMGSF.*



*Nota:* En el esquema se muestra de modo general, las observaciones del fondo marino a diferentes rangos de profundidad, las direcciones, la longitud total de los transectos y el equipo Scuba y Hooka, utilizados durante los monitoreos de los corales. En esta gráfica se esquematizan, principalmente, gorgonáceos.

Tabla 2

*Caracterización de los corales en seis sitios monitoreados en la RMGSF.*

Sitio No.	Sitio Nombre	Nivel de Profundidad (-m)	Tipo de relieve	% de sustrato	Aspecto de Colonias	Familias	Géneros
1	Galera	2 - 10	laguna planar	coral (25%) arena fango (55%) otras coberturas (20%)	Ramificado Bifurcado Pinnado	Gorgoniidae	Leptogorgia
2	Punta Tortuga	1 - 10	laguna planar y fondos irregulares	coral (15%) arena fango (45%) roca (10%) otras coberturas (30%)	Ramificado Bifurcado Pinnado	Gorgoniidae	Leptogorgia
3	Galerita	5 - 9	parches sobre fondos irregulares	coral (35%) arena fango (40%) roca (15%) otras coberturas (10%)	Ramificado Bifurcado Pinnado Masivo ramoso Arborescente	Gorgoniidae Pocilloporidae	Leptogorgia Pocillopora
4	Caimito	3 - 8	parches sobre fondos irregulares	coral (55%) arena fango (15%) roca (20%) otras coberturas (10%)	Arbustivo Verrugoso Masivo ramoso Arborescente Polimorfos	Pocilloporidae Plexauridae	Muricea Pocillopora
5	Quingue	3 - 6	laguna planar	coral (20%) arena fango (40%) roca (35%) otras coberturas (5%)	Ramificado Arbustivo Crecimiento Anastomosado Masivo ramoso Arboriforme	Dendrophylliidae Gorgoniidae	Leptogorgia Muricea Pacifigorgia Pocillopora Tubastrea
6	Cabo San Francisco	1 - 4	laguna planar y fondos irregulares	coral (20%) arena fango (20%) roca (25%) otras coberturas (35%)	Ramificado Arbustivo Crecimiento Anastomosado Masivo ramoso Claviforme	Antipathidae Gorgoniidae Pocilloporidae	Antipathes Muricea Pacifigorgia Pocillopora

#### 6.4. ABUNDANCIA RELATIVA Y DIVERSIDAD

Primero, se registró el número de colonias en una hoja de campo, utilizando el método punto intercepto (Banks et al., 2016) y el esquema del Nova Scotia Marine Community Monitoring (2018). Luego, para determinar la abundancia de corales por sitio, se analizaron las concordancias entre las características de las colonias encontradas con las descritas en claves taxonómicas (Cesnales, 2013; NMITA, 2006; Pinca et al., 2000) y en guías de identificación de corales (Figueroa-Guzmán, 2014, 2015; Nueva guía de corales y octocorales de la costa de Ecuador | Instituto Nazca, 2011; Rivera & Martínez, 2011; Roncero, 2002; Weil & Ruíz, 2003). A base de estas, se analizó la composición de las comunidades coralinas hasta los niveles de familia y de género. Por consiguiente, para procesar la información resultante de los monitoreos, se seleccionaron los índices biológicos, en lugar de estimadores estadísticos de distribución de datos, porque los índices resumen una gran cantidad de información en un solo valor.

Se aplicaron los índices más utilizados para diversidad alfa (Tabla 3), como: Equidad de Shannon-Weaver o de Shannon-Wiener ( $H'$ ); Equidad, uniformidad o equitatividad de Pielou ( $J'$ ); y Dominancia de Simpson ( $D_s$ ), los cuales, aplicaron fórmulas matemáticas registradas en XLStat EXCEL, Past 4.0 e InfoStat Version.2020 (de licencias libres). De tal forma que, la diversidad de corales entre los sitios de la RMGSF pudo contrastarse rápidamente. Y para complementar la interpretación de los valores generados por los índices, se recurrió a la abundancia proporcional o relativa de corales. Con esta se midió el porcentaje de corales por familia y por género, respecto a, los registros totales.

Tabla 3  
*Descripción de abundancia relativa e índices biológicos de diversidad alfa.*

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	FÓRMULAS MATEMÁTICAS
Índice de Dominancia de Simpson	Este índice considera la representatividad de un taxón con mayor valor de importancia sin evaluar la contribución del resto de taxa, es decir, es la media ponderada de las abundancias proporcionales, tiene valores que van de 0 a 1, de modo que, cuanto mayor es el valor, mayor es la diversidad en un sitio.	$\frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$

<p>Índice de Equidad de Shannon-Weaver o de Shannon-Wiener</p>	<p>Aunque este índice calcula lo mismo que Simpson, es un descriptor más preciso de la diversidad porque basa los datos en lógica informática que aplica el logaritmo base 2 y no se ve alterada por el tamaño de la muestra ni del taxón. Este índice determina la composición de la comunidad tomando en cuenta la igualdad y la abundancia, es decir que, tiene en cuenta el número de especies o taxa en un sitio y la abundancia relativa de cada uno, se expresa con números positivos entre 0,5 y 5, de tal manera que, valores &lt;2 se consideran bajos y &gt;3 son altos en diversidad.</p>	$-\sum_{i=1}^S (p_i \times \log_2 p_i)$
<p>Índice de Equidad, uniformidad o equitatividad de Pielou</p>	<p>Este índice relaciona la proporción de la diversidad observada en cada estación con relación a la máxima diversidad esperada, el rango de los valores está entre 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes o equitativas y 0 señala la ausencia de uniformidad.</p>	$\frac{H'}{H'_{m\acute{a}x}}$
<p>Abundancia Relativa</p>	<p>Esta fórmula indica la proporción de una especie o taxón respecto a todas las especies o taxa contenidas en uno o varios sitios.</p>	$(n/N_T) \times 100$

Nota: Derechos de autor 2005 por Lek et al., 2007 por Rodríguez y 2020 por Rius & Barón.

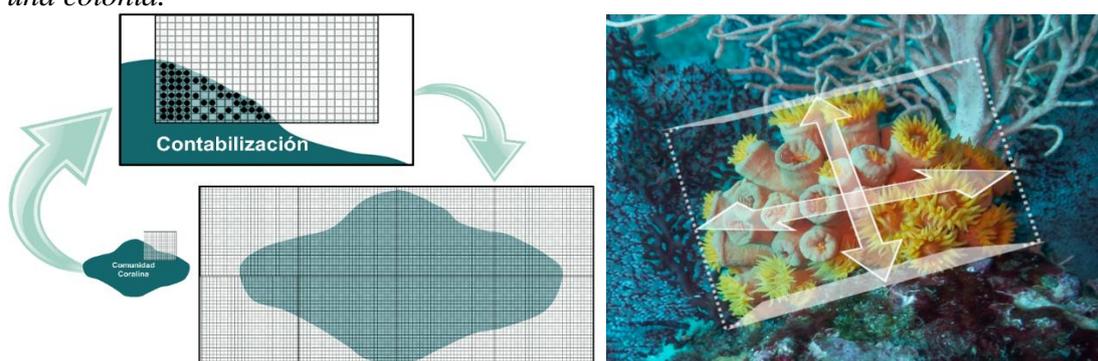
## 6.5. COBERTURA Y MORFOLOGÍA DE LOS CORALES

En lo que respecta a la cobertura de corales, se empleó el protocolo del Nova Scotia Marine Community Monitoring (1998) descrito previamente y los métodos del Coral Reef Monitoring Manual for the Caribbean and Western Atlantic (1994) que consiste en analizar el entorno arrecifal según la forma y caracterización de la topografía del fondo acorde al sustrato. Se registraron las medidas, utilizando una cuerda métrica de 20 m que seguía la dirección del perímetro de cada sitio. Luego, para corroborar la estimación del

área de fondo de los seis sitios, se realizaron diferencias de áreas en el plano horizontal, empleando el método geométrico bidimensional que permite subdividir el perímetro curvilíneo irregular de un campo en figuras geométricas regulares que son medibles como cuadrados, triángulos y trapecios, de modo que se abarque la totalidad de la forma real de la superficie medida (Gámez, 2015). Mientras que, para verificar la medición de la cobertura de corales se empleó el método de cuadrículas que consistió en trasponer dos planos bidimensionales de la misma escala, donde el que contiene formas opacas es solapado por la cuadrícula semitransparente, lo que permite la estimación del espacio real ocupado por los corales, contabilizando los cuadrados que cubren la forma opaca durante la trasposición de planos, siendo homólogo al método de cuadrantes de NaGISA a nivel teórico, con la diferencia de que este método genera valores con mayor precisión a baja escala (FAO, sf).

Figuras 6 y 7

*Esquema del método de contabilización de cobertura coralina. Y ejemplo de medición de una colonia.*



*Nota:* El esquema a la izquierda muestra la contabilización de un área que representa cobertura de corales. Mientras, la fotografía a la derecha muestra las mediciones realizadas sobre un hexacorala de la RMGSF, donde la colonia corresponde a la Familia Dendrophyllidae. Las flechas verticales indican la longitud medida para conocer el atributo de altura de la colonia y las flechas horizontales para el atributo de anchura. Las líneas entrecortadas simbolizan el límite del diámetro medido.

Respecto al análisis morfológico, se realizaron mediciones directas de los corales (Figueroa-Guzmán, 2014, 2015; Soler-Hurtado, 2016), considerando las características de: color de la colonia, forma, altura máxima, diámetro horizontal y dirección del crecimiento (Cesnales, 2013; NMITA, 2006). A la vez, con cámaras subacuáticas AKASO, AMERIK, GO PRO y NIKON se obtuvieron planos fotográficos, que se procesaron a través de HandBrake-1.6.1-x86\_64-Win\_GUI e Image J para el análisis minucioso de las características de cada colonia.

## 6.6. ESTADO DE LA COLONIA (BLANQUEAMIENTO)

En lo que refiere a las afecciones visibles en las colonias de coral, se emplearon valoraciones directas y fotográficas. Es decir, en cada colonia se analizó la cantidad de partes en ausencia de color frente a las pigmentadas, considerando las categorizaciones porcentuales y cualitativas (Tabla 4) del protocolo del Monitoring of Coral Bleaching (2017), para así, determinar la presencia de cambios mensuales en la coloración de las colonias.

Tabla 4

*Categorizaciones de blanqueamiento en corales.*

VALORACIÓN VISUAL	PORCENTAJE	CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
Ningún blanqueamiento observado, o muy ocasionalmente y disperso; una o dos por inmersión	<1%	0	Nada, no hay blanqueamiento
Colonias que presentan leña ocasionalmente pero no blanqueamiento	1-10%	1	Blanqueamiento bajo, pálido o parcialmente, pero no blanco
Blanqueamiento frecuente, pero con valores inferiores en relación de la totalidad de colonias	10-50%	2	Blanqueamiento medio o de color blanco
Blanqueamiento muy frecuente y presente en la mayoría de las colonias	50-90%	3	Blanqueamiento alto o colonia parcialmente muerta
El blanqueamiento domina el paisaje y las colonias sanas no son comunes	>90%	4	Blanqueamiento extremo o colonia recientemente muerta

*Nota:* La tabla muestra la categoría numérica del avance de un blanqueamiento coralino en función de la valoración porcentual visual según la ausencia de color observada en una colonia. Derechos de autor por Oliver et al. (2017).

