



**Pontificia Universidad  
Católica del Ecuador**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
SEDE MANABÍ  
CARRERA DE BIOLOGÍA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**EVALUACIÓN HISTOPATOLÓGICA DE LOS CORALES DEL  
ARRECIFE FONDO DE URELES (JARAMIJÓ, ECUADOR)  
DURANTE EL PERÍODO OCTUBRE DE 2022 - ENERO DE 2023**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN  
MANEJO SOSTENIBLE DE RECURSOS NATURALES**

**PREVIO AL TÍTULO DE  
BIÓLOGA**

**AUTORA  
MARÍA BRIGGITTE ZAMBRANO MOREIRA**

**TUTOR  
GABRIEL MODESTO DURÁN COBO, *M. Sc.***

**BAHÍA DE CARÁQUEZ – MANABÍ  
MAYO 2023**

### **Certificación**

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo los requisitos establecidos por la Dirección de Investigación; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

---

Gabriel Modesto Durán Cobo, *M. Sc.*

Director del trabajo de titulación

C.I: 0928838143

### **Aprobación del tribunal**

El jurado examinador, aprueba el presente manuscrito de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí.

---

Evelyn Arias Cedeño, *M. Sc.*

*Primera Lectora*

---

Iván Loor Santana, *Mgtr.*

*Segundo Lector*

---

Gabriel Modesto Durán, *M. Sc.*

*Tercer Lector*

### **Declaración de originalidad**

Este manuscrito no contiene ningún tipo de material que haya sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en forma de información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie.

---

María Brigitte Zambrano Moreira

C.I: 1207597582

Teléfono: 099 - 819 - 7879

[brigittezm15@gmail.com](mailto:brigittezm15@gmail.com)

### **Declaración de derechos de autor y co-autoría**

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo.

---

María Brigitte Zambrano Moreira

C.I: 1207597582

### **Dedicatoria**

Este trabajo de investigación va dedicado a las personas más importantes en mi vida, mis padres Leonel Alejandro Zambrano Valdez y María Consuelo Moreira Torres, quienes me han brindado su apoyo y amor incondicional; a mis hermanos y mis abuelitos. Además, a nuestra madre naturaleza por permitirme conocer sus maravillas e impulsar mi amor y pasión por la biología. A mí misma, por todo el esfuerzo, dedicación y la perseverancia impuesta durante estos años de mi carrera.

*María Brigitte Zambrano Moreira*

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por permitirme culminar mi carrera de Biología, misma que me ha dejado infinidad de experiencias y enseñanzas. A mi papá Leonel Zambrano, por todo el amor y apoyo que me ha brindado siempre, por su esfuerzo día a día, por brindarme lo mejor y enseñarme como ser mejor persona y ser humano. A mi mamá Consuelo Moreira por ser mi amiga, confidente, mi apoyo físico y emocional, por estar presente, ser mi modelo de persona a seguir y por formar parte importante de la persona que soy. A mis hermanitos y abuelos por siempre creer en mí. A los amigos que la universidad me regalo, gracias por los recuerdos que creamos juntos, por cada una de las enseñanzas que llevare conmigo para toda la vida. A mis maestros M. Sc. Evelyn Cedeño, M. Sc. Francisco Pozo, M. Sc. Gabriel Durán, M. Sc. Kruger Loor, M. Sc. Juan Carlos Murillo y Dr. Eduardo Barahona por compartir un pedacito de sus experiencias y aprendizajes que ayudaron a formarme durante estos años de carrera universitaria. Además, agradecer a las personas que contribuyeron con el avance de esta investigación: mi tutor de tesis M. Sc. Gabriel Durán, Sr. Marcos Rivas, Dr. William Tapia, Odontólogo Francisco Pincay e Histopatóloga Aida Alarcón. Por último, agradecerme a mí misma, por haber confiado en mis decisiones y ahora titularme de la carrera con la que siempre soñé.

*María Brigitte Zambrano Moreira*

## Resumen

Las enfermedades son uno de los principales factores que afectan la degradación global de los arrecifes de coral; sin embargo, existen pocos estudios sobre las afecciones provocadas por dichas enfermedades en la costa ecuatoriana, por lo que esta investigación mixta evaluó mediante herramientas de análisis histopatológicos el estado de salud de los corales del arrecife Fondo de Ureles en la ensenada de Jaramijó, Manabí, Ecuador. Para ello, en este estudio exploratorio ejecutado en marzo de 2023, se realizó un muestreo colectando 125 fragmentos de colonias de coral *Pocillopora damicornis* y *Porites lobata*, los cuales pasaron por un proceso de descalcificación y posteriores cortes histológicos (3  $\mu\text{m}$ ). Las lesiones de los corales sanos y enfermos fueron analizadas y fotografiadas mediante microscopia, estableciendo una escala descriptiva de los grados de afección de los tejidos, y evaluando la calidad del agua para establecer correlación con la escala descriptiva. Los principales hallazgos muestran lesiones presentes en el 42.6% de los organismos para ambas especies, observándose pérdida de tejido en gastrodermis y epitelio, mesenterios atrofiados y baja presencia de zooxantelas asociadas al síndrome blanco (*WS*, por sus siglas en inglés). La especie más afectada es *P. damicornis* por su estructura frágil más propensa a la pérdida de tejido y *WS*. No se encuentran valores de significancia ( $p < 0,05$ ) entre la correlación de organismos afectados y las variables ambientales (calidad del agua y nutrientes). Se recomienda realizar nuevas investigaciones para determinar las variables de afección de los arrecifes coralinos de la costa ecuatoriana.

*Palabras clave:* histopatología, lesiones, *P. damicornis*, *P. lobata*, arrecife coralino Fondo de Ureles

### Abstract

Diseases are one of the main factors affecting the global degradation of coral reefs; however, there are few studies on conditions caused by these diseases on the Ecuadorian coast, so that this mixed research study assessed coral health in the *Fondo de Ureles* reef system in *Jaramijó*, *Manabí* Province, Ecuador, by using histopathological analysis tools. Accordingly, this exploratory research study was conducted in March 2023, so that it collected a sample of 125 individuals of *Pocillopora damicornis* and *Porites lobata*, whose fragments were subjected to a decalcification process and then cut into 3  $\mu\text{m}$ . All lesions in healthy and unhealthy corals were examined and photographed by microscopy, establishing a descriptive rating scale of tissue injury degrees, and measuring water quality to establish a correlation with the descriptive scale. The main findings show that 42.6% of organisms for both marine species present injuries, identifying loss of tissue in the gastrodermis and epithelium tissue, atrophied mesenteries and low presence of zooxanthellae associated with white syndrome (WS). The most affected species is *P. damicornis* due to its fragile structure that is more vulnerable to tissue loss and WS. There are no significant values ( $p < 0.05$ ) between the correlation of injured organisms and the environmental variables (water quality and nutrients). Carrying out new research studies in order to determine the variables affecting coral reefs on the Ecuadorian coast is recommended.

