



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

**EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE *Pocillopora*
damicornis IN SITU Y EX SITU, ECUADOR**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

**Previo a la obtención del Título de:
BIÓLOGA**

Catherin Salome Herrera Betancourt

Tutor:

Blga. Ana Gabriela Balseca Vaca M.Sc

LA LIBERTAD – ECUADOR

2026

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

**EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE *Pocillopora*
damicornis IN SITU Y EX SITU, ECUADOR**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

**Previo a la obtención del Título de:
BIÓLOGA**

Autor:

Catherin Salome Herrera Betancourt

Tutor:

Blga. Ana Gabriela Balseca Vaca M.Sc

LA LIBERTAD – ECUADOR

2026

DECLARACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de Docente Tutor del Trabajo de Integración Curricular, **“EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE *Pocillopora damicornis* IN SITU Y EX SITU, ECUADOR”**, elaborado por Catherin Salomé Herrera Betancourt, estudiante de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Bióloga, 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. Ana Balseca Vaca. M.Sc
DOCENTE TUTOR

DECLARACIÓN DEL DOCENTE DE ÁREA

En mi calidad de Docente Especialista, del Trabajo de Integración Curricular “**EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE *Pocillopora damicornis* IN SITU Y EX SITU, ECUADOR**”, elaborado por Catherin Salomé Herrera Betancourt, estudiante de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Bióloga, me permito declarar que luego de haber evaluado el desarrollo y estructura final del trabajo, éste cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por la cual, declaro que se encuentra apto para su sustentación.

Atentamente,



Blga. María Cornejo Rodríguez. Ph.D
DOCENTE DE ÁREA

DEDICATORIA

Para Salito, gracias por no rendirte, por
mantener viva la ilusión y recordarme que
cada esfuerzo vale la pena.

Hoy cumpla tu sueño, el nuestro y con
orgullo puedo decirte que los sueños sí se
cumplen.

AGRADECIMIENTO

Quiero comenzar dando gracias a Dios por estar presente en cada paso de este camino, por protegerme, guiarme y darme la fuerza para continuar día a día.

A mi mamá, Amparito Betancourt, mi papá Edwin Herrera, y mi hermano Erick, no existen palabras suficientes para expresar todo lo que significan para mí, su amor incondicional, sus sacrificios y su fe, han sido el motor que me impulsó a seguir adelante, gracias por creer en mí y aun en la distancia, nunca dejarme sola. A mis abuelos, tíos, tías, primos y a toda mi familia en general, gracias por creer en mis sueños y por comprender mi ausencia durante todos estos años.

A mi pareja, quien con su amor, cariño y apoyo ha sido mi refugio, gracias por celebrar mis logros y darme fuerzas en los momentos difíciles.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Blga. Ana Gabriela Balseca Vaca, mi tutora de tesis, y a Mvt. Matteo Andrés Espinosa, especialista en macroinvertebrados marinos, por confiar en mí y en el desarrollo de esta investigación, gracias por su guía, paciencia y apoyo constante, su acompañamiento marcó una diferencia en todo este trayecto.

A mis amigos, compañeros y ahora colegas, gracias por ser parte de esta etapa inolvidable, por compartir risas, dudas, desvelos y triunfos, por hacer de este camino una experiencia llena de recuerdos y aprendizaje.

A las autoridades y al personal académico de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, especialmente a los docentes de la Facultad Ciencias del Mar por su dedicación, paciencia y brindarme conocimientos durante toda mi formación profesional.

Y, finalmente, mi gratitud a la Universidad Internacional del Ecuador y al personal de Dirección de investigación (DGI) por abrirme sus puertas y permitir el desarrollo del componente *Ex Situ* de esta investigación.

TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **Catherin Salomé Herrera Betancourt** como requisito parcial para la obtención del grado de Biólogo/a de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 11 de diciembre del 2025



Ing. Jimmy Villón Moreno. M.Sc
**DIRECTOR/A DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



Blga. María Cornejo Rodríguez. Ph.D
**PROFESOR DE ÁREA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Blga. Ana Balseca Vaca. M.Sc
**DOCENTE TUTOR
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Blgo. Richard Duque Marín. M.Gs
**DOCENTE GUÍA DE LA UIC II
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Lcdo. Pascual Roca Silvestre. Mgtr.
SECRETARÍA DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN EXPRESA

Yo, Catherin Salomé Herrera Betancourt, me responsabilizo por los datos y resultados en mi Trabajo de Integración Curricular.