## **7. RESULTADOS**

### **7.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **7.1.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS DE CORAL**

Los sitios de estudio se caracterizaron por encontrarse entre -0,5 metros hasta 10 m de profundidad, con baja visibilidad, alta sedimentación (turbidez) y escalones de bajo relieve, constituyendo en la mayoría de los sitios una laguna sin formación arrecifal, donde la cubierta bentónica más prominente fue de tipo fangoso arenoso (Tabla 2). Pero en sitios como Quingue y Cabo San Francisco preponderó el sustrato rocoso con presencia de escombros (Tabla 4), entre ellos: piedras, troncos, ramas, cemento, etc. En este sentido, en el sitio de Galera la profundidad promedio fue de 5 m, donde la cubierta bentónica se caracterizó por una cobertura moderada de macroalgas y cobertura dispersa de corales gorgonáceos ramificados creciendo únicamente en sustrato arenoso. Así mismo, en el sitio de Punta Tortuga se encontró una cobertura moderada de corales ramificados a profundidad promedio de 6 m, creciendo principalmente sobre arena.

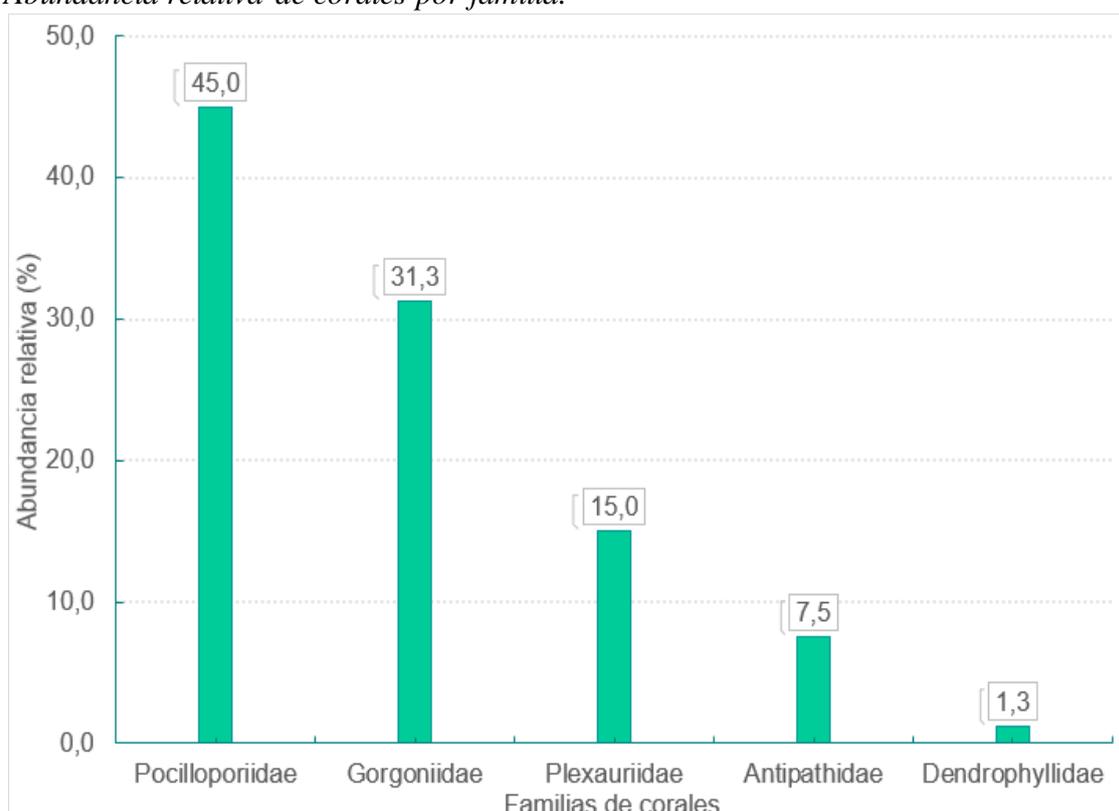
Por otra parte, el sitio de Galerita se caracterizó por presentar algas verdes filamentosas e incrustantes rojas, además de parches de coral duro y gorgonias entre 5 a 9 metros de profundidad, creciendo sobre el fondo arenoso y rocas dispersas. Así también, en Caimito la comunidad coralina fue dispersa, distribuida entre -3 m a -8 m y una gran parte de la cobertura de corales se caracterizó por crecer sobre rocas. En quinto lugar, la cubierta bentónica en Quingue presentó parches de coral relativamente más complejos que junto a la cobertura de macroalgas y equinodermos crecen principalmente entre 3 a 6 metros de profundidad. Finalmente, en Cabo San Francisco los parches de coral que están expuestos al oleaje crecen sobre rocas entre 1 a 4 metros de profundidad junto a algas filamentosas.

#### **7.1.2. ABUNDANCIA RELATIVA Y DIVERSIDAD DE CORALES**

Se registraron 1600 colonias coralinas en total, de los que se identificaron 5 familias de corales: Antipathidae, Dendrophyllidae, Gorgoniidae, Plexauridae, y Pocilloporidae

(Figura 9) en los seis sitios monitoreados. Dos de estas familias, Pocilloporiidae y Gorgoniidae acumularon el 76,3% de las abundancias totales (Figura 8) y fueron representadas por los géneros Pocillopora, Pacifigorgia y Leptogorgia (Tabla 4). En este sentido, la familia Pocilloporiidae, que estuvo representada únicamente por el género Pocillopora fue la más abundante (45%), seguida por la familia Gorgoniidae (31,3%) que estuvo conformada por los géneros Leptogorgia (24,4%) y Pacifigorgia (6,95%). Gorgoniidae estuvo por delante de la familia Plexauriidae (14,4%) que se representó por corales del género Muricea. A esta, le siguió el 7,5% de la familia Antipathidae con el género Antipathes, y finalmente, el 1,3% de la familia Dendrophyllidae que fue representada por el género Tubastrea (Figura 8).

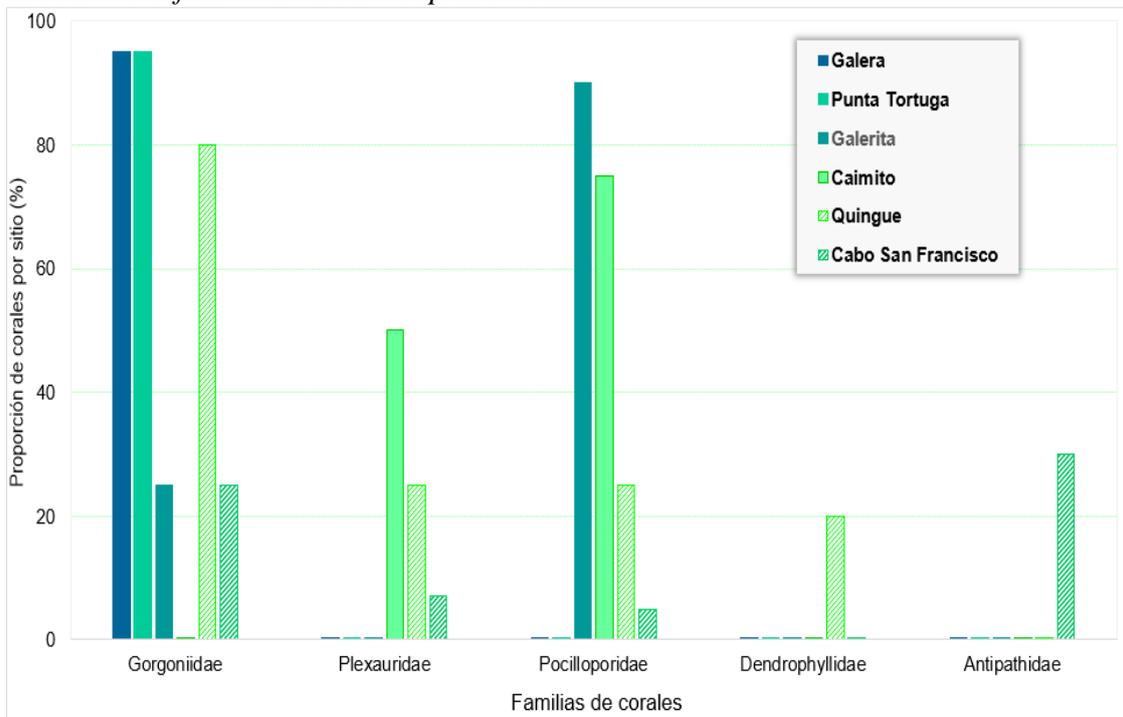
Figura 8  
Abundancia relativa de corales por familia.



En cuanto a la abundancia de corales por sitio, este estudio determinó que los más representativos fueron Quingue y Cabo San Francisco (Figura 9), que acorde al índice de Shannon-Weaver, obtuvieron valores de 1,04 bits y 0,92 bits respectivamente (Figura 10), encontrándose cinco géneros en Quingue y cuatro géneros en Cabo San Francisco. Así mismo, el índice de Simpson reflejó en Quingue valores de 0,5496 bits y en Cabo San

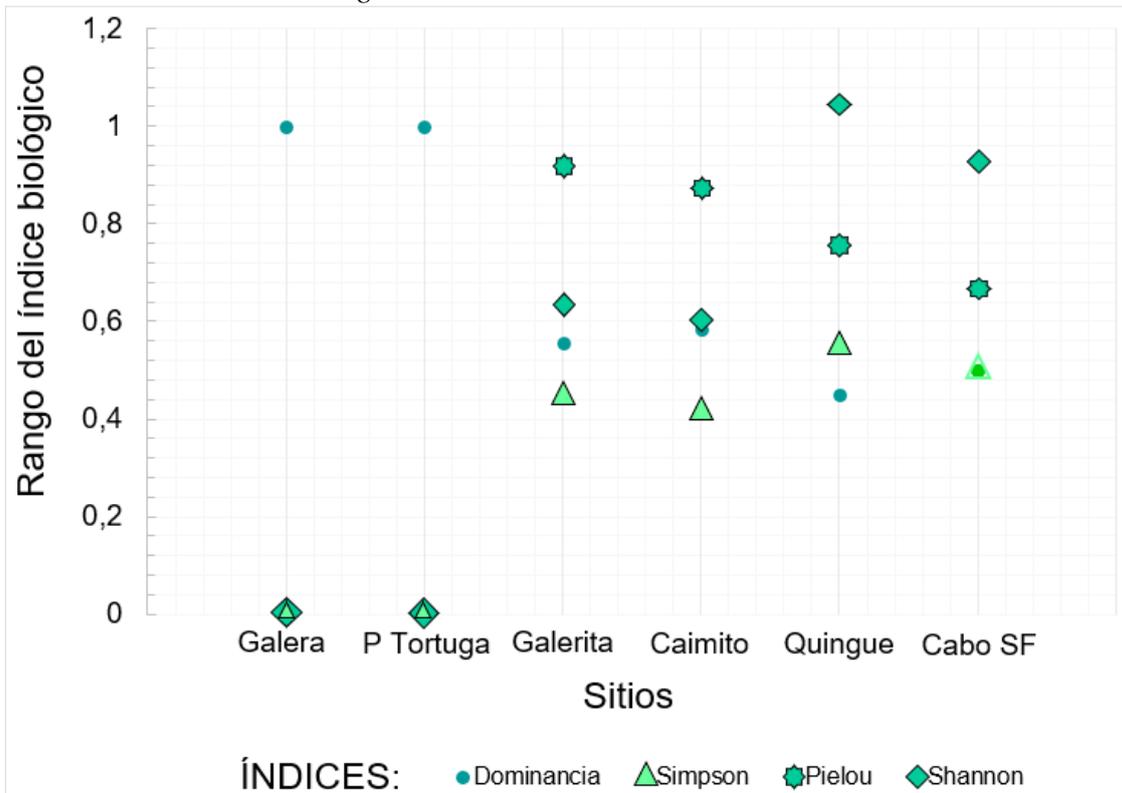
Francisco 0,5 bits para las gorgonias de los géneros *Antipathes* y *Pocillopora*, que fueron dominantes frente a, los corales de *Leptogorgia*, *Muricea*, *Pacifigorgia* y *Tubastrea*.