*Keywords:* histopathology, injures, *P. damicornis*, *P. lobata*, *Fondo de Ureles* coral reef

## TABLA DE CONTENIDO

<b>Introducción .....</b>	<b>13</b>
<b>Metodología .....</b>	<b>16</b>
Área de estudio .....	16
Obtención de muestra .....	17
Fijación de las muestras .....	17
Proceso de descalcificación .....	17
<b>Histología.....</b>	<b>18</b>
<i>Inclusión</i> .....	18
<i>Corte</i> .....	18
<i>Tinción</i> .....	18
<b>Análisis microscópico.....</b>	<b>19</b>
<b>Correlación de los parámetros físico-químicos con el estado de salud de los corales .....</b>	<b>19</b>
<i>Parámetros físico-químicos</i> .....	19
<i>Análisis de nutrientes</i> .....	20
<b>Evaluación del estado de salud de los corales .....</b>	<b>21</b>
<b>Análisis estadístico .....</b>	<b>21</b>
<b>Resultados.....</b>	<b>22</b>
<b>Descripción del deterioro de los tejidos blandos de los corales Scleractinios .....</b>	<b>22</b>
<b>Evaluación de afectación de tejido por especies.....</b>	<b>24</b>
<b>Interacción entre variables ambientales y corales enfermos .....</b>	<b>25</b>
<b>Conclusión .....</b>	<b>29</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>30</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 1.</b> Escala descriptiva del estado de deterioro de los tejidos blandos de corales.....	<b>19</b>
<b>Tabla 2.</b> Rango de estado de salud del coral .....	<b>21</b>
<b>Tabla 3.</b> Estado de deterioro de los tejidos blandos de corales.....	<b>22</b>
<b>Tabla 4.</b> Diferencia de afección de tejidos entre <i>P. damicornis</i> y <i>P. lobata</i> .....	<b>24</b>
<b>Tabla 5.</b> Correlación entre variables ambientales y especies de corales enfermos.....	<b>25</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

<b>Figura 1.</b> Localización de Jaramijó y puntos de muestreo en el arrecife coralino “Fondo de Ureles”.....	<b>16</b>
<b>Figura 2.</b> Muestro a través de transecto de banda y cuadrante utilizado para la toma de datos.	<b>17</b>
<b>Figura 3.</b> Pared corporal (actino-faringe). a) <i>Pocillopora damicornis</i> b) <i>Porites lobata</i> . Células epidérmicas separadas del epitelio, cavidades gástricas con restos celulares (círculos rojos). Desprendimiento de tejido (círculos verdes) en la gastrodermis (GD).....	<b>22</b>
<b>Figura 4.</b> Pared corporal basal (gametos y mesenterios) en la gastrodermis. a) <i>Pocillopora damicornis</i> b) <i>Porites lobata</i> . Zooxantelas (círculo verde). Células epidérmicas separadas del epitelio. Oocitos atrésicos (GD) (flechas).....	<b>23</b>
<b>Figura 5.</b> Pared corporal superficial (cambio de tonalidad de bandas). a) <i>Pocillopora damicornis</i> b) <i>Porites lobata</i> . Zooxantelas (círculos verdes). Células epidérmicas desprendidas del epitelio (círculos rojos). Pérdida de la apariencia celular de la gastrodermis (flechas). ..	<b>24</b>

## Introducción

Los arrecifes de corales son uno de los ecosistemas marinos más diversos. Se conforman por un exoesqueleto de carbonato cálcico, estas estructuras actúan como refugio para diversos organismos (poliquetos, anémonas, esponjas, moluscos, crustáceos, peces, etc.) los cuales utilizan los corales para actividades biológicas entre ellas alimentación, reproducción, hábitat, simbiosis, entre otros aspectos (Rodríguez et al., 2022). Además de su importancia ecológica, también brindan beneficios económicos debido a que las zonas turísticas y pesqueras aprovechan la diversidad de dichos arrecifes (Burke y Spalding, 2022). El crecimiento y conservación de los arrecifes de coral se ven asociados a las condiciones oceanográficas y actividades antropológicas, a las cuales están expuestos de manera constante por su cercanía con las costas (Croquer et al., 2022).

El océano Pacífico Oriental se caracteriza por presentar una gran diversidad de arrecifes de corales gracias a las características oceanográficas que presenta la región. Los países como México, Colombia, Costa Rica y Ecuador son un claro ejemplo ya que presentan arrecifes coralinos a lo largo de todas sus costas (Martínez, 2021). Sin embargo, durante los últimos años se ha perdido gran parte de los corales debido al constante deterioro. Stranges et al. (2019) menciona que el impacto de la población humana y su gran densidad es el principal factor para la degradación de los arrecifes afectando directamente su desarrollo. Por otra parte, el cambio climático ha provocado una variación de temperatura en los océanos originando así un mayor fenómeno de blanqueamiento en los corales. Fansa (2021) indica que en Costa Rica ha reducido un 36,2 % de su cobertura debido a las elevadas temperaturas. Mientras que Colombia reporta una pérdida de aproximadamente el 50% de los arrecifes por Larrotta (2021) como resultado del aumento de temperaturas y alta proliferación de nutrientes.

Los arrecifes de coral son muy vulnerables a los cambios fisicoquímicos y ambiental a los que se ven sometidos constantemente en su entorno, como resultado de dichas afecciones se pierde la cobertura coralina. Sin embargo, no se conoce el deterioro a nivel de sus tejidos. Para conocer a profundidad el daño de los tejidos blandos de colonias de coral se aplica la técnica histológica, a pesar de ser escasos los trabajos dedicados a la histopatología de corales se reportan estudios en México, Francia y las costas del Atlántico NE.