Por medio de la presente declaración cedo lo derechos de autoría y propiedad intelectual de este trabajo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, reglamento y normativa intelectual vigente.

Atentamente,



Catherin Salomé Herrera Betancourt

AUTOR

C.I. 1726319823

RESUMEN

Pocillopora damicornis comúnmente conocido como coral coliflor, es una especie de coral hermatípico del orden Sclerantina, ubicado principalmente en zonas tropicales y subtropicales de los océanos Índico y Pacífico. El estudio evaluó el crecimiento del coral *P. damicornis* bajo dos condiciones de cultivo, *In Situ* (Ambiente Natural o Vivero Marino) y *Ex Situ* (Laboratorio) con el fin de determinar su desarrollo en ambos lugares. La investigación se realizó de agosto a octubre del 2025, en la plataforma rocosa de Anconcito, Santa Elena y el laboratorio de acuariofilia, Acquolab de la Universidad Internacional del Ecuador en la provincia de Pichincha. Se recolectaron 3 colonias de coral, las cuales se dividieron en fragmentos de aproximadamente 2 cm que fueron adheridos a sustratos artificiales de barro y cemento para comparar su crecimiento; Durante 7 semanas, se realizaron mediciones morfométricas (alto, ancho, área) de los organismos y la toma de parámetros fisicoquímicos (OD, Temp, Sal, pH, EC, TDS) y nutrientes (Kh, Ca, NO³, Silicato, Fosfato), para establecer la influencia de las condiciones sobre el desarrollo coralino. Se demostró que los fragmentos cultivados de manera *Ex Situ*, mostraron una mayor tasa de crecimiento en altura, mientras que los que se encontraban en de manera *In Situ* crecieron en ancho, debido a las condiciones ambientales como el pH y el fosfato, los cuales presentaron una mayor correlación al crecimiento de esta especie. Asimismo, el sustrato de barro presentó un mayor desarrollo en altura y ancho, favoreciendo así a la estabilidad de los fragmentos. En conclusión, la acuicultura bajo condiciones de viveros representa una herramienta efectiva para el crecimiento del coral, ofreciendo un buen desarrollo inicial, además de contribuir al conocimiento sobre el cultivo de *P. damicornis* en Ecuador.

ABSTRACT

Pocillopora damicornis, commonly known as cauliflower coral, is a hermatypic coral species of the order Sclerantina, found primarily in tropical and subtropical zones of the Indian and Pacific Oceans. The study evaluated the growth of *P. damicornis* coral under two cultivation conditions: *In Situ* (natural environment or marine nursery) and *Ex Situ* (laboratory), in order to determine its development in both locations. The research was conducted from August to October 2025 on the rock platform of Anconcito, Santa Elena, and at the Acquolab aquarium laboratory of the International University of Ecuador in the province of Pichincha. Three coral colonies were collected and divided into fragments of approximately 2 cm, which were then attached to artificial substrates of clay and cement to compare their growth. For seven weeks, morphometric measurements (height, width, area) of the organisms were taken, along with physicochemical parameters (DO, temperature, salinity, pH, EC, TDS) and nutrients (Kh, Ca, NO₃, silicate, phosphate) to establish the influence of the conditions on coral development. It was demonstrated that fragments cultivated *Ex Situ* exhibited a higher growth rate in height, while those cultivated *In Situ* grew in width, due to environmental conditions such as pH and phosphate, which showed a greater correlation with the growth of this species. Furthermore, the mud substrate resulted in greater growth in both height and width, thus promoting fragment stability. In conclusion, aquaculture under nursery conditions represents an effective tool for coral growth, offering good initial development and contributing to the knowledge of *P. damicornis* cultivation in Ecuador.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	9
ABSTRACT	10
CAPÍTULO I.....	23
1. INTRODUCCIÓN	23
2. PROBLEMÁTICA.....	29
3. JUSTIFICACIÓN	32
4. OBJETIVOS	35
4.1. Objetivo General	35
4.2. Objetivos Específicos.....	35
5. HIPÓTESIS.....	36
CAPÍTULO II	37
6. MARCO TEÓRICO.....	37
6.1. ¿Qué son los arrecifes naturales de coral?	37
6.1.1. Tipos de arrecife de coral:.....	38
6.1.2. Arrecifes destacados por su extensión:	40
6.2. ¿Qué son los arrecifes artificiales de Coral?	40
6.2.1. Importancia de los arrecifes artificiales de coral:	41
6.2.2. Tipos de arrecifes artificiales:	42
6.2.3. Tipos de restauraciones artificiales:	43