Figura 9  
*Presencia de familias de corales por sitio.*



En esta secuencia a los valores obtenidos, del índice de Shannon-Weaver, le siguieron Galerita y Caimito (Figura 9), con una diversidad de 0,63 bits y 0,60 bits, respectivamente, lo que demostró una baja diversidad de corales, registrando solo dos géneros *Leptogorgia* y *Pocillopora* para Galerita, y *Plexauridae* y *Pocillopora* para Caimito (Figura 9). Al mismo tiempo, el índice de Simpson generó valores de 0,44 bits para Galerita y 0,41 bits para Caimito (Figura 10), demostrando que los corales de estos sitios no poseían el mismo nivel de dominancia, y registrando en ambos sitios al género *Pocillopora* como coral dominante.

Figura 10  
Valores de los índices biológicos.



Nota: La gráfica muestra el valor de cada índice biológico por cada sitio. El símbolo de triángulo verde indica el valor del índice de Simpson, el símbolo de estrella turquesa indica el valor generado por el índice de Pielou, el círculo verde indica Dominancia y el rombo turqués indica el índice de Shannon Weaver o Wiener.

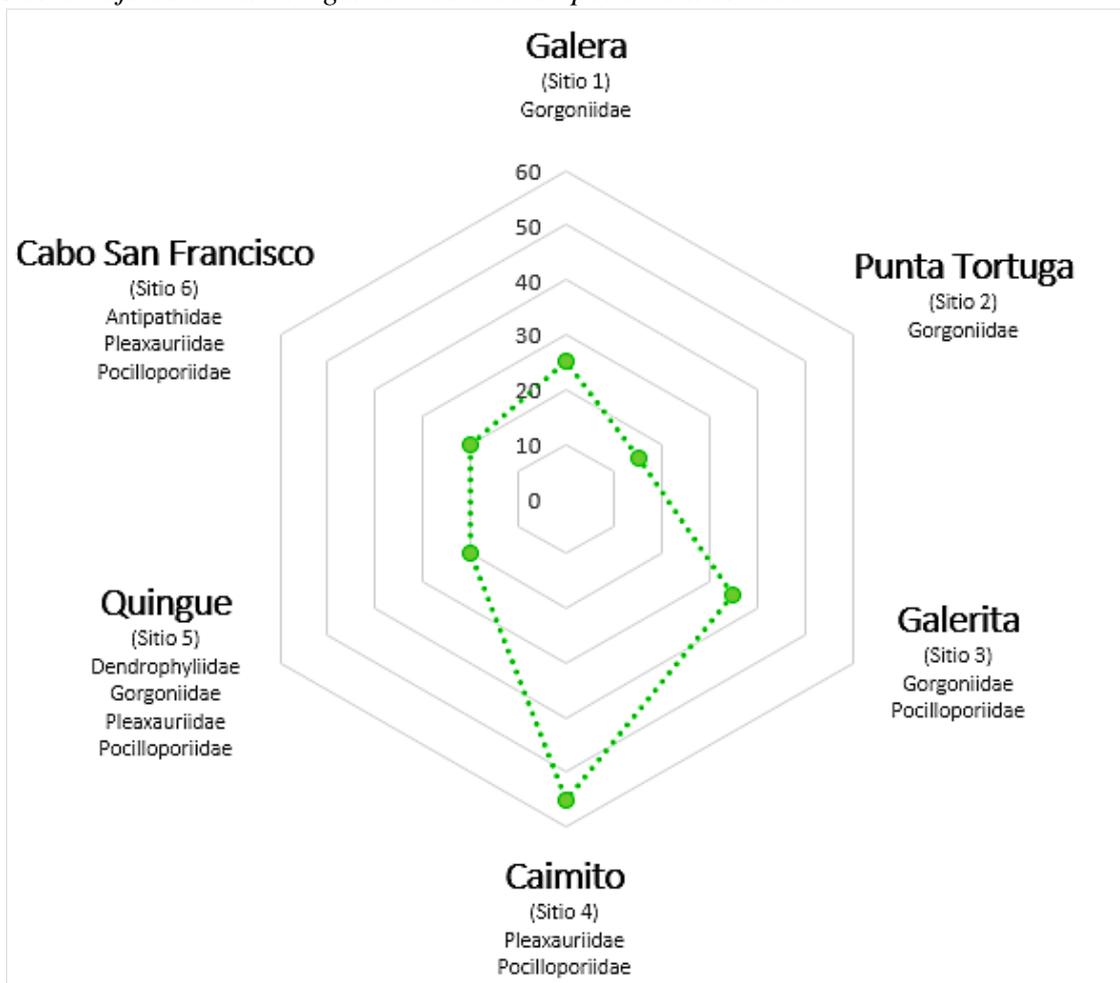
Finalmente, en el análisis, los sitios de Galera y Punta Tortuga presentaron el valor de cero de diversidad según los índices de Shannon-Weaver y de Simpson (Figura 10) que no generaron valores, cabe resaltar que en estos sitios se registró un solo género de coral, demostrando así que, la diversidad nula se dio por la presencia de corales (colonias ramificadas) únicamente del género *Leptogorgia*.

En cuanto al índice de Pielou, no mostró equitatividad de diversidad y ni de abundancia de corales en cada sitio de la Reserva Marina Galera San Francisco (Figura 10), obteniéndose valores en Cabo San Francisco de 0,66 bits, para Quingue de 0,75 bits, para Caimito de 0,87 bits y para Galerita de 0,91 bits, e indicando que los corales no fueron igualmente abundantes en todos los sitios monitoreados (Figura 9).

### 7.1.3. COBERTURA Y MACROMORFOLOGÍA DE CORALES

La cobertura de corales varió entre los diferentes sitios (Figura 11). En Caimito se documentó la mayor cobertura de corales (55%), constituidos por las familias Pocilloporidae (70%) y Plexauridae (30%). Seguido por Galerita, con una cobertura de 35%, que estuvo conformada por las familias Pocilloporidae y Gorgoniidae (Tabla 2). En contraste, Quingue, Cabo San Francisco y Punta Tortuga registraron coberturas de coral menores al 25%, representadas por las familias: Dendrophyllidae, Gorgoniidae, Plexauridae, Pocilloporidae en Quingue; Antipathidae, Plexauridae, y Pocilloporidae en Cabo San Francisco; y Gorgoniidae en Punta Tortuga (Figura 11).

Figura 11  
Porcentaje de cobertura general de corales por sitio monitoreado.



Nota: La gráfica muestra la cantidad porcentual de cobertura de corales por sitio. Cada nivel de forma hexagonal simboliza un rango con intervalos por decenas. Los símbolos de círculos verdes indican el porcentaje de cobertura. Las líneas entrecortadas acentúan el sitio, que concentra los valores máximos.

Tabla 5  
*Porcentaje de cobertura de corales en la RMGSF.*

<b>Sitio</b>	<b>Cobertura de corales por sitio (%)</b>	<b>Familia</b>	<b>Cobertura de corales por familia (%)</b>
Caimito	55	Plexauridae	30
		Pocilloporidae	70
Galerita	35	Gorgoniidae	33
		Pocilloporidae	67
Galera	25	Gorgoniidae	25
Cabo San Francisco	20	Antipathidae	66
		Gorgoniidae	22
		Plexauridae	6
		Pocilloporidae	6
Quingue	20	Dendrophyllidae	9
		Gorgoniidae	63
		Plexauridae	14
		Pocilloporidae	14
Punta Tortuga	15	Gorgoniidae	100

Desde la perspectiva morfológica, los corales monitoreados presentaron características contrastantes entre familia, género y sitio, sin embargo, todos mostraron crecimiento negativo. Siendo que, se registraron diferentes medidas de altura para todas las familias de corales (Tabla 6). De las que, las colonias más prominentes se reportaron para Antipathidae, Plexauridae y Gorgoniidae (Tabla 6). En este sentido, la talla máxima de 66cm de alto fue exhibida por corales representados con el género Antipathes en Cabo San Francisco, seguida por corales de Muricea de 60cm en Caimito y por corales de Leptogorgia de 50cm en Quingue. A pesar de que este último se encuentra entre los corales de mayor talla, los valores no fueron similares entre sitios, siendo que en Galera Leptogorgia mostró una talla máxima de 20cm, mientras, en Punta Tortuga y Galerita la máxima fue de 15cm. Asimismo, se hallaron diferencias por sitio, para los corales de Pocillopora, de los que la talla media fue de 11cm en Galerita, 12cm en Quingue y de 14cm en Cabo San Francisco. También, se registraron diferentes tallas para los corales de Muricea, que en Caimito reflejaron una talla media de 38cm y en Quingue de 10cm. Por

otra parte, los corales de menor tamaño se registraron para el género *Tubastrea*, con colonias de máximo 5cm en Quingue (Tabla 6).

Desde otro punto de vista, las diferencias no se limitaron solo a la altura, sino también a al aspecto general de cada coral, donde las formas ramosas, pinnadas y dicotómicas se reportaron para las familias *Antipathidae* y *Gorgoniidae* (Tabla 4). También, las colonias flabeliformes (con forma de abanico) se registraron para la familia *Gorgoniidae*. Por otra parte, las colonias de arborescencia fructicosa, verrugosas y claviformes se representaron por la familia *Plexauridae* (Figura 12). Entre tanto, las colonias polimorfas y granulosas se ubicaron en la familia *Pocilloporiidae*. Y las colonias de expansión irregular y hemisférica se agruparon en la familia *Dendrophyllidae* (Figura 12).

En cuanto a la dirección y distribución de las ramificaciones, en los corales de las familias *Antipathidae* y *Gorgoniidae* se registró un desarrollo vertical, principalmente, de los géneros *Antipathes* y *Leptogorgia* (Figura 12), que exhibieron un crecimiento semejante, caracterizado por la forma irregular del raquis y de las bifurcaciones primarias. También los corales de la familia *Plexauridae* mostraron una clara definición de las múltiples ramificaciones secundarias que se extendieron verticalmente desde el raquis de cada colonia (Figura 12). Por el contrario, en ciertos corales de *Pacifigorgia* el crecimiento no solo se presentó de modo vertical, sino también horizontal y tangencialmente con bifurcaciones primarias y frecuentemente pinnadas a nivel secundario y terciario (Figura 12). A la vez, en otras colonias representadas por este género, la dirección del crecimiento fue difusa, mostrando entrelazamientos laminares semejantes a redes trenzadas (Figura 12). Pero, no todos los corales presentaron ramificaciones, por ejemplo, las colonias del género *Tubastrea* presentaron pólipos con una forma cilíndrica y vertical, de expansión colonial, exclusivamente, en el plano horizontal (Figura 12).