Rodríguez et al. (2014) analizó la morfología de las lesiones en los tejidos blandos de *Pocillopora spp* mediante análisis histológicos-microscópico en diversos sitios del Pacífico mexicano, obteniendo como resultado *P. damicornis* es la especie más afectada con un 91% de pérdida en sus tejidos. Utilizando la misma técnica histológica Appah et al., (2022) analizaron los corales escleractinios del Atlántico obteniendo que el 40% de los corales perdió parte de sus tejidos. Por otra parte, Pogoreutz et al., (2022) en la isla Clipperton analizaron los géneros *Porites* y *Pocillopora* bajo la misma técnica, concluyendo que sus tejidos también se vieron afectados se ven afectados. Estos tres estudios comparten la misma causa de afección, a pesar de ser zonas diferentes sus arrecifes coralinos se ven afectados por las olas de calor y exceso de nutrientes derivados las perturbaciones del medio mismas que son asociadas al síndrome blanco (WS).

En Ecuador no existen trabajos destinados al estudio histopatológico de los arrecifes coralinos, los principales estudios de salud sobre las áreas coralinas se sitúan en las Galápagos. Es así que Glynn et al., (2018) presentan la pérdida del 95% de los arrecifes coralinos en todo el archipiélago debido a un fenómeno del Niño en el 83 hasta el 2007, mientras que en la zona continental los principales arrecifes rocosos coralinos se encuentran en Machalilla-Manabí. Además, Ángulo (2019) realizó una caracterización química sobre el impacto ambiental en las comunidades coralinas de la reserva marina El Pelado determinando que se reportan anomalías en el crecimiento de los corales.

En las zonas de Manta y Jaramijó se han reportado fragmentaciones en los corales debido a las causas de origen antrópico (Trujillo, 2017; Baque, 2019). El estudio más reciente comparó el estado de los corales entre los años 2017 y 2021, determinando que las crestas coralinas se ven afectadas por las redes de pesca ya que son mucho más sensibles que otros macroinvertebrados, además de esto los factores ambientales también se ven involucrados principalmente la temperatura, pH y las altas concentraciones de nutrientes a causa de los sistemas de vertimiento de aguas residuales y la disposición de desechos sólidos que terminan en el mar (Palma, 2021).

Con base ante estos antecedentes se denota la importancia de investigar el estado de salud de los arrecifes de coral mediante histología, la cual es una técnica que ayuda a analizar de forma más detallada los daños a nivel de tejido que presentan las colonias de coral. Por ello, este trabajo fue dirigido a evaluar mediante herramientas de análisis histopatológicos el estado de salud de los corales del arrecife “Fondo de Ureles”, a través de análisis microscópicos y correlación de los parámetros físico-químico, logrando así identificar las especies de coral con mayor afección dentro de sus tejidos blandos.

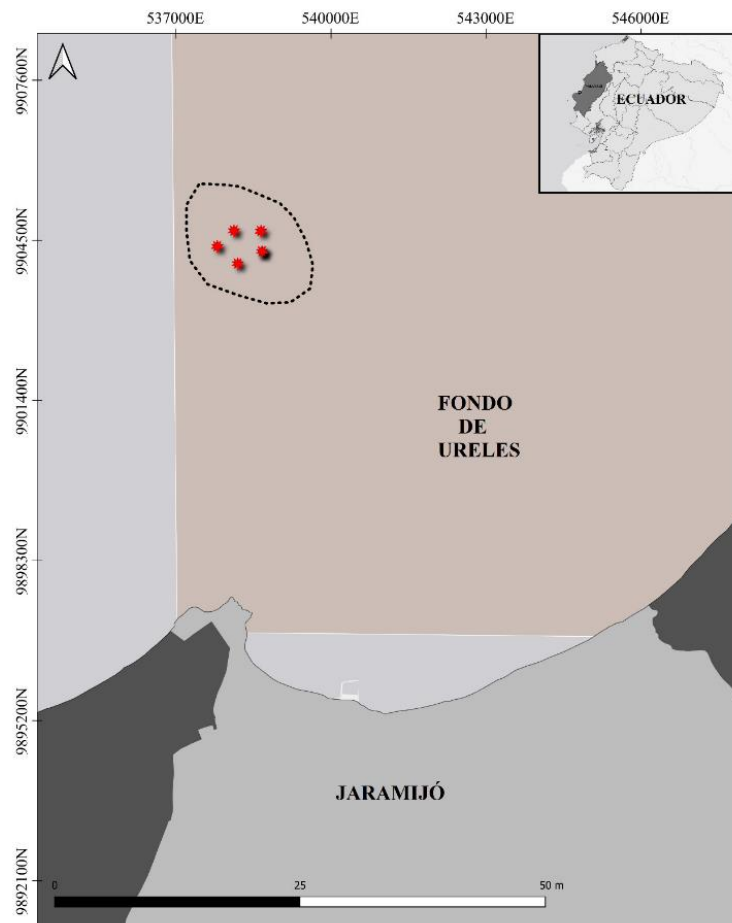
## Metodología

### Área de estudio

El lugar de estudio se encuentra en el cantón Jaramijó, ubicado aproximadamente a 4 km de la costa ( $00^{\circ}54'06.4''$  S –  $80^{\circ}38'51.0''$  O, figura 1), es un fondo rocoso coralino conocido como “Fondo de Ureles” (Palma, 2021). Debido a la erosión y sedimentación de las costas a las que el Pacífico se ve sometido, se considera una zona marginal ya que se ve afectada por el arrastre de sedimentos (Soledispa, 2012). Este sitio reporta una gran contaminación por redes de pesca, esto se debe al gran desarrollo de la de la misma, Jaramijó cuenta con aproximadamente 300 embarcaciones de pesca artesanal (Zambrano et al., 2021).

Figura 1.

*Localización de Jaramijó y puntos de muestreo en el arrecife coralino “Fondo de Ureles”.*



### Obtención de muestra

El muestreo se realizó en marzo de 2023 mediante buceo autónomo. Tomando como referencia la metodología de Rodríguez et al., (2014) fueron empleados 5 transectos de 10 metros de forma perpendicular a la costa, utilizando un cuadrante de 50 x 50 cm en intervalos de 2,5 metros obteniendo un total de 225 puntos de muestreo (figura 2). A partir de los transectos realizados fueron colectados 125 corales (*Cnidaria: Anthozoa*) pertenecientes a la subclase *Hexacorallia*, del orden *Scleractinia*; de los cuales 62 correspondían a la especie *Pocillopora damicornis* y 63 a *Porites lobata*. De dichos fragmentos de coral colectados 43 se encontraban sanos y 82 blanqueados con una decoloración del 50%.

Figura 2.