6.3. Proyectos en el Ecuador:.....	45
6.4. <i>Pocillopora damicornis</i> :	46
6.4.1. Taxonomía:.....	46
6.4.2. Generalidades:.....	47
6.4.3. Distribución:.....	47
6.4.4. Alimentación:	48
6.4.5. Parámetros ambientales:.....	48
6.5. ¿Qué es la acuicultura?.....	49
6.5.1. Acuicultura en Corales:.....	49
6.6. Sitios de estudio:	50
6.6.1. Anconcito	50
6.6.2. Laboratorio de Acuariofilia	51
CAPÍTULO III.....	53
7. MARCO METODOLÓGICO	53
7.1. Área de Estudio.....	53
7.2. Periodo de tiempo o duración	54
7.3. Obtención del material biológico	55
7.4. Fragmentación del coral.....	56
7.5. Adherencia del coral a la galleta	57
7.6. Elaboración de galletas	58

7.6.1.	Cemento	58
7.6.2.	Barro.....	59
7.7.	Permiso de extracción de organismos	59
7.8.	Traslado de organismos.....	60
7.8.1.	Sitio de estudio en el laboratorio Acquolab de la Universidad Internacional del Ecuador, Quito	60
7.8.2.	Sitio de estudio en plataforma rocosa de Anconcito	61
7.9.	Morfometría de los fragmentos de coral	62
7.10.	Vivero marino (<i>In Situ</i>)	63
7.10.1.	Instalación del sistema de cultivo <i>In Situ</i>	63
7.10.2.	Monitoreo <i>In Situ</i>	64
7.11.	Vivero terrestre (<i>Ex Situ</i>).....	65
7.11.1.	Instalación del sistema de cultivo <i>Ex Situ</i>	65
7.11.2.	Monitoreo <i>Ex Situ</i>	65
7.12.	Toma de parámetros	66
7.12.1.	Parámetros Físicoquímicos	66
7.12.2.	Nutrientes	67
CAPÍTULO VI.....		71
8.	RESULTADOS	71
8.1.	Tasa de Crecimiento del Coral por Sustratos	71

8.1.1.	Vivero <i>In Situ</i>	71
8.1.2.	Vivero <i>Ex Situ</i>	73
8.1.3.	Comparación entre sustratos	75
8.1.3.1.	Comparación del área por sustratos	75
8.1.3.2.	Crecimiento diferencial por sustratos.....	77
8.1.4.	Análisis estadístico – Crecimiento por Sustratos	79
8.2.	Influencia de los factores ambientales:	81
8.2.1.1.	Parámetros fisicoquímicos <i>In Situ</i>	81
8.2.1.2.	Parámetros fisicoquímicos <i>Ex Situ</i>	88
8.2.1.3.	Nutrientes <i>In Situ</i>	95
8.2.1.4.	Nutrientes <i>Ex Situ</i>	101
8.2.1.5.	Correlación de Pearson <i>In Situ</i>	107
8.2.1.6.	Correlación de Pearson <i>Ex Situ</i>	109
8.1.	Tasa de Crecimiento del Coral por Viveros	111
8.1.1.	Vivero <i>In Situ</i>	111
8.1.2.	Vivero <i>Ex Situ</i>	113
8.1.3.	Relación ente viveros	115
8.1.3.1.	Comparación del área por viveros.....	115
8.1.3.2.	Crecimiento diferencial por viveros.....	117
8.1.4.	Análisis estadístico – Crecimiento por Viveros	119

9. DISCUSIONES.....	121
10. CONCLUSIONES.....	124
11. RECOMENDACIONES.....	126
12. BIBLIOGRAFÍA:	127
13. ANEXOS:.....	140