En lo que respecta a las diferencias cromáticas entre diversas colonias y géneros, durante este estudio no se detectaron cambios significativos en los matices de cada coral, a excepción de la ausencia parcial de color en corales de *Pocillopora*; un signo de blanqueamiento (Figura 13). Entre la gama de colores coralinos, se distinguieron tonalidades blanquecinas (color natural y normal para el tipo de coral) y violáceas magenta para el género *Leptogorgia* y, al mismo tiempo, se reportaron coloraciones

blanquecinas y oscuras para *Antipathes*. En cambio, el género *Pacifigorgia* se caracterizó únicamente por colonias de color castaño claro. Por el contrario, del género *Pocillopora* fueron emblemáticas las colonias pardas, mientras, en *Muricea* se presentaron las pigmentaciones: púrpuras y azuladas. En paralelo, este último género también exhibió colonias con matices desde anaranjado hasta amarillo intenso (Figura 12).

Tabla 6

*Diferencias entre corales de la RMGSF a partir de valores promedio en centímetros.*

Sitio	Corales encontrados (género)	Tipos de corales	Categoría	Altura	Rango de Altura	Ancho General	Ancho de Base
<b>Galera</b>	<i>Leptogorgia</i>	<i>Gorgonia</i> alba rosada	<i>Gorgonia</i>	17,5	11-20	17	2
<b>Punta Tortuga</b>	<i>Leptogorgia</i>	<i>Gorgonia</i> alba rosada	<i>Gorgonia</i>	13,2	10-15	13,7	2
<b>Galerita</b>	<i>Leptogorgia</i>	<i>Gorgonia</i> alba rosada	<i>Gorgonia</i>	11,3	8-15	13,6	2
	<i>Pocillopora</i>	Coral coliflor	Coral duro	8,5	6-11	10,5	21
<b>Caimito</b>	<i>Muricea</i>	<i>Gorgonia</i> púrpura	<i>Gorgonia</i>	38,1	10-60	14,7	20
	<i>Pocillopora</i>	Coral coliflor	Coral duro	14,2	11-18	19,8	54
<b>Quingue</b>	<i>Leptogorgia</i>	<i>Gorgonia</i> blanca	<i>Gorgonia</i>	44,7	38-50	48,4	6
	<i>Leptogorgia</i>	Coral brócoli	<i>Gorgonia</i>	5,1	4-6	3,9	1
	<i>Muricea</i>	Varilla de mar	<i>Gorgonia</i>	10,4	8-13	11,3	2
	<i>Pacifigorgia</i>	Coral blando	<i>Gorgonia</i>	22,2	19-26	26,9	11
	<i>Pacifigorgia</i>	Coral blando	<i>Gorgonia</i>	7,8	3-10	8,7	8,7
	<i>Pocillopora</i>	Coral coliflor del Pacífico	Coral duro	8,1	3-12	10,1	20
	<i>Tubastrea</i>	Coral sol	Coral duro	5,2	5-6	15,9	14,7
<b>Cabo San Francisco</b>	<i>Antipathes</i>	Coral negro	Coral negro	52,3	30-66	45,4	17
	<i>Muricea</i>	Varilla de mar	<i>Gorgonia</i>	5,89	5-7	5,5	22,9
	<i>Pacifigorgia</i>	Coral abanico de mar	<i>Gorgonia</i>	11,6	9-14	15,9	13
	<i>Pocillopora</i>	Coral coliflor del Pacífico	Coral duro	12,2	11-14	1,3	40,8

Figura 12

*Ejemplares de formas coloniales coralinas en la RMGSF.*



REINO: **Animalia**  
FILO: **Cnidaria**  
CLASE: **Anthozoa**  
SUBCLASE: **Hexacorallia**  
ORDEN: **Antipatharia**  
FAMILIA: **Antipathidae**  
GÉNERO: **Antipathes**



REINO: **Animalia**  
FILO: **Cnidaria**  
CLASE: **Anthozoa**  
SUBCLASE: **Octocorallia**  
ORDEN: **Malacalcyonacea**  
FAMILIA: **Gorgoniidae**  
GÉNERO: **Leptogorgia**



REINO: **Animalia**  
FILO: **Cnidaria**  
CLASE: **Anthozoa**  
SUBCLASE: **Octocorallia**  
ORDEN: **Malacalcyonacea**  
FAMILIA: **Plexauridae**  
GÉNERO: **Muricea**



REINO: **Animalia**  
FILO: **Cnidaria**  
CLASE: **Anthozoa**  
SUBCLASE: **Octocorallia**  
ORDEN: **Malacalcyonacea**  
FAMILIA: **Gorgoniidae**  
GÉNERO: **Pacifigorgia**



REINO: **Animalia**  
 FILO: **Cnidaria**  
 CLASE: **Anthozoa**  
 SUBCLASE: **Hexacorallia**  
 ORDEN: **Scleractinia**  
 FAMILIA: **Pocilloporidae**  
 GÉNERO: **Pocillopora**



REINO: **Animalia**  
 FILO: **Cnidaria**  
 CLASE: **Anthozoa**  
 SUBCLASE: **Hexacorallia**  
 ORDEN: **Scleractinia**  
 FAMILIA: **Dendrophyllidae**  
 GÉNERO: **Tubastrea**

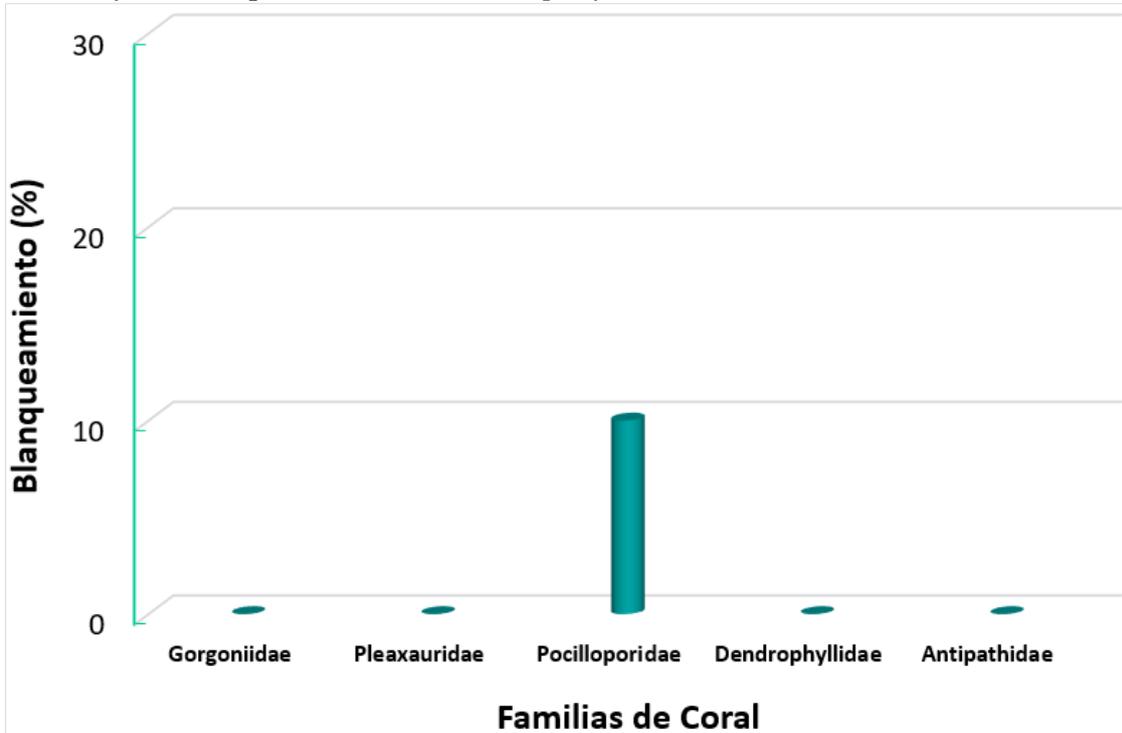
*Nota:* La fotografía presenta algunas colonias de corales encontrados en los sitios de estudio de la RMGSF, se muestran representantes de las familias: Antiphatidae (A), Dendrophyllidae (F), Gorgoniidae (B; D), Plexauridae (C), y Pocilloporidae (E).

#### 7.1.4. ESTADO DE LAS COLONIAS (BLANQUEAMIENTO)

En lo que refiere a las lesiones coralinas, para el sitio de Galera y de Punta Tortuga no se registraron colonias con deterioro aparente del tejido vivo (Figura 12), así como, tampoco se identificaron niveles de blanqueamiento en corales de estos sitios, representados por el género *Leptogorgia*. Cabe indicar que, resultados similares se obtuvieron para el sitio de Punta Tortuga donde no se registraron signos de blanqueamiento en la cubierta coralina de gorgonias. En este orden, los sitios de Caimito, Quingue y Cabo San Francisco no presentaron corales con signos externos de enfermedades, daños o disminución de la cobertura coralina para las familias: Antipathidae, Dendrophyllidae, Gorgoniidae, y Plexauridae. No obstante, se registraron colonias relativamente blanqueadas desde febrero hasta agosto para la familia Pocilloporidae (Figura 13) en Galerita (*Leptogorgia* y *Pocillopora*). En este caso, teniendo en cuenta la relación entre el avance de la decoloración en la superficie de cada colonia y la totalidad pigmentada, la pérdida de pigmentos pardos fue evidente hasta en un 10%. El valor registrado se representa con la categoría de segundo nivel en el Coral Bleaching, lo que indica una aparición reciente y moderada del blanqueamiento (Tabla 2) en los corales. Adicionalmente, durante el tiempo de monitoreo de corales del género *Pocillopora* en la RMGSF, no se detectaron cambios

derivados del blanqueamiento, como la disminución de la cobertura y abundancia de corales, pese a la prevalencia del blanqueamiento en las colonias de este género.

Figura 13  
*Porcentaje de blanqueamiento en corales por familia.*



## 7.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La data obtenida sobre corales en la Reserva Marina Galera San Francisco mostró una constitución mayoritaria de corales blandos y gorgonias, y otra minoritaria de corales duros dentro de la primera media milla náutica del área protegida. Este estudio registró cinco familias de tres órdenes, Antipathidae del orden Antipatharia, Gorgoniidae y Pleaxauridae de Malacalcyonacea, y las familias Dendrophyllidae y Pocilloporidae de Scleractinia, que también han sido reportados en aguas continentales e insulares de Ecuador por Glynn et al (2003; 2010; 2018), Bo et al (2011; 2015), Ponce (2017), Trujillo et al (2017), Calero-Coronado (2020); Steiner et al (2020), Glynn (2022), Abad et al (2022), Reina Zambrano (2015); Steiner et al (2015).

En particular, se registró en esta investigación un mayor número de familias de corales que las reportadas anteriormente para la Reserva Marina Galera San Francisco. Mostrando coincidencias en el registro de las familias Antipathidae y Pocilloporidae (MAATE, 2019). Pero, la presente investigación no encontró en la primera media milla náutica a las familias: Agariciidae, Myriopathidae y Sertulariidae, que fueron reportadas en el plan de manejo del área protegida (MAATE, 2019) y a Carijoidae, que fue descrita por Cárdenas et al (2021) en ciertas zonas marinas de Ecuador, incluida la RMGSF.