*Muestro a través de transecto de banda y cuadrante utilizado para la toma de datos.*



### Fijación de las muestras

Se siguió las instrucciones de la guía de Work et al., (s.f). Se colocaron los fragmentos de coral en frasco de 100 ml esterilizados con una solución fijadora (zinc-formalina). El volumen aplicado de la solución fue dos veces más que el volumen del fragmento de coral.

### Proceso de descalcificación

Para descalcificar las muestras de coral previamente recolectadas se utilizó una mezcla de formaldehído, ácido muriático a 28% y metanol. Este proceso tardó tres días.

## **Histología**

### *Inclusión*

Para la inclusión del tejido de coral en parafina se requirió la deshidratación del mismo en etanol de gradación creciente. El tejido de coral fue sumergido en agua (3x10 min), posteriormente en etanol 70° (3x10 min), etanol 90° (3x10 min), etanol 96° (3x10 min) y etanol 100° (4x10 min). Luego de la deshidratación, se transfirió a una solución de xileno al 100% (3x10 min). Por último, se pasó el tejido al molde y se colocó la parafina líquida previamente preparada en una estufa a 60°C durante dos horas, luego del enfriamiento se obtuvo el bloque de parafina con el tejido de coral (A. Alarcón, *comunicación personal*, 17 de abril del 2023).

### *Corte*

Para la realización de los cortes se utilizó un microtomo de rotación. Antes de iniciar este proceso se realizó un retallado en el bloque de parafina dándole forma de pirámide truncada, tomando en cuenta las caras de la pirámide para un corte longitudinal de aproximadamente 3 µm. Los primeros cortes realizados fueron del proceso de desbastado para eliminar los sobrantes entre la parafina y el tejido. Los cortes obtenidos se manipularon con ayuda de un pincel y colocados en portaobjetos previamente tratados con albumina para la adherencia del tejido. Por último, las muestras fueron colocadas sobre una plancha térmica donde se les colocó agua calentada a 35°C para la eliminación del sobrante de parafina. Después de la evaporación del agua el tejido es adherido al portaobjeto y está listo para la tinción (A. Alarcón, *comunicación personal*, 17 de abril del 2023).

### *Tinción*

Se utilizó hematoxilina-eosina para la tinción de los tejidos. Se realizó la hidratación de los cortes, ya que estos colorantes son hidrosolubles. En este caso la gradación del etanol es decreciente, se sumergió en etanol 100° (2x10 min), etanol 96° (10 min), etanol 80° (10 min) y agua destilada (10 min). Para la tinción se sumergió en hematoxilina (3 min), agua (15 min),

agua destilada (2x10 min), eosina (30 segundos). Para el sellado de tinción se volvió a utilizar etanol de gradación creciente; etanol 96° (30 segundos), etanol 100° (10 min); por último, xileno (2x10 min). Después, se realizó el montado de las muestras colocando un cubreobjetos sobre los cortes (A. Alarcón, *comunicación personal*, 17 de abril del 2023).

### **Análisis microscópico**

Para la examinación mediante microscopía se emplearon los trabajos de Galloway (2007) y (Rodríguez, 2016) de histología coralina antes descritos, donde se muestran las diferentes lesiones que presentan las especies de corales.

Con base en los trabajos mencionados anteriormente, se realizó una escala descriptiva de los grados de afección que pueden presentar los tejidos blandos de los corales (tabla 1).

Tabla 1.

*Escala descriptiva del estado de deterioro de los tejidos blandos de corales.*

<b>Categoría</b>	<b>Descripción</b>
Leve	Células epidérmicas no adheridas al epitelio, pérdida de tejido alrededor de la gastrodermis.
Moderado	Células gastrodérmicas destruidas, pérdida de tejido y mesenterios atrofiados.
Severo	Deterioro del epitelio. Pérdida de la apariencia celular de la gastrodermis.
Avanzado	Destrucción casi completa del tejido, mesenterios atrofiados, pérdida de la apariencia celular de la gastrodermis.

De las observaciones hechas en el microscopio se tomaron fotografías empleando el software Microcapture, con el fin de evidenciar el deterioro presentado por los corales.

### **Correlación de los parámetros físico-químicos con el estado de salud de los corales**

#### *Parámetros físico-químicos*

- Salinidad: se utilizó un Salinómetro de la marca AUTOUTLET, con rango de medición de 0 - 100 ± 1 g/L.
- pH: se utilizó un pHEP 4 de la marca HANNA, con rango de medición de 0,00– 14,00 ± 0,01.

- Oxígeno disuelto y temperatura: se utilizó un equipo de la marca HANNA (HI9146), con rango de temperatura desde los 0,00 a 50,00 ± 0,01 °C; la lectura de oxígeno con rango de 0,00 – 18,00 ± 0,01 mg/L.
- Turbidez: se utilizó el disco Secchi de fabricación artesanal con lastre de plomo y marcaciones de la soga cada 5 cm.

#### *Análisis de nutrientes*

Las muestras de agua de mar fueron colectadas en frascos esterilizados (100 ml) en cada una de las zonas donde se colocaron los transectos para ser llevadas al laboratorio. Los análisis se realizaron mediante fotometría, bajo la metodología del kit Palintest descrita para cada uno de los nutrientes (Palintest™ Test Kit – Fisher Scientific).

- Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ): Se utilizó Palintest™ Nitrate. Se tomó 20 ml de agua de mar a temperatura ambiente, después se agregó 200 mg de polvo de zinc del kit nitrate-nitratest. Posteriormente se agregó una Nitrate Tablet, se agitó hasta su disolución y se esperó 15 min. Luego de este tiempo se tomó 10 ml del sobrenadante y se pasó a un tubo de ensayo, aplicamos una tableta de Nitrocol y se incubó por 10 min. Para finalizar la muestra fue transferida al equipo YSI 9300 para su lectura, la cual se presentó en mg/L.
- Fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ): Se utilizó el kit Phosphate Reagent. Se tomaron 10 ml de agua de mar a la cual fue añadida una tableta de fosfato N° I Tablet hasta su disolución, posteriormente se agregó un comprimido de phosphate N° II Tablet y se incubó durante 10 min. Por último, se realizó la lectura en el equipo YSI 9300 en mg/L.
- Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ): Se aplicó el kit de Palintest Ammonia. Se tomaron 10 ml de agua de mar, se añadió una tableta de Ammonia N° I Tablet hasta su disolución. Después, se agregó un comprimido de Ammonia N° II Tablet y se dejó incubar por 10 min. Por último, la lectura se realizó en mg/L mediante el equipo YSI 9300.

- Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>): Se aplicó el kit de Palintest. Se tomaron 10 ml de agua de mar, se añadió una tableta Nitricol hasta su disolución. Se dejó incubar aproximadamente 15 min, para finalmente colocar al fotómetro y realizar la lectura de datos en mg/L.

### **Evaluación del estado de salud de los corales**

Para determinar la condición de salud de las colonias de *P. damicornis* y *P. lobata* se tomó como guía el trabajo de Williamson et al., (2019) que determina el índice de salud arrecifal. Por ello se propuso la siguiente escala en base al daño a nivel de tejido (tabla 2).

Tabla 2.

*Rango de estado de salud del coral*

<b>Rango</b>	<b>Escala</b>
Bueno	<20%
Daño considerable	20% - 60%
Critico	>60%

### **Análisis estadístico**

Para determinar el estado de salud de los corales se realizaron análisis de estadística descriptiva a los datos de porcentaje de los fragmentos de corales sanos y enfermos. Además, se aplicó la una prueba T de Student para determinar si las diferencias significativas de afectación de tejido entre las especies eran significativas al nivel  $\alpha = 0,05$ , y se evaluó la relación entre variables ambientales e individuos enfermos mediante análisis de correlación de *Spearman*. Se empleó el programa estadístico *Infostat* versión 2020e.

## Resultados

### Descripción del deterioro de los tejidos blandos de los corales Scleractinios

El 30.6% de los individuos de *P. damicornis* y el 38.1% de *P. lobata* se encontraron sanos. Se observó al microscopio que en el 69,4% de *P. damicornis* enfermos, predominaron organismos con deterioro moderado del 22.6% y con deterioro severo del 21%, mientras en el 61,9% de *P. lobata* enfermos los porcentajes de organismos con este tipo de deterioro (leve y severo) fueron respectivamente del 14,3% y 15,9% (tabla 3).

Tabla 3.

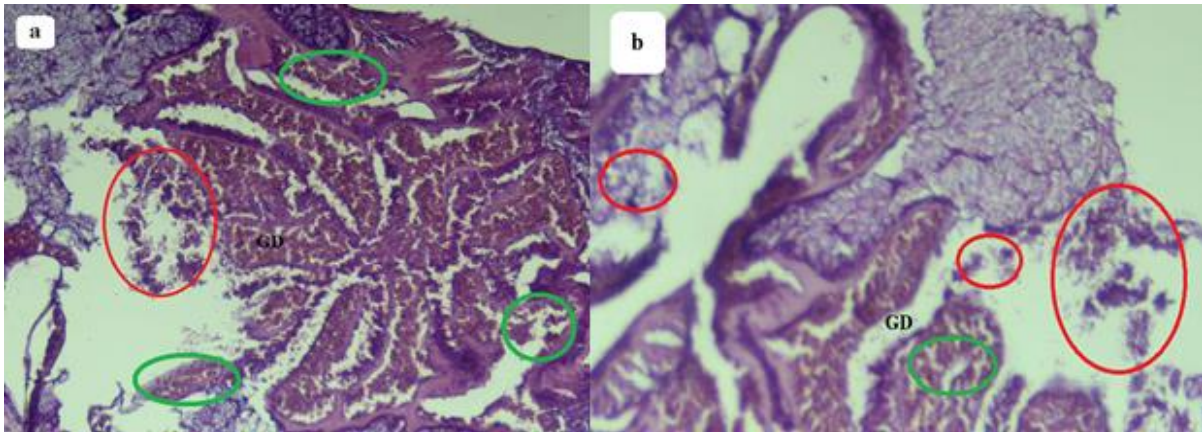
*Estado de deterioro de los tejidos blandos de corales.*

Especies	Individuos Colectados	Sanos	Enfermos				Totales
			Leve	Moderado	Severo	Avanzado	
<i>Pocillopora damicornis</i>	62	19	10	14	13	6	43
	Porcentaje	30.6%	16.1%	22.6%	21.0%	9.7%	69.4%
<i>Porites lobata</i>	63	24	17	9	10	3	39
	Porcentaje	38.1%	27.0%	14.3%	15.9%	4.8%	61.9%

Dentro de las lesiones presentadas se encontraron separaciones de las células epidérmicas en la parte basal del tejido, principalmente en la pared corporal superficial. Además, se presentó adelgazamiento, atrofia y desprendimiento de tejido en la gastrodermis y la epidermis (figura 3).

Figura 3.

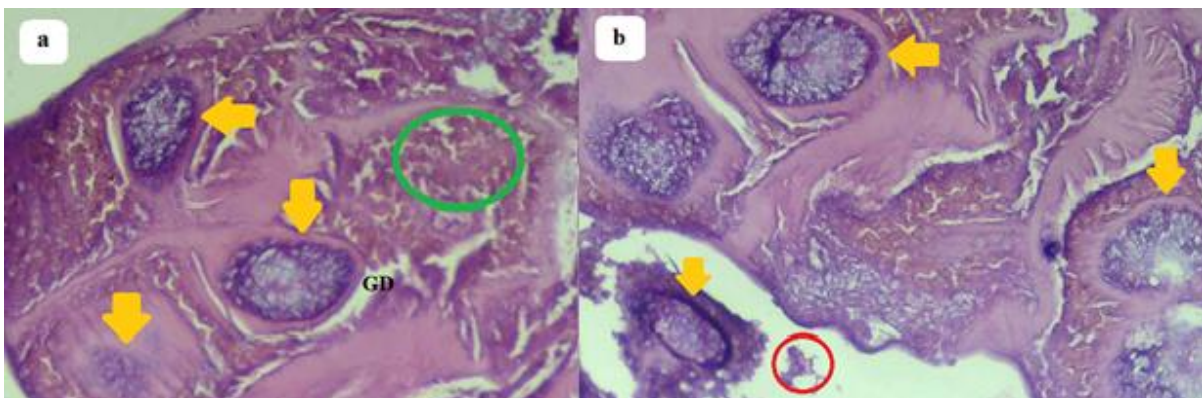
*Pared corporal (actino-faringe). a) Pocillopora damicornis b) Porites lobata. Células epidérmicas separadas del epitelio, cavidades gástricas con restos celulares (círculos rojos). Desprendimiento de tejido (círculos verdes) en la gastrodermis (GD).*



Se presento reducción del epitelio y restos de material celular con separación de la mesoglea. Debido al desprendimiento de las células epiteliales por la falta de unión en la pared corporal basal los mesenterios también presentaron ablaciones. Además, presencia de zooxantelas libres alrededor de la gastrodermis y como parte de un proceso natural de reciclaje de material altamente proteico se observó gametos con características atrésicas (figura 4).