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Tipos de arrecifes naturales</i>	39
Figura 2 <i>Tipos de restauraciones artificiales</i>	44
Figura 3 <i>Ejemplar de Pocillopora damicornis</i>	46
Figura 4 <i>Sitio de Estudio Anconcito, Santa Elena</i>	51
Figura 5 <i>Sitio de Estudio Acquolab UIDE, Quito</i>	52
Figura 6 <i>Área de estudio – Anconcito – Laboratorio UIDE</i>	53
Figura 7 <i>Recolección de colonias</i>	55
Figura 8 <i>Fragmentación de colonias</i>	56
Figura 9 <i>Adherencia de los fragmentos de coral</i>	57
Figura 10 <i>Elaboración galletas de cemento blanco</i>	58
Figura 11 <i>Elaboración galletas de barro</i>	59
Figura 12 <i>Traslado a Acquolab</i>	61
Figura 13 <i>Traslado a Anconcito</i>	62
Figura 14 <i>Mediciones morfométricas en el fragmento de coral</i>	63
Figura 15 <i>Diseño experimental para la parte marina o In Situ</i>	64
Figura 16 <i>Diseño experimental para la parte terrestre o Ex Situ</i>	66
Figura 17 <i>Equipos utilizados para parámetros fisicoquímicos</i>	67
Figura 18 <i>Equipos utilizados para nutrientes</i>	69
Figura 19 <i>Mediciones morfométricas del vivero In Situ en relación a los sustratos</i>	72
Figura 20 <i>Mediciones morfométricas del vivero Ex Situ en relación a los sustratos</i>	74

Figura 21 <i>Área Diferencial del Coral por Sustratos</i>	76
Figura 22 <i>Crecimiento Diferencial del Coral por Sustratos</i>	78
Figura 23 <i>Análisis Estadístico por Sustrato</i>	80
Figura 24 <i>Relación de la conductividad con el alto y ancho del coral</i>	82
Figura 25 <i>Relación de la salinidad con el alto y ancho del coral</i>	83
Figura 26 <i>Relación del pH con el alto y ancho del coral</i>	84
Figura 27 <i>Relación de los TDS con el alto y ancho del coral</i>	85
Figura 28 <i>Relación del OD con el alto y ancho del coral</i>	86
Figura 29 <i>Relación de la temperatura con el alto y ancho del coral</i>	87
Figura 30 <i>Relación del OD con el ancho y alto del coral</i>	89
Figura 31 <i>Relación de la conductividad con el ancho y alto del coral</i>	90
Figura 32 <i>Relación del pH con el ancho y alto del coral</i>	91
Figura 33 <i>Relación de la salinidad con el ancho y alto del coral</i>	92
Figura 34 <i>Relación de la temperatura con el ancho y alto del coral</i>	93
Figura 35 <i>Relación de los TDS con el ancho y alto del coral</i>	94
Figura 36 <i>Relación de la alcalinidad con el alto y ancho del coral</i>	96
Figura 37 <i>Relación del calcio con el alto y ancho del coral</i>	97
Figura 38 <i>Relación del fosfato con el alto y ancho del coral</i>	98
Figura 39 <i>Relación del nitrato con el alto y ancho del coral</i>	99
Figura 40 <i>Relación del silicato con el alto y ancho del coral</i>	100
Figura 41 <i>Relación de la alcalinidad con el ancho y alto del coral</i>	102
Figura 42 <i>Relación del silicato con el ancho y alto del coral</i>	103
Figura 43 <i>Relación del calcio con el ancho y alto del coral</i>	104

Figura 44 <i>Relación del fosfato con el ancho y alto del coral</i>	105
Figura 45 <i>Relación del nitrato con el ancho y alto del coral</i>	106
Figura 46 <i>Correlación de Pearson entre Parámetros Ambientales y Crecimiento In Situ</i>	108
Figura 47 <i>Correlación de Pearson entre Parámetros Ambientales y Crecimiento Ex Situ</i>	110
Figura 48 <i>Mediciones morfométricas del vivero In Situ</i>	112
Figura 49 <i>Mediciones morfométricas del vivero Ex Situ</i>	114
Figura 50 <i>Área Diferencial del Coral entre Viveros</i>	116
Figura 51 <i>Crecimiento Diferencial del Coral por Viveros</i>	118
Figura 52 <i>Análisis Estadístico por Vivero</i>	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Taxonomía de P. damicornis</i>	46
Tabla 2 <i>Coordenadas de los sitios de estudio</i>	54

GLOSARIO

In Situ: Lugar o ambiente natural.

Ex Situ: Lugar externo o fuera de lo natural.

Prueba paramétrica: Método de análisis estadístico hacia los datos que siguen una distribución normal.

Prueba no paramétrica: Método de análisis estadístico hacia datos de distribución libre.

Normalidad: Herramienta estadística para determinar la distribución de los datos.

Valor P: Medida de probabilidad en un estudio.

Hexacorales: Subclase de los Cnidarios que incluyen corales duros.

Endosimbiontes: Organismo que vive en el interior de otro organismo y se benefician de esta relación.