Aunado a lo anterior, este estudio demostró la presencia de seis géneros de corales, reportando a: Antipathes, Leptogorgia, Muricea, Pacifigorgia, Pocillopora y Tubastrea; cuatro más que los listados anteriormente, que son: Antipathes, Myriopathes, Pavona y Pocillopora (Cárdenas et al., 2021; Luna & Campos, 2008; MAATE, 2019; Rivera & Martínez, 2011). Con la adición de estos géneros de corales para la RMGSF, se hallan coincidencias de número de géneros reportados a lo largo del perfil costero del país en las áreas protegidas, registrándose también 8 géneros para la Reserva de Producción Faunística Marino Costera Puntilla de Santa Elena (Cruz Ortíz, 2023; Reina Zambrano, 2015), 10 géneros de corales, tanto para el Parque Nacional Galápagos, como para el Parque Nacional Machalilla (Cornejo & Ferreyros, 2010; Glynn et al., 2010; Glynn et al., 2018), y 14 géneros de corales reportados para la Reserva Marina El Pelado (Cárdenas & Triviño, 2013; Cárdenas-Calle et al., 2018).

Por otra parte, en esta investigación los corales más distribuidos fueron de los géneros Leptogorgia y Pocillopora, que estuvieron presentes en la mayoría de los sitios monitoreados como Galera, Punta Tortuga y Quingue, y manifestaron una cobertura extensa. Además, fueron los corales más abundantes y frecuentes en Galerita y Caimito. También, estos géneros (Leptogorgia y Pocillopora) son considerados los más extendidos y abundantes en los ambientes bentónicos del Pacífico Tropical (Breedy, 2015; Mejía, 2020; Soler, 2016), donde los corales albergan una cantidad de fauna importante a nivel trófico, como: esponjas (Zea, 1993), moluscos (Gerhardt, 1990), poliquetos (Vreeland & Lasker, 1989), crustáceos (Wirtz & De Grave, 2010) y peces (Lasker, 1985), entre otros.

En contraparte, los corales menos abundantes, que se observaron, fueron del género Tubastrea (coral pétreo) lo que concuerda con los reportes de este coral en: el Oeste

Atlántico, Mar Caribe, Golfo mexicano, Golfo estadounidense, Pacífico Oriental, incluso en Ecuador continental y Galápagos (Cairns, 1994; Cairns, 2000; Fenner, 2001; Fenner & Banks, 2004; Laborda, 2018; Sammarco et al. 2012). Cabe mencionar que los corales de *Tubastrea* son endémicos de la Polinesia francesa (Illingworth, 2022), pero algunas circunstancias desencadenaron la presencia de este género en Ecuador. Navarro (2008) explica que entre los factores figuran principalmente: el cambio climático y la presencia antrópica que facilitan la expansión de especies exóticas de crecimiento rápido desde zonas cálidas. Así mismo, Precht et al (2014) y Margolin (2012) señalan que estos corales presentan una alta capacidad de producción asexual de larvas planctónicas, lo que aumenta las posibilidades de dispersión en nuevos sitios. Según Precht et al (2014), a estos hexacorales azooxantelados no les afecta el cambio climático. Por lo que, se infiere que estos corales dispersan hacia nuevos ambientes, incluida la RMGSF, debido a que, toleran los cambios físico-químicos de las aguas oceánicas.

Por otro lado, la diversidad registrada para los sitios de estudio fue media – baja acorde al índice de Shannon, esto puede deberse a diversas condiciones como a la presencia de residuos y escombros observados en las proximidades de los sitios monitoreados. También, la diversidad puede estar influenciada por fenómenos naturales como la ocurrencia del fenómeno del Niño (2023) que coincidió con la etapa de monitoreo, reflejando una modificación importante de las variables físico – químicas del agua y del tipo de sustrato presente en las áreas monitoreadas. Es así como, de manera general, se plantea que los sitios de Quingue y Cabo San Francisco son relativamente más favorables para la expansión horizontal de corales, caracterizándose por poseer un sustrato mayoritariamente rocoso.

La cobertura porcentual promedio de corales acorde al área de cada sitio monitoreado, se ubicó en un 28%, este valor está dentro del rango documentado para los fondos arenosos del Pacífico Tropical Oriental, de los que las coberturas coralinas, según Breedy (2015), Mejía (2020) y Soler (2016), tienen una tendencia de disminución, por debajo del 50% en los arrecifes, asociándose a una predominancia de algas. También, Alicea et al (2023) y Soler-Hurtado (2016) indican que las comunidades de gorgonias no son comunes ni extensas sobre los fondos con sustratos mixtos; arena y fango. Adicionalmente, Palma-Sánchez (2021) y Riegl et al (2019) señalan que los pólipos y plánulas de coral prefieren

desarrollarse en sustratos rocosos que proporcionen estabilidad y resistencia a las colonias (Palma-Sánchez, 2021; Riegl et al., 2019). Por lo que, la baja cobertura de corales en la Reserva Marina Galera San Francisco, puede deberse a que en estos sitios el sustrato es principalmente arenoso-fangoso (55% máximo), lo que no es preferido por los corales para la dispersión y el desarrollo de las colonias.

En este estudio, la característica morfométrica más destacable fue la altura, que para los corales del género *Anthipathes* (coral ramificado) reflejó un valor máximo de 66cm, mostrando coincidencias con la descripción de Cruz et al (2002) para Ecuador. Pero, Wills López (2008) reporta que este género en Baja California puede alcanzar los 90cm. Así mismo, Bo et al (2012) reportan a *Anthipathes* con alturas máximas de 95cm en el Parque Nacional Machalilla. Mientras, Agarwal et al (2024) reportan una altura máxima de 150cm en el Archipiélago de las Galápagos. Siendo, todas las tallas reportadas en Ecuador, superiores a las encontradas en la Reserva Marina Galera San Francisco.

Con respecto a lo anterior, se registraron tallas máximas de 50 cm y 26 cm de altura para los géneros *Leptogorgia* (coral ramificado) y *Pacifigorgia* (coral abanico de mar), respectivamente. Cabe mencionar que, los corales de estos géneros son muy diferentes externamente, no obstante, poseen una constitución interna de material córneo, poco o muy calcificado, denominado gorgonina, que les agrupa en la misma familia *Gorgoniidae* (García et al., 2011; García, 1997). En este estudio los tamaños de *Leptogorgia* fueron similares a los reportados en las provincias Manabí y Santa Elena con una talla máxima de 54 cm (Breedy & Cortés, 2015; Figueroa-Guzmán, 2014; Soler-Hurtado, 2016), mientras, los tamaños de *Pacifigorgia* distan mucho con los reportados en Manabí de tallas máximas de 62 centímetros de altura en aguas someras (Mejía-Quintero, 2020).

Respecto a la familia *Plexauridae*, se identificaron corales del género *Muricea*, con tallas medias de 40 cm de altura, que superan a las máximas de 25 cm de altura, reportadas en las costas en el Pacífico Tropical por Abad et al (2022) y Hernández et al (2023). Por otra parte, el género *Tubastrea* registró en este estudio una altura entre 5 cm a 6 cm en la RMGSF, lo cual dista del tamaño promedio de 12 cm que este coral suele registrar en estudios de Ecuador (Glynn et al., 2008; Illingworth, 2022; López et al., 2019; Mantelatto et al., 2011; Miranda et al., 2018).

En general, los tamaños de los corales encontrados en este estudio, podrían indicar una colonización relativamente reciente de los sitios en la primera media milla náutica de la RMGSF. En especial, para los géneros *Leptogorgia*, *Pacifigorgia* y *Tubastrea* que presentaron un tamaño inferior a la media reportada en otros estudios para Ecuador y una distribución de tallas no uniforme (Glynn, 2003; Steiner et al., 2020). Esto también puede atribuirse a procesos endógenos de las especies de corales y a factores del entorno, de los que Riegl et al (2019) describen como principales desencadenantes a la: susceptibilidad al estrés, incapacidad competitiva por el sustrato, cambio de la tasa metabólica, variación de la temperatura, indisponibilidad de alimento, entre otros. De los factores, resulta importante destacar los efectos del fenómeno del Niño (2023); un evento climático atípico que afectó los sitios monitoreados dentro de la primera media milla náutica de la RMGSF, derivando en la acumulación de cantidades masivas de escombros y cambios significativos en el sustrato, profundidad, sedimentos, entre otros.

A más de lo anterior, los cambios en la abundancia y la distribución de corales, podrían sugerir que los sitios están inmersos en diferentes procesos de una contaminación marina. Donde los sitios con mayor turbidez y sedimentación de la RMGSF presentaron una baja cantidad de gorgonáceos. Cabanillas-Terán et al. (2016) reportan que, en general, las gorgonias soportan altos niveles de contaminación y perturbación en los ecosistemas marinos. Y según Pernia et al (2019), esta contaminación es mayor en la primera media milla a lo largo del perfil de Ecuador, lo que podría estar relacionado con la diversidad fluctuante de corales entre los sitios de la RMGSF. No obstante, se deduce para esta investigación que, la distribución heterogénea de gorgonáceos y corales pétreos, depende mucho más del tipo de sustrato, que de los posibles niveles de perturbación en los sitios de estudio.

Debe señalarse que, el blanqueamiento parcial en ciertas colonias del género *Pocillopora* en el área protegida, concuerda con los reportes de esta condición en el mismo género y en otros corales hermatípicos del Pacífico Tropical Oriental (Laborda, 2018; Rodríguez, 2016). Donde, los corales duros presentan blanqueamiento, lesiones morfológicas y en general, una mayor tendencia de expulsión de zooxantelas que la que exhiben los corales blandos y las gorgonias (Palma-Sánchez, 2021). Este contraste entre resistencia y susceptibilidad puede deberse a los cambios del entorno marino – costero (Riegl et al.,

2019). Por lo que, se infiere que las colonias del género *Pocillopora*, son más susceptibles a dificultades ambientales, estrés y pérdida o expulsión parcial de los simbiontes (blanqueamiento), que los demás corales monitoreados durante este estudio.

En adición a lo anterior, en el Parque Nacional Machalilla y en el Parque Nacional Galápagos, a más del blanqueamiento, se han reportado bancos coralinos con mortalidad y daños en los tejidos de las colonias, debido a, la adherencia de microalgas y otros organismos (Cornejo & Ferreyros, 2010; Fundación Charles Darwin, 2009; Laborda, 2018) Pero, durante este estudio no se observó externamente, que estos factores ejercieran influencia sobre la salud de los corales, incluso en aquellos que presentaron blanqueamiento. Cabe mencionar que, para diagnosticar un mal estado de salud en corales, se requieren de pruebas de cultivo celular, para así, determinar a los patógenos que ocasionan las lesiones y enfermedades de los corales (Famiglietti et al., 2005; Jiménez Pearson et al., 2019; León et al., 2010). En consecuencia, la presente investigación analizó de modo directo la condición de las colonias y reportó únicamente la presencia de blanqueamiento en ciertos corales de la RMGSF, excluyendo así, inferencias del estado de salud en los mismos.