Figura 4.

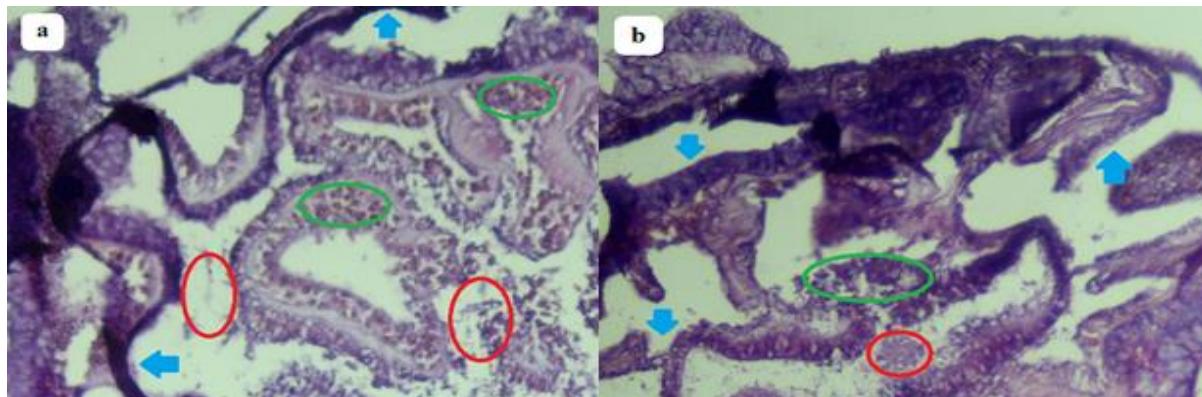
*Pared corporal basal (gametos y mesenterios) en la gastrodermis. a) Pocillopora damicornis b) Porites lobata. Zooxantelas (círculo verde). Células epidérmicas separadas del epitelio. Oocitos atrésicos (GD) (flechas).*



Alteraciones en los mesenterios y la coenénquima de los pólipos mostrando pérdida parcial de la estructura celular gastrovascular. Cambios apreciables como adelgazamiento y desprendimiento de células en la mesoglea. Adicionalmente, zooxantelas alrededor de la gastrodermis (figura 5).

Figura 5.

*Pared corporal superficial (cambio de tonalidad de bandas). a) Pocillopora damicornis b) Porites lobata. Zooxantelas (círculos verdes). Células epidérmicas desprendidas del epitelio (círculos rojos). Perdida de la apariencia celular de la gastrodermis (flechas).*



Dentro del total de muestras analizadas, nueve casos presentaron en su totalidad las lesiones descritas anteriormente.

#### **Evaluación de afectación de tejido por especies**

Los resultados de la prueba T indican que a pesar de observar mayor afectación de tejidos en *P. damicornis* que en *P. lobata*, las diferencias de las medias de las observaciones no eran estadísticamente significativas al nivel de significación  $\alpha = 0,05$  (tabla 4).

Tabla 4.

Diferencia de afectación de tejidos entre *P. damicornis* y *P. lobata*

<b>Prueba T para muestras Independientes</b>		
Variable: Individuos enfermos - Clasific: Especie - prueba: Bilateral		
	<i>Pocillopora damicornis</i>	<i>Porites lobata</i>
<i>n</i>	5	5
<i>Media</i>	8,6	7,8
<i>Varianza</i>	7,3	3,7
<i>Media (1)-Media (2)</i>	0,8	
<i>LI (95)</i>	-2,62	
<i>LS (95)</i>	4,22	
<i>pHomVar</i>	0,5266	
<i>T</i>	0,54	
<i>gl</i>	8	
<i>p-valor</i>	0,6043	

### Interacción entre variables ambientales y corales enfermos

No se observó una correlación significativa entre los organismos enfermos y las variables ambientales. Sin embargo, se presentan altos índices de correlación inversa. Para la especie *P. damicornis* se encontró una correlación inversa elevada entre la presencia de organismos enfermos con el oxígeno disuelto y el fosfato; mientras *P. lobata* tuvo una correlación inversa con el nitrato y la turbidez. Complementariamente *P. damicornis* tuvo una correlación positiva moderada con la turbidez y *P. lobata* con el fosfato y el oxígeno disuelto (tabla 5).

Tabla 5.

*Correlación entre variables ambientales y especies de corales enfermos.*

Especie % CB	Salinidad	pH	Oxígeno disuelto	Temperatura	Turbidez	Amonio	Nitrito	Nitrato	Fosfato
<i>Pocillopora damicornis</i>	-0,473	-0,026	-0,835	0,197	0,614	-0,176	-0,216	0,465	-0,752
Significancia	0,421	0,967	0,078	0,750	0,271	0,778	0,728	0,430	0,142
<i>Porites lobata</i>	0,380	-0,340	0,538	-0,471	-0,623	-0,329	0,408	-0,803	0,668
Significancia	0,528	0,575	0,349	0,423	0,262	0,589	0,495	0,102	0,218

Nota: Coral Blanqueado (CB)

## Discusión

Este trabajo de investigación tuvo como propósito determinar el grado de deterioro en los tejidos blandos de los corales que conforman el arrecife Fondo de Ureles, en Jaramijó, identificar las especies con mayor afectación de sus tejidos blandos y establecer correlaciones entre los organismos afectados y las variables fisicoquímicas obtenidas.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la examinación bajo microscopio, se determinó que las especies de *P. damicornis* y *P. lobata* presentaron alrededor del 42.6% de sus organismos enfermos. Dentro de las lesiones observadas en los tejidos se mostraron células epidérmicas no adheridas al epitelio, pérdida de tejido alrededor de la gastrodermis, deterioro del epitelio y mesenterios atrofiados. Rodríguez, J. (2016) presentó resultados similares describiendo estas lesiones como pérdida de tejido no definido, sin embargo, por la similitud de las lesiones fueron asociadas al síndrome blanco (WS), al igual que el estudio a nivel macroscópico y microscópico de Rodríguez et al. (2014) donde expresa que el 91% de las lesiones son a causa del WS asociado a agentes patógenos.