Hermatípicos: Son organismos marinos que contribuyen a la construcción de arrecifes.

Zooxantelas: Alga microscópica que vive en simbiosis con los corales.

Scleratina: Orden que pertenece a los corales duros.

Cinoacrilato: Tipo de adhesivo de secado rápido comúnmente conocido como brujita.

Morfometría: Estudio de la forma o dimensiones de los objetos a través de mediciones cuantitativas.

ABREVIATURAS

mm: Milímetros

Diff: Diferencia

lt: Litros

mg/L: Miligramos por litro

mm²: Milímetros cuadrados

OD: Oxígeno disuelto

Kh: Alcalinidad

NO₃: Nitrato

Temp: Temperatura

Sal: Salinidad

EC: Conductividad

pH: Potencial de hidrógeno

p-: Valor p

TDS: Sólidos Totales Disueltos

ppm: Partes por millón

S-W: Prueba Shapiro-Wilk

P.damicornis: *Pocillopora damicornis*

ONU: Naciones Unidas

COP29: Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

m2: Metro cuadrado

REMACOPSE: Reserva de Producción de Fauna Marino Costero Puntilla Santa Elena

MAATE: Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica de Ecuador

POT: Pacífico Tropical Oriental

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Los arrecifes de coral están entre los ecosistemas marinos más importantes y productivos en el mundo; albergan una amplia biodiversidad marina, brindando refugio, alimento, área de desarrollo y reproducción de numerosas especies, además de ser importante para la vida humana como fuente de recurso económico principalmente para los habitantes de las zonas costeras. A pesar de su gran valor los arrecifes de coral son los ecosistemas más amenazados del planeta (Glynn, 1989), debido a varios factores como el cambio de temperatura en el agua por el calentamiento global, la acidificación, el incremento y disminución de nutrientes, eutrofización, entre otros, lo cual deteriora la calidad de agua y los parámetros que necesitan para un crecimiento óptimo. Sin embargo, existen factores externos que son un peligro para este ecosistema como el turismo no sostenible, la sobreexplotación de recursos marinos, construcción de estructuras marinas y la pesca ilegal (Guldberg, 2010).

En los últimos años estas acciones han provocado desequilibrios en los ecosistemas coralinos, según Status of Coral Reefs of the World (2020) el 20% de los arrecifes está en peligro de desaparecer en un periodo de tiempo de 20 a 40 años, además que Donner (2009) y Nairobi (2021), ha estimado que en el 2009 casi el 80% de estos han experimentado blanqueamiento desde que se consideró el aumento de las emisiones de carbono y el 14% de los arrecifes se han muerto, según

estos estudios la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de la ONU sobre el Cambio Climático (COP29, 2024) cree que más del 40% de especies de corales se encuentran en peligro de extinción.

La contaminación de origen urbano ha alterado la salud de los ecosistemas marinos, limitando el crecimiento de los corales, afectando principalmente a los corales pétreos o corales de construcción, especialmente en el orden Scleratina, el aumento de la temperatura de los océanos estimula a las algas endosimbiontes a abandonar el coral causando mayores eventos de blanqueamiento, provocando así una reducción en el pH del agua y por ende un desbalance iónico entre carbono y calcio, siendo estos una fuente importante para los esqueletos coralinos, estos cambios afectan principalmente a los corales ramificados y de crecimiento rápido como *Pocillopora*, y *Pavona* que es de crecimiento masivo, con un alto porcentaje de abundancia (Manzello, 2010, De'ath et al., 2009).

Los arrecifes coralinos cubren el 1.2% de la plataforma continental de la tierra, su distribución incluye las costas del Pacífico Oriental Tropical (Avalos, 2011). Estos arrecifes tienen una reducida extensión y una baja diversidad, es así que, en Ecuador, a pesar de ser una zona de transición a causa de las diferentes corrientes, no presenta una alta distribución biogeográfica. Es por ello que, no existen formaciones arrecifales a excepción de la Isla de la Plata, pero en fondos rocosos se pueden encontrar comunidades coralinas en forma de parches, principalmente las especies de los géneros *Pavona*, *Porites* y *Pocillopora*, siendo el último uno de los géneros más dominantes (Glynn, 2003).

Los *Pocillopora* son corales hermatípicos, su crecimiento y desarrollo están directamente influenciados por los parámetros ambientales. Este género es altamente sensible a los cambios en su entorno; por ende, son especies claves para determinar la salud de un ecosistema. (Veron, 2000) menciona que factores como la calidad de agua, la temperatura, la iluminación y los nutrientes deben mantenerse constantes para que las zooxantelas puedan realizar la fotosíntesis y evitar el estrés de esta especie, mantener un control sobre los parámetros ambientales mejora la supervivencia, restauración y conservación de los ecosistemas marinos.