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 8.1. CONCLUSIONES

En síntesis, los datos obtenidos para esta investigación sobre las abundancias de los corales y la diversidad en los seis sitios de la primera media milla náutica de la reserva marina Galera San Francisco, permitieron concluir que a mayor dominancia de corales menor es la diversidad y viceversa, determinando así, que las familias más diversas y abundantes fueron Pocilloporidae, Gorgoniidae y Antipathidae, y que los corales más dominantes de la comunidad coralina en la RMGSF correspondieron a los géneros Pocillopora y Leptogorgia.

Análogamente, mediante la información recopilada por este trabajo sobre la estructura y cobertura de corales por sitio, se concluye que, los sitios con mayor presencia de parches rocosos también exhiben comunidades de coral más diversas, siendo que los sitios más representativos de diversidad en la RMGSF, son Quingue, Caimito y Cabo San Francisco. Donde se presentaron corales principalmente de crecimiento vertical y ramificado, o polimorfo, de los que destaca el género Pocillopora por ser el más extendido en estos sitios.

Paralelamente, en virtud de que este estudio encontró un 10% de blanqueamiento en corales de Pocillopora, presentes en cuatro sitios monitoreados. Se deduce que, esta característica de estrés coralino y pérdida de zooxantelas, en este género de coral no corresponde a causas específicas, sino a cambios importantes que representan perturbaciones ambientales para estos corales en la primera media milla náutica. A la vez, se infiere que el riesgo de desaparición prevalece en este género, porque es susceptible a procesos meteorológicos como el Fenómeno del Niño de 2023, evidenciado particularmente en la RMGSF.

Finalmente, la ausencia de antecedentes, exclusivos del ámbito de las comunidades coralinas de la RMGSF, hace de este estudio, uno de los primeros en mostrar la distribución y cobertura de estos organismos en la primera media milla náutica del área

protegida, lo que contribuye con la investigación de las zonas marino – costeras de la misma y con cuestiones en torno al cambio climático y la diversidad de corales.

## **8.2. RECOMENDACIONES**

A pesar de contar con estos registros sobre corales en la RMGSF, el trabajo taxonómico sobre esta fauna es inicial, por lo que, es necesario conformar una base biológica sólida de monitoreo, a partir del análisis de la composición bentónica de los sitios en mención y también de sitios no monitoreados durante este estudio, para fundamentar así, otros trabajos a nivel comunitario.

También se sugiere realizar monitoreos a mayor millaje, profundidad, periodo de tiempo y por estaciones, para definir acertadamente cualquier aspecto biológico de algún coral de interés, sean estos: reclutamiento, esclerocronología, blanqueamiento, morfología, etc.

Aunque se reportó resiliencia y blanqueamiento en ciertos corales del área protegida, no se aseguran las causas externas ni internas, por lo que, se recomienda realizar estudios de contaminación acuática y/o de patogenicidad en corales, primordialmente y en especial, después de eventos climáticos como el fenómeno del Niño.

## 9. MARCO REFERENCIAL

### 9.1. BIBLIOGRAFÍAS

- Abad, R., Jaramillo, K. B., Castro, D., Sánchez, J. A., & Rodríguez, J. (2022). Octocoral distribution patterns at the equatorial front (Tropical Eastern Pacific): Muricea and Leptogorgia. *Oceans*, 3(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/oceans3020016>
- Acuerdo 067., 7 (2016). <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu166455.pdf>
- Alcalde, J. L., Alonso, Á., Andreu, J., Aragonés, D., Ayensa, G., Ballesteros, E., Bartomeus, I., Binimelis, R., Bustamante, J., Campos, J. A., Caño, L., Carrete, M., Castro, P., Castro, S., Cerdá, X., Costa, M., Dana, E. D., Delibes de Castro, M., Díaz-Delgado, R., ... Vivas, S. (2010). *Invasiones biológicas*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (España). <https://digital.csic.es/handle/10261/27302>
- Alicea, D., Bejarano, I., & Soler, B. (2023). *Los arrecifes de coral*. <https://issuu.com/seagrantpr/docs/guia-arrecifes-de-coral>
- Analuddin, K., Helmi, M., Adrianto, L., Iba, W., Jaya, L. O., Septiana, A., Suwa, R., Nadaoka, K., Nakamura, T., & Lalang. (2023). Assessment of life form and adaptive capacity of coral reef ecosystem in Tanjung Tiram waters, southeast Sulawesi. *Pakistan Journal of Biological Sciences: PJBS*, 26, 534-542. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2023.534.542>
- Andayani, K., Winaya, I., Triadi, I., & Wardana, I. (2023). Study of clean water supply system managed by the community to ensure reliability of the clean water supply system in Tabanan district. *International Research Journal of Engineering, IT & Scientific Research*, 9, 65-75. <https://doi.org/10.21744/irjeis.v9n2.2289>
- Banks, S., Acuña, D., Brandt, M., Calderón, R., Delgado, Graham, E., Garske-García, L., Keith, I., Kuhn, A., Pépolas, R., Ruíz, D., Suárez, J., Tirado-Sánchez, N., Vera, M., Vinueza, L., & Wakefield, E. (2016). *Manual de monitoreo submareal. Conservación internacional Ecuador y fundación Charles Darwin. Quito, Ecuador*. Rimana. [https://www.conservation.org/docs/default-source/ecuador-documents/2017-01-24-manual-de-monitoreo-\(baja\).pdf](https://www.conservation.org/docs/default-source/ecuador-documents/2017-01-24-manual-de-monitoreo-(baja).pdf)
- Bay, L., Ortiz, J., Humanes, A., Riginos, C., Baums, I., Scharfenstein, H., Aranda Lastra, M., Peixoto, R., Niehaus, A., Port, A., Oppen, M., Voolstra, C., Baker, A., Kenkel, C., Aguirre, J., Guest, J., Lasky, J., Hendry, A., Schoepf, V., & Palumbi, S. (2023).

*Understanding natural adaptation and assisted evolution of corals to climate change.*

[https://www.researchgate.net/publication/374965705\\_UNDERSTANDING\\_NATURAL\\_ADAPTATION\\_AND\\_ASSISTED\\_EVOLUTION\\_OF\\_CORALS\\_TO\\_CLIMATE\\_CHANGE](https://www.researchgate.net/publication/374965705_UNDERSTANDING_NATURAL_ADAPTATION_AND_ASSISTED_EVOLUTION_OF_CORALS_TO_CLIMATE_CHANGE)

- Blanchon, P. (2011). *Reef back—Stepping: Encyclopedia of modern coral reefs.* [https://www.academia.edu/421191/Reef\\_Back\\_Stepping\\_Encyclopedia\\_of\\_Modern\\_Coral\\_Reefs](https://www.academia.edu/421191/Reef_Back_Stepping_Encyclopedia_of_Modern_Coral_Reefs)
- Breedy, O., & Cortés, J. (2015). Gorgonias (Octocorallia: Gorgoniidae) de las aguas someras del pacífico norte de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 62(4), 43. <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i4.20032>
- Brown, K. T., Bender-Champ, D., Kubicek, A., van der Zande, R., Achlatis, M., Hoegh-Guldberg, O., & Dove, S. G. (2018). The dynamics of coral—Algal interactions in space and time on the southern great barrier Reef. *Frontiers in Marine Science*, 5. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2018.00181>
- Browne, N., Smithers, S., & Perry, C. (2010). Geomorphology and community structure of Middle Reef, central Great Barrier reef, Australia: An inner-shelf turbid zone reef subject to episodic mortality events. *Coral Reefs*, 29, 683-689. <https://doi.org/10.1007/s00338-010-0640-3>
- Cárdenas, M., Perez-Correa, J., Uzca-Sornoza, C., Bigatti, G., Diez, N., Lozada, M., Coronel, J., Herrera, I., Torres, G., De la Cuadra, T., Espinoza, F., Mair, J., & Keith, I. (2021). Invasion and current distribution of the octocoral *Carijoa riisei* (Duchassaing & Michelotti, 1860) in the Ecuadorian coast (Eastern Tropical Pacific). *Aquatic Invasions*, 16, 62-76. <https://doi.org/10.3391/ai.2021.16.1.05>
- Carricart-Ganivet, J. (1993). *Blanqueamiento parcial en Porites por/tes (Cnidaria: Scleractinia) en el Arrecife de Isla Verde, Veracruz, México.* 41(3). [https://tropicalstudies.org/rbt/attachments/volumes/vol41-3A/21\\_Carricart\\_Porites.pdf](https://tropicalstudies.org/rbt/attachments/volumes/vol41-3A/21_Carricart_Porites.pdf)
- Cesnales, A. (2013). *Dichotomous key for soft coral identification.* <https://www.utahreefs.com/articles/Dichotomous%20key%20for%20soft%20corals.pdf>
- CITES. (s. f.). *Apéndices / CITES.* Recuperado 20 de marzo de 2024, de <https://cites.org/esp/app/appendices.php>

- Cornejo, Ó., & Ferreyros, S. (2010, julio 26). *Diagnóstico submareal de corales, en la playa Los Frailes del Parque Nacional Machalilla*. [https://issuu.com/oscarcornejol/docs/tesis\\_-\\_corales\\_los\\_frailes\\_\\_pnm\\_\\_o.cornejo\\_\\_s.\\_fe](https://issuu.com/oscarcornejol/docs/tesis_-_corales_los_frailes__pnm__o.cornejo__s._fe)
- Cowman, P. F., Quattrini, A. M., Bridge, T. C. L., Watkins-Colwell, G. J., Fadli, N., Grinblat, M., Roberts, T. E., McFadden, C. S., Miller, D. J., & Baird, A. H. (2020). An enhanced target-enrichment bait set for Hexacorallia provides phylogenomic resolution of the staghorn corals (Acroporidae) and close relatives. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, *153*, 106944. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2020.106944>
- CRA. (2016). *Panorama del blanqueamiento de coral*. <https://coral.org/es/blanqueamiento-del-coral-herramientas-y-guia-completa/blanqueamiento-de-corales/>
- Daly, M., Fautin, D., & CAPPOLA, V. (2003). Systematics of the Hexacorallia (Cnidaria: Anthozoa). *Zoological Journal of the Linnean Society*, *139*, 419-437. <https://doi.org/10.1046/j.1096-3642.2003.00084.x>
- Davis, W. (2009). Wharton's and Darwin's theories of coral reefs. En *Science Progress* (Vol. 92, pp. 371-385). <https://doi.org/10.1177/003685040909200311>
- Devantier, L. (2023). What future for coral reefs? *Research Gate*. [https://www.researchgate.net/publication/372723134\\_What\\_Future\\_for\\_Coral\\_Reefs](https://www.researchgate.net/publication/372723134_What_Future_for_Coral_Reefs)
- Enciso-Padilla, I., Gutiérrez-Gutiérrez, P., & Galván-Villa, C. (2008). *Estructura comunitaria de macroalgas y dinámica de la relación alga-coral en el arrecife de playa Mora, bahía de Tenacatita, Jalisco*. [http://www.cucba.udg.mx/sites/default/files/publicaciones1/avances/avances2008/Biologia/Ecologia\(pp391-432\)/PadillaIldefonsoEnciso\(pp415-422\)/415-422.pdf](http://www.cucba.udg.mx/sites/default/files/publicaciones1/avances/avances2008/Biologia/Ecologia(pp391-432)/PadillaIldefonsoEnciso(pp415-422)/415-422.pdf)
- ERFEN. (2023, julio 5). *Boletín técnico*. [https://www.inocar.mil.ec/boletin/ERFEN/erfen\\_20230705.pdf](https://www.inocar.mil.ec/boletin/ERFEN/erfen_20230705.pdf)
- Fabricius, K. (2010a). Encyclopedia of modern coral reefs Octocorallia. En *Encyclopedia of Modern Coral Reefs* (pp. 740-745). [https://doi.org/10.1007/978-90-481-2639-2\\_35](https://doi.org/10.1007/978-90-481-2639-2_35)
- Fabricius, K. (2010b). *Octocorallia*. 740-745. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-2639-2\\_35](https://doi.org/10.1007/978-90-481-2639-2_35)