Mediante la evaluación microscópica del deterioro de los tejidos y la prueba T, se determinó que los organismos enfermos pertenecientes a *P. damicornis* y *P. lobata* no son estadísticamente significativas, sin embargo, los grados de afección de *P. damicornis* fueron superiores a *P. lobata* con un 7,5 %. Pratchett et al. (2015) indica que la resistencia de estas especies de coral se ve relacionado a su estructura física. Un resultado similar se encuentra en el estudio de Palma (2021) el cual expresa que la estructura de *P. damicornis* es más frágil que *P. lobata* la cual posee una estructura es más compacta y rígida, por ende, es más vulnerable a los daños físicos como fracturas, ocasionadas principalmente por redes de pesca.

Baque (2019) expresa que la pesca con redes y la denominada pesca fantasma (redes netamente abandonadas), es una de las principales causas de fracturas coralinas de la ensenada de Jaramijó, Además, la investigación de Zambrano et al., (2021) presenta que la

contaminación del arrecife coralino “fondo de Ureles” es provocada principalmente por el sistema de vertimiento de aguas residuales y la disposición de desechos sólidos que terminan en el mar.

Como fue mencionado anteriormente la vulnerabilidad de la estructura coralina provoca daños dentro de sus tejidos, es por ello que al presentar lesiones y encontrarse en ambientes de contaminación se pueden convertir en hospedadores idóneos de agentes patógenos.

La salud de los organismos marinos está muy relacionado con las características del medio donde se encuentran, por esto en este estudio además de examinar el estado de deterioro se tuvieron en consideración las variables ambientales relacionadas con la temperatura, pH, oxígeno disuelto, salinidad y niveles de los nutrientes con el fin de encontrar una correlación, no obstante, los índices de correlación demostraron no tener significancia ( $p < 0,05$ ). Por lo tanto, los resultados observados pueden atribuirse a otro tipo de deterioro ambiental; tales como: toxinas ambientales, presión de las zonas pesqueras y distribución de las colonias de coral en relación a dichas pesquerías, variables que no fueron consideradas en este estudio.

La ensenada de Jaramijó cuenta con fábricas, entre ellas una planta desalinizadora. El exceso de desechos de dichas fábricas puede ser una causa del deterioro de los corales presentes en arrecife. Westmacott, et al., (2000) indica que la eliminación de desechos de origen industrial dirige el aumento excesivo de los niveles de nutrientes y toxinas mismas que terminan por contaminar los arrecifes produciendo un daño gradual e incluso una producción elevada de algas como menciona Rodríguez et al. (2014), dicha proliferación puede excluir los corales por un eventual dominio dentro del arrecife por parte de las algas.

Los desechos industriales y niveles de nutrientes pueden sedimentarse en el fondo marino afectando los arrecifes de coral. Zambrano (2016) analizó la tolerancia de los arrecifes ante en sedimento del pacífico colombiano, determinando que la tolerancia puede variar de las condiciones ambientales y la adaptabilidad que presenten las especies de coral, adicionalmente,

*P. damicornis* especie dominante de la zona a pesar de poseer tolerancia alta también sufre daños en su estructura física.

Como ya se ha mencionado anteriormente los arrecifes coralinos también se ven afectados por las pesquerías. Westmacott, et al., (2000) en sus estudios de las afecciones de los arrecifes también menciona que las pesquerías pueden ser un causante directo e indirecto de los daños. A pesar de ocasionar roturas en los corales por las redes, adicional a esto puede interferir negativamente en los arrecifes que estén presentando una mortalidad severa, ya que interfiere con la recuperación de su estructura física. López y Sánchez (2023) indican en su estudio que el principal problema de las pesquerías en los arrecifes es no tener en cuenta la distribución, importancia y estado de dichos arrecifes de la costa ecuatoriana.

Al tomar datos de nutrientes y factores ambientales en la superficie de los puntos muestreados en el arrecife fondo de Ureles y obtener valores de significancia  $p > 0,05$  en el análisis de correlación, podemos asumir que el tamaño de la muestra colectada no fue suficiente para determinar si existe o no una correlación o simplemente las afecciones encontradas se ven relacionadas a otras variables como toxinas ambientales, presión de las zonas pesqueras y distribución de las colonias de coral en relación a dichas pesquerías, mismas que se expresaron anteriormente.

Se recomienda realizar nuevas investigaciones a raíz de esta, tomando en consideración las posibles variables que puedan estar afectando los tejidos de las colonias de coral en el Ecuador.

### Conclusión

- Mediante el análisis microscópico se logró determinar que predominaron los grados de deterioro moderado y severo con un 22.0% para *P. damicornis*; mientras que en *P. lobata* predominó un deterioro leve y moderado con un 20.6%.
- Pese a encontrarse coeficientes positivos de correlación ( $0,50 < r < 0,67$ ) entre la turbidez y el deterioro de *P. damicornis*, y entre los niveles de fosfato y oxígeno disuelto con *P. lobata*, estas no fueron significativas ( $p > 0,05$ ), sugiriendo la necesidad de estudios posteriores con mayor número de datos de las condiciones fisicoquímicas de las zonas muestreadas.
- Las colonias de *P. damicornis* y *P. lobata* se encuentran afectadas a nivel de tejido en un 42.6% por blanqueamiento (WS), determinado que su estado de salud está afectado considerablemente.

## Bibliografía

- Angulo Pulgar, J. E. (2019). *Caracterización química y evaluación del impacto ambiental de la especie Carijoa Riisei sobre las comunidades coralinas de la reserva marina El Pelado* [Bachelor's thesis]. Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química.
- Appah J, Lynch S, Lim A, O' Riordan R, O'Reilly L, de Oliveira L y Wheeler A (2022). A health survey of the reef forming scleractinian cold-water corals *Lophelia pertusa* and *Madrepora oculata* in a remote submarine canyon on the European continental margin, NE Atlantic. *Journal of Invertebrate Pathology*, 192, 107782.  
<http://doi.org/10.1016/j.jip.2022.107782>
- Baque Macías, I. W. (2020). *Pesca fantasma y su impacto en los ecosistemas marinos de San Mateo, Jaramijó y Crucita, año 2019* [Master's thesis]. UTEQ, Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Burke L y Spalding M. (2022). Shoreline protection by the world's coral reefs: Mapping the benefits to people, assets, and infrastructure. *Marine Policy*, 146, 105-311.  
<http://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105311>
- Croquer, A., Zambrano, S., Irazabal, I., y Torres, R. (2022). Factores globales y locales que inciden sobre la degradación de los arrecifes coralinos: Una revisión para la República Dominicana. *AULA Revista de Humanidades y Ciencias Sociales*, 68 (1), 31-60  
<http://doi.org/1033413/aulahcs.2022.68i1.19>
- Fansa Fernández, D. (2021). *Impacto del blanqueamiento en la salud de los arrecifes de coral en el Caribe Sur de Costa Rica*. [Tesis de grado en Ciencias del Mar y Ambientales]. Universidad de Cádiz.
- Figueroa, J., Tortosa, F., y Carpio, A. (2019). *Fracturas de corales por artes de pesca abandonados afecta a sostenibilidad de los arrecifes marginales de Ecuador*. Manta: Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM).