- Famiglietti, A., Quinteros, M., Vázquez, M., Marín, M., Nicola, F., Radice, M., Galas, M., Pasterán, F., Bantar, C., Casellas, J. M., Kovensky Pupko, J., Couto, E., Goldberg, M., Lopardo, H., Gutkind, G., & Soloaga, R. (2005). Consenso sobre las pruebas de sensibilidad a los antimicrobianos en Enterobacteriaceae. *Revista argentina de microbiología*, 37(1), 57-66.
- FAO. (sf). *Medición de áreas*.  
[https://www.fao.org/fishery/static/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6707s/x6707s10.htm](https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6707s/x6707s10.htm)
- Figueroa-Guzmán, J. (2013). *Zonación de octocorales (Octocorallia: Alcyonaceos) en el arrecife rocoso del Islote los Ahorcados de Ayampe, Manabí –Ecuador*.  
[https://www.researchgate.net/publication/282650510\\_Zonacion\\_de\\_octocorales\\_Octocorallia\\_Alcyonaceos\\_en\\_el\\_arrecife\\_rocoso\\_del\\_Islote\\_los\\_Ahorcados\\_de\\_Ayampe\\_Manabi\\_-Ecuador](https://www.researchgate.net/publication/282650510_Zonacion_de_octocorales_Octocorallia_Alcyonaceos_en_el_arrecife_rocoso_del_Islote_los_Ahorcados_de_Ayampe_Manabi_-Ecuador)
- Figueroa-Guzmán, J. (2014). Jardines de gorgonias en la costa de Manabí, Ecuador. *Revista Hippocampus-Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí*, 4, 52-55.
- Figueroa-Guzmán, J. (2015). *Contribución al conocimiento de la fauna de octocorales (Octacorallia: Gorgonidae) en el arrecife rocoso del islote Los Ahorcados, Ayampe, Manabí-Ecuador*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1625.6728>
- Fundación Charles Darwin. (2009). *Galápagos research (formerly noticias de Galápagos)*.  
[https://www.darwinfoundation.org/en/documents/368/GR\\_66\\_2009.pdf](https://www.darwinfoundation.org/en/documents/368/GR_66_2009.pdf)
- Gámez, W. (2015). *Texto Básico Autoformativo de Topografía General*.  
<https://repositorio.una.edu.ni/3179/1/NP31G192t.pdf>
- García, A., Outerelo, R., Ruíz, E., Aguirre, J., Almodóvar, A., Alonso, J., Benito, J., Arillo, A., Berzosa, J., Buencuerpo, V., Cabrero-Sañudo, F., Díaz, E. de J., Díaz, J., Elvira, B., Fernández Leborans, G., García Más, I., Gómez, J., González, D., Gutiérrez López, M., ... Cano, J. (2011). *Estudio y diversidad de los cnidarios y ctenóforos*. Reduca (Biología). <https://www.ucm.es/data/cont/docs/568-2013-12-16-02-Cnidarios.pdf>
- García, P. (1997, enero 1). *Los Gorgonáceos*.  
[https://www.researchgate.net/publication/277015215\\_LOS\\_GORGONACEOS](https://www.researchgate.net/publication/277015215_LOS_GORGONACEOS)
- Gil-Agudelo, D., Camacho, R., Ramírez, A., Reyes-Nivia, M., Bejarano, S., Ferreira, J., & Smith, G. (2009). Enfermedades coralinas y su investigación en los arrecifes

- colombianos. *Bulletin of Marine and Coastal Research*, 38.  
<https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2009.38.2.178>
- Glynn, P. (2003). Coral communities and coral reefs of Ecuador. En *Latin American Coral Reefs* (pp. 449-472). <https://doi.org/10.1016/B978-044451388-5/50020-5>
- Glynn, P., Colley, S., Guzman, H., Enochs, I., Cortés, J., Mate, J., & Feingold, J. (2010). Reef coral reproduction in the eastern pacific: Costa Rica, Panamá, and the Galápagos islands (Ecuador). *Marine Biology*, 158, 1601-1617.  
<https://doi.org/10.1007/s00227-011-1673-z>
- Glynn, P., Colley, S., Mate, J., Cortés, J., Guzman, H., Bailey, R., Feingold, J., & Enochs, I. (2008). Reproductive ecology of the azooxanthellate coral *Tubastraea coccinea* in the Equatorial Eastern Pacific: Part V. Dendrophylliidae. *Marine Biology*, 153, 529-544. <https://doi.org/10.1007/s00227-007-0827-5>
- Glynn, P. W. (1976). Some physical and biological determinants of coral community structure in the Eastern Pacific. *Ecological Monographs*, 46(4), 431-456.  
<https://doi.org/10.2307/1942565>
- Glynn, P. W. (2003). Coral communities and coral reefs of Ecuador. En J. Cortés (Ed.), *Latin American Coral Reefs* (pp. 449-472). Elsevier Science.  
<https://doi.org/10.1016/B978-044451388-5/50020-5>
- Glynn, P. W., Feingold, J. S., Baker, A., Banks, S., Baums, I. B., Cole, J., Colgan, M. W., Fong, P., Glynn, P. J., Keith, I., Manzello, D., Riegl, B., Ruttenberg, B. I., Smith, T. B., & Vera-Zambrano, M. (2018). *State of corals and coral reefs of the Galápagos islands (Ecuador): Past, present and future*. 133, 717-733.  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.002>
- Hasan, H. A., Muhamad, M. H., Ji, B., Nazairi, N. A., Jiat, K. W., Sim, S. I. S. W. A., & Poh, A. F. M. S. (2023). Revolutionizing wastewater treatment with microalgae: Unveiling resource recovery, mechanisms, challenges, and future possibilities. *Ecological Engineering*, 197, 107117.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.107117>
- Hein, M. Y., Vardi, T., Shaver, E. C., Pioch, S., Boström-Einarsson, L., Ahmed, M., Grimsditch, G., & McLeod, I. M. (2021). Perspectives on the use of coral reef restoration as a strategy to support and improve reef ecosystem services. *Frontiers in Marine Science*, 8.  
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2021.618303>

- Illingworth, V. (2022). *Análisis de distribución de la especie Tubastraea coccinea, su abundancia y posibles impactos en las costas de Ecuador y Galápagos*. [bachelorThesis]. <http://repositorio.uees.edu.ec/handle/123456789/3435>
- Islas-Flores, T., & Morales-Ruiz, E. (2021, noviembre 1). *Cuando el estrés lleva al divorcio: La simbiosis alga-coral y el blanqueamiento coralino*. <https://cienciauanl.uanl.mx/?p=11407>
- IUCN. (2023). *The International Union for Conservation of Nature: Red list of threatened species*. IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org/es>
- Jiménez Pearson, M. A., Galas, M., Corso, A., Hormazábal, J. C., Duarte Valderrama, C., Salgado Marcano, N., Ramón-Pardo, P., & Melano, R. G. (2019). Consenso latinoamericano para definir, categorizar y notificar patógenos multirresistentes, con resistencia extendida o panresistentes. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 43, e65. <https://doi.org/10.26633/RPSP.2019.65>
- Kayal, E., Roure, B., Philippe, H., Collins, A. G., & Lavrov, D. V. (2013). Cnidarian phylogenetic relationships as revealed by mitogenomics. *BMC Evolutionary Biology*, 13(1), 5. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-13-5>
- Kayal, M., & Adjeroud, M. (2022). The war of corals: Patterns, drivers and implications of changing coral competitive performances across reef environments. *Royal Society Open Science*, 9(6), 220003. <https://doi.org/10.1098/rsos.220003>
- Kushida, Y., & Reimer, J. (2019). Molecular phylogeny and diversity of sea pens (Cnidaria: Octocorallia: Pennatulacea) with a focus on shallow water species of the northwestern pacific ocean. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 131, 233-244. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2018.10.032>
- Laborda, A. (2018). Los arrecifes del Pacífico Oriental Tropical, “los otros arrecifes de coral”. *Ambiociencias*, 49. <https://doi.org/10.18002/ambioc.v0i16.5755>
- Lang, J., Marks, K., Kramer, P., Kramer, P., & Ginsburg, R. (2012, noviembre 11). *AGRRA methodology V. 5.4*. <https://www.healthyreefs.org/cms/wp-content/uploads/2013/07/Protoc.-AGRRA-V5.5-FINAL-Espanol.pdf>
- León, J., Liza, L., Soto, I., Torres, M., & Orosco, A. (2010). Bacterias marinas productoras de compuestos antibacterianos aisladas a partir de invertebrados intermareales. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 27(2), 215-221.

- Li, P., & Wu, J. (2023). Water resources and sustainable development. *Water*, 16, 134.  
<https://doi.org/10.3390/w16010134>
- Linan-Cabello, M. (Ed.). (2012). *Corals: Classification, habitat and ecological significance*. (UK ed). Nova Science Pub Inc.
- López, C., Moreno, S., Ocaña Vicente, O., Herrera, R., Moro, L., Monterroso Hoyos, O., Rodríguez, A., & Brito, A. (2019). Invasive *Tubastraea* spp. and *Oculina patagonica* and other introduced scleractinians corals in the Santa Cruz de Tenerife (Canary Islands) harbor: Ecology and potential risks. *Regional Studies in Marine Science*, 29, 100713. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2019.100713>
- MAATE. (1976). *El sistema nacional de áreas protegidas del Ecuador*.  
<https://www.oas.org/dsd/AAPAD2/Workshops/Panama/EdgarriveraEcuador.pdf>
- MAATE. (2017, abril 12). *Código Orgánico del Ambiente*.  
[https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO\\_ORGANICO\\_AMBIENTE.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf)
- MAATE. (2019). *Plan de manejo de la Reserva Marina Galera San Francisco subsecretaría de gestión marina y costera, conservación internacional Ecuador*. (Consultoría 1; pp. 1-139). [https://proyectomarinocostero.com.ec/wp-content/uploads/2020/03/PM\\_RMGSF\\_09.12.19.pdf](https://proyectomarinocostero.com.ec/wp-content/uploads/2020/03/PM_RMGSF_09.12.19.pdf)
- Mantelatto, M., Creed, J., Mourão, G., Migotto, A., & Lindner, A. (2011). Range expansion of the invasive corals *Tubastraea coccinea* and *Tubastraea tagusensis* in the Southwest Atlantic. *Coral Reefs - CORAL REEF*, 30, 397-397.  
<https://doi.org/10.1007/s00338-011-0720-z>
- McFadden, C., France, S., Sanchez, J., & Alderslade, P. (2007). A molecular phylogenetic analysis of the Octocorallia (Cnidaria: Anthozoa) based on mitochondrial protein-coding sequences. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 41, 513-527.  
<https://doi.org/10.1016/j.ympev.2006.06.010>
- McLaren, S. J. (2011). Encyclopedia of modern coral reefs structure, form and process. En D. Hopley (Ed.), *Encyclopedia of Modern Coral Reefs: Structure, Form and Process* (pp. 47-47). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-2639-2\\_179](https://doi.org/10.1007/978-90-481-2639-2_179)
- Mejía-Quintero, K. J. (2020). *Variación morfológica en octocorales del género *Pacifigorgia* (Octocorallia: Gorgoniidae)*.  
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78579>