- Galloway SB, Work TM, Bochsler VS, Harley RA, Kramarsky-Winters E, McLaughlin SM, Meteyer CU, Morado JF, Nicholson JH, Parnell PG, Peters EC, Reynolds TL, Rotstein DS, Sileo L, and Woodley CM. (2007). *Coral Disease and Health Workshop: Coral Histopathology II*. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 56 and NOAA Technical Memorandum CRCP 4. National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring, MD. 84p.
- Gil-Agudelo, D. L., Navas-Camacho, R., Rodríguez-Ramírez, A., Reyes-Nivia, M. C., Bejarano, S., Garzón-Ferreira, J., & Smith, G. W. (2009). Enfermedades coralinas y su investigación en los arrecifes colombianos. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*, 38(2), 189-224.
- Glynn P, Feingold J, Baker A, Banks S, Baums I, Cole J, Colgan M, Fong P, Glynn P, Keith I, Manzello D, Riegl B, Ruttenberg B, Smith T y Vera-Zambrano M. (2018). State of corals and coral reefs of the Galápagos Islands (Ecuador): Past, present and future. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 717-733.  
<http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.002>
- Larrotta, J. (2021). *Estado de salud de comunidad coralina en ambiente extremo, arrecife de Barú, Caribe colombiano*. [Tesis de grado en Microbiólogo (a) Industrial]. Pontificia Universidad Javeriana Bogotá D.C.
- López Alcivar, G. F., y Vasquez Sanchez, L. R. (2023). *Influencia de la contaminación de los asentamientos humanos sobre los arrecifes de coral en la costa continental de Ecuador* (Bachelor's thesis, Jipijapa-Unesum).
- Martínez Piva, J. M. (2021). Repaso de las propuestas para el desarrollo de América Latina y el Caribe. *Revista de Fomento Social*, (300), 231-247.  
<http://doi.org/10.32418/rfs.2021.300.5027>

- Palma Sánchez, M. Á. (2021). *Evaluación y estado de conservación del grado de resiliencia de los arrecifes coralinos marginales de Ecuador*. [Tesis de Biología Marina]. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Pogoreutz C, Clua E y Tortolero-Langarica J. (2022). High live coral cover and incidence of a pink-spotted coral phenotype on remote reefs off Clipperton Island, Tropical Eastern Pacific. *Marine Biology*, 169 (9), 1-10. <http://doi.org/10.1007/s00227-022-04101-3>
- Pratchett MS, Anderson KD, Hoogenboom MO, Widman E, Baird AH, Pandolfi JM, Edmunds PJ, Lough JM (2015) Variación espacial, temporal y taxonómica en el crecimiento de los corales: implicaciones para la estructura y función de los ecosistemas de arrecifes de coral. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev* 53: 215–295
- Rodríguez Rincón, A. M., Navarrete Ramírez, S. M., Gómez López, D. I., & Navas Camacho, R. (2014). Protocolo Indicador Condición Tendencia Áreas Coralinas (ICTAC). Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP). Invemar, GEF y PNUD. Serie de Publicaciones Generales del Invemar No. 66, Santa Marta. 52 p.
- Rodríguez, J. (2016). *Estado de salud de colonias de Pocillopora en el Pacífico mexicano*. [Tesis de doctorado. Ciencias]. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.
- Rodríguez, R., Báez Taveras, D.B., Valcárcel Abud, A., Evangelista Pérez, D.Y., Bello De Lillo, Y.P., y Matos Mercedes, J. (2022). Importancia de los viveros de coral y su impacto socioeconómico. *AULA Revista de Humanidades y Ciencias Sociales*, 68 (1), 78-91 <http://doi.org/1033413/aulahcs.2022.68i1.199>
- Rodríguez-Villalobos J, Rocha-Olivares A, Work T, Calderon-Aguilera L y Càcares-Martínez J. (2014). Gross and microscopic pathology of lesions in *Pocillopora* spp.

from the subtropical eastern Pacific. *Journal of Invertebrate Pathology*, 120, 9-17.

<http://doi.org/10.1016/j.jip.2014.04.007>

Soledispa, B. (2012). Caracterización geomorfológica y sedimentológica de la bahía de Jaramijó, en la provincia de Manabí. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 17 (1), 205-2020.

Stranges S, Cuervo-Robayo A, Martínez-Meyer E, Morzaria-Luna H y Reyes-Bonilla H. (2019). Potential changes in the distribution of the genus *Pocillopora* (Anthozoa: Scleractinia) in the Eastern Tropical Pacific under climate change scenarios. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90(2), 1-16.

<http://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2696>

Trujillo, M. (2017). *Evaluación de la tasa de crecimiento de corales ramificados del género Pocillopora (Anthozoa: Scleractinia) en dos sitios con fondos rocosos de la costa de Manabí*. [Doctoral dissertation, Tesis de licenciatura] Facultad Ciencias del Mar. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Westmacott, S., Teleki, K., Wells, S y West, J. M. (2000) *Manejo de arrecifes de coral blanqueados o severamente dañados*. UICN, Gland, Suiza y Cambridge, Reino Unido. Vii + 36 pp.

Williamson, M., Williams, D., Arróliga, O., Mendoza, J., Torres, N., & Flores, O. (2019). Índice de salud arrecifal (ISA) en los arrecifes coralinos de Cayos Miskitos. *Revista Universitaria Del Caribe*, 22(1), 16–23. Doi: <https://doi.org/10.5377/ruc.v22i1.8414>

Work, T. M., Villalobos, J. C. R., & CICESE, E. M. (s.f). *Recolectando corales para histopatología*. Guía práctica.

Zambrano, J. P. U., Macías, I. W. B., Urdánigo, E. J. V., & Mero, G. J. Z. (2021). Pesca fantasma y su impacto en los ecosistemas marinos de San Mateo, Jaramijó y Crucita. *Ingeniería e Innovación*, 9(2).

Zambrano Franco, V. (2016). *Evaluación experimental del impacto de la sedimentación en el coral Pocillopora damicornis en la Isla Gorgona.*