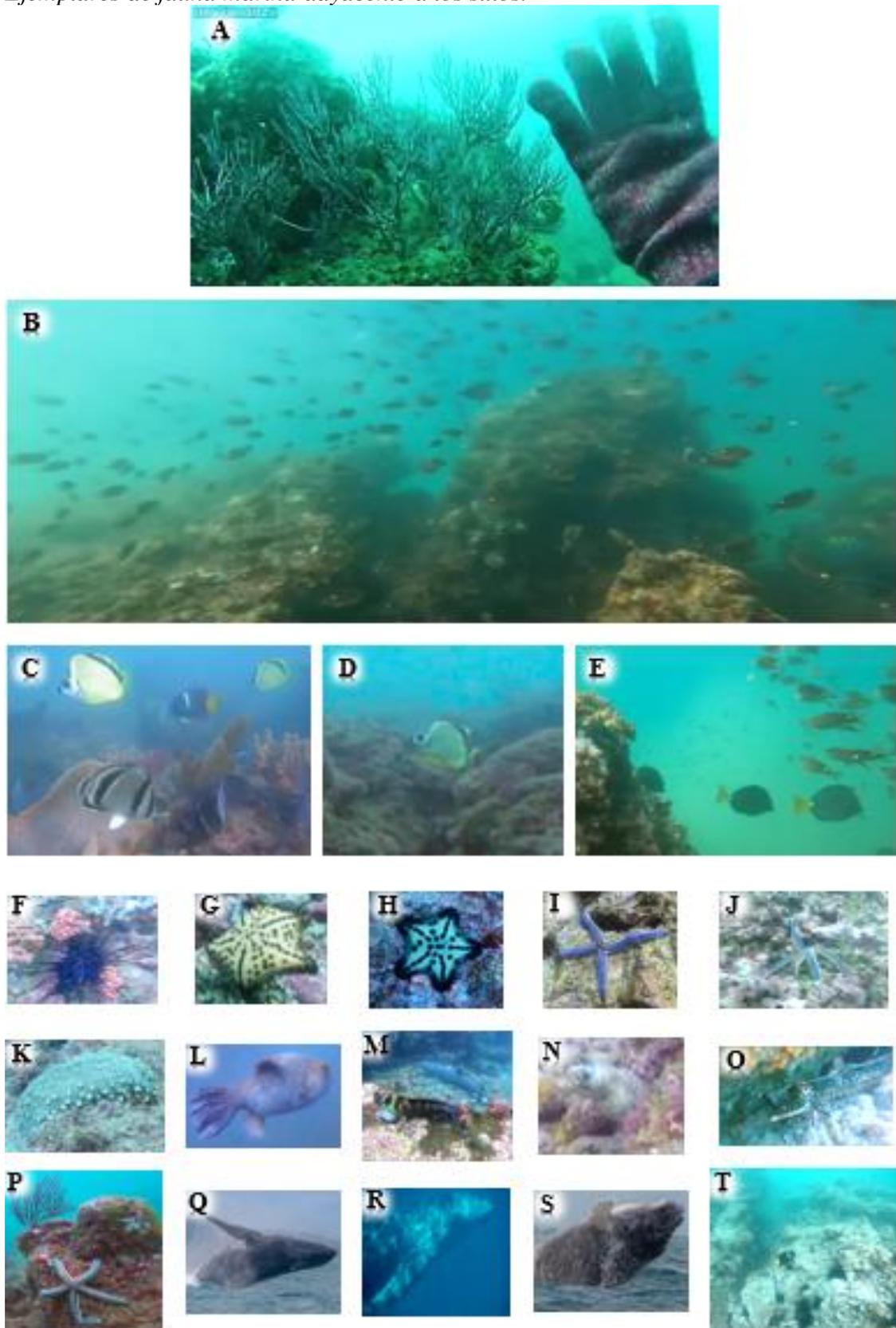
- Miranda, R., Tagliafico, A., Kelaher, B., Mariano-Neto, E., & Barros, F. (2018). Can invasive corals (*Tubastraea* spp.) impact native coral recruitment? *Marine Ecology Progress Series*, 605. <https://doi.org/10.3354/meps12731>
- NAZCA. (2010). *Manejo de la langosta verde en el Cabo San Francisco, Reserva Marina Galera—San Francisco*. [https://panorama.solutions/sites/default/files/An%C3%A1lisis\\_Factibilidad\\_Langosta\\_RMGSF.pdf](https://panorama.solutions/sites/default/files/An%C3%A1lisis_Factibilidad_Langosta_RMGSF.pdf)
- NAZCA. (2011). *Nueva guía de corales y octocorales de la costa de Ecuador*. <https://institutonazca.org/es/new-coral-and-octocoral-guide-of-the-coast-of-ecuador/>
- NAZCA. (2017, julio). *Plan de manejo pesquero basado en derecho de acceso y el estado de las poblaciones explotadas, para la langosta espinosa, corvina de roca y pulpo en la Reserva Marina Galera San Francisco*. <https://proyectomarinocostero.com.ec/wp-content/uploads/2020/03/Planes-de-manejo-Langosta-Corvina-y-Pulpo-Nazca-VF.pdf>
- Ngoile, M. (2022). *Coral reef biodiversity loss*. <https://aquadocs.org/bitstream/handle/1834/449/960401-02.pdf?sequence=1>
- Nielsen, D. A., Petrou, K., & Gates, R. D. (2018). Coral bleaching from a single cell perspective. *The ISME Journal*, 12(6), Article 6. <https://doi.org/10.1038/s41396-018-0080-6>
- NMITA. (2006, marzo 17). *Coral identification key*. [https://nmita.rsmas.miami.edu/DRworkshop/final\\_key.pdf](https://nmita.rsmas.miami.edu/DRworkshop/final_key.pdf)
- Palma-Sánchez, M. (2021). *Evaluación y estado de conservación del grado de resiliencia de los arrecifes coralinos marginales de Ecuador*. <https://digital.csic.es/handle/10261/264898>
- Pang, A.-P., Luo, Y., He, C., Lu, Z., & Lu, X. (2020). A polyp-on-chip for coral long-term culture. *Scientific Reports*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63829-4>
- Pinsky, M., Clark, R., & Bos, J. (2023). Coral reef population genomics in an age of global change. *Annual Review of Genetics*, 57. <https://doi.org/10.1146/annurev-genet-022123-102748>

- Richmond, R. H., & Hunter, C. L. (1990). Reproduction and recruitment of corals: Comparisons among the Caribbean, the Tropical Pacific, and the Red sea. *Marine Ecology Progress Series*, 60(1/2), 185-203.
- Riegl, B., Johnston, M., Glynn, P. W., Keith, I., Rivera, F., Vera-Zambrano, M., Banks, S., Feingold, J., & Glynn, P. J. (2019). Some environmental and biological determinants of coral richness, resilience and reef building in Galápagos (Ecuador). *Scientific Reports*, 9, 10322. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46607-9>
- Rivera, F., & Martínez, P. (2011). *Guía fotográfica de corales y octocorales: Parque Nacional Machalilla y Reserva de Producción Faunística Marino Costera Puntilla de Santa Elena Ecuador*. <https://institutonazca.org/es/new-coral-and-octocoral-guide-of-the-coast-of-ecuador/>
- Rodríguez, J. (2016). *Estado de salud de colonias de Pocillopora en el Pacífico mexicano*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25382.93761>
- Rodríguez-Troncoso, A., & Tortolero-Langarica, J. J. A. (2014). *Capítulo 3: Corales: organismos base constructores de los ecosistemas arrecifales*. (pp. 33-55).
- Soler-Hurtado, M. M. (2016). *Biología de la conservación de las comunidades de gorgonias tropicales en el Pacífico oriental (Ecuador)*. <https://digital.csic.es/handle/10261/147849>
- Sosa, A. (2019). *Playas de Anidación de Lepidochelys olivacea en la Reserva Marina Galera San Francisco, Esmeraldas – Ecuador*. [Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4810/1/UPSE-TBM-2019-0007.pdf>
- Sosa, K. (2011). *La pesca artesanal en la parroquia Cabo San Francisco cantón Muisne de la provincia de Esmeraldas en el año 2010*. <https://repositorio.iaen.edu.ec/bitstream/handle/24000/3893/MONOGRAFIA%20KEVIN%20SOSA%20CORTEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Souter, D., Planes, S., Wicquart, J., Logan, M., Obura, D., & Staub, F. (2020). *Status of coral reefs of the world: 2020*. <https://gcrmn.net/wp-content/uploads/2023/01/Status-of-Coral-Reefs-of-the-World-2020-Full-Report.pdf>
- Stanway, D. (2023, octubre 6). *Countries unite to protect coral reefs with \$12 billion pledge*. <https://www.weforum.org/agenda/2023/10/12-billion-fund-coral-reef-protection/>

- Steiner, S. C. C., Martínez, P., Rivera, F., Johnston, M., & Riegl, B. M. (2020). Octocoral populations and connectivity in continental Ecuador and Galápagos, Eastern Pacific. *Advances in Marine Biology*, 87(1), 411-441. <https://doi.org/10.1016/bs.amb.2020.07.002>
- Tortolero-Langarica, J. J. A., Clua, E., Rodriguez Zaragoza, F., Caselle, J., Rodríguez-Troncoso, A., Adjeroud, M., Friedlander, A., Cupul-Magaña, A., Ballesteros, E., Carricart-Ganivet, J. P., & Brown, E. (2022). Spatial and temporal patterns in the coral assemblage at Clipperton atoll: A sentinel reef in the Eastern Tropical Pacific. *Coral Reefs*, 41. <https://doi.org/10.1007/s00338-022-02290-3>
- Villacís, E. E., Muñoz, R. G., Bustamante, C. M., & Andrade, I. S. (2023). Modelado y análisis de la transformación del oleaje en la Bahía de Santa Elena- Ecuador en el período 2016—2020. *ACTA OCEANOGRÁFICA DEL PACÍFICO*, 5(1), 11-32.
- Wagner, D., Friedlander, A. M., Pyle, R. L., Brooks, C. M., Gjerde, K. M., & Wilhelm, T. 'Aulani. (2020). Coral reefs of the high seas: Hidden biodiversity hotspots in need of protection. *Frontiers in Marine Science*, 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2020.567428>
- Weis, V. M. (2019). *Cell biology of coral symbiosis: Foundational study can inform solutions to the coral reef crisis*. 59(4), 845-855. <https://doi.org/10.1093/icb/icz067>



Figura 15  
Ejemplares de fauna marina adyacente a los sitios.



Las fotografías muestran crustáceos (O), equinodermos (F; G; H; I; J; K; P), gorgonias (A; B; P), peces (B; C; D; E; L; M; N; T) y ballenas Jorobadas (Q; R; S).

Figura 16

Algunos ejemplares de corales, representados hasta el nivel de género.