El género *Pocillopora* ha estado presente desde las formaciones arrecifales hace 5500 años (Cortés et al., 1994), las especies *Pocillopora damicornis* y *Pocillopora elegans*, poseen la mayor tasa de crecimiento en corales y compiten por el espacio con los demás géneros de crecimiento lento. La especie *P. damicornis* es de las más importantes y abundantes de su género debido a que, esta se reproduce durante ambas épocas del año, tanto en lluviosa como en seca (Guzmán & Cortés, 1993).

Para evitar la degradación de estas especies marinas se han originado nuevas iniciativas relacionadas a la creación de arrecifes artificiales, este término se refiere a un conjunto de estructuras de diferentes clases y materiales, generalmente pueden construirse desde base de llantas, maderas, barcos, carros hasta reefball, arañas, árboles, viveros, etc (Vallarino, 2021).

La importancia de estas técnicas recae en disminuir la presión en los arrecifes naturales tanto en la sobreexplotación de sus recursos naturales como en

la parte turística, además de generar nuevos espacios para la fauna asociada. En la especie *P. damicornis*, la creación de arrecifes artificiales o la acuicultura de corales (conservación), permite proteger las etapas iniciales del desarrollo de coral, jugando un papel fundamental en el crecimiento y mejorando su tasa de supervivencia (Robles, Reyes, & Cáceres, 2020).

La acuicultura se puede clasificar en dos tipos de propósitos, la de producción que sirve para producir alimentos acuáticos con fines económicos y la de conservación que ofrece medios alternativos para repoblar especies en peligro de extinción. En el caso de los corales, se basa principalmente en el cuidado de los primeros estadios del desarrollo del coral, estos pueden estar ubicados en el mar (*In Situ*) o terrestres (*Ex Situ*), cada uno con diferentes formas para su cultivo, esto depende del propósito de cada investigación, ya sea crecimiento o restauración; Los viveros en los últimos años se han vuelto una herramienta clave para la conservación esencial de la biodiversidad de los arrecifes coralinos, buscando mitigar los efectos de la acidificación de los océanos, las actividades humanas y el cambio climático; a través de estos viveros han logrado importantes avances sobre la rehabilitación de estos hábitats degradados (Rinkevich, 2005).

Una de las estrategias que utiliza la acuicultura para realizar restauración coralina consiste en el desarrollo de los organismos de una manera más rápida y eficiente; con ayuda de sustratos de larga durabilidad que permita que los corales se adhieran y crezcan; estos sustratos están compuestos por materiales naturales como corales muertos, rocas, arena y también materiales artificiales, como

aragonita, caliza, cemento, carbonato de calcio, metal, resina epóxidica, etc (Yus, et al., 2024).

Alrededor del mundo son muy pocas las universidades o instituciones educativas que se dedican al cultivo de coral, y en Ecuador, incluso los estudios son escasos aún más en el ámbito *Ex Situ*, como pioneros de esta área la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE) ha construido un laboratorio especializado y equipado en sus instalaciones ubicadas en Quito, Pichincha, para el cultivo de animales invertebrados marinos, incluido los corales. Debido a su grado de complejidad y los altos costos que implica el mantenimiento e investigación de estos organismos, es el único laboratorio en la actualidad se dedica a la investigación de corales *Ex Situ* en todo el país, es por ello la importancia del uso de estas instalaciones con fines investigativos y de seguridad ambiental. Los proyectos sobre restauración de corales, se centran principalmente en las Islas Galápagos, en 2020 se creó un proyecto llamado “Restauración de zona de corales en Bahía Academia en la Reserva Marina Galápagos”, empleada y dirigida por el Parque Nacional Galápagos y Galápagos Conservancy en Santa Cruz, donde utilizan sustratos como ladrillos, galletas o discos de cemento para el desarrollo del coral y después son restaurados a sus diferentes islas (Albarracín, 2022). En 2024 comenzaron un nuevo proyecto dirigido por la fundación Jocoto llamado “Galápagos Reef Revival” en Isabela (Madera, 2024); En la costa continental solo se registra un proyecto vigente sobre restauración en el Parque Nacional Machalilla en el Islote Sucre creado desde 2021 llamado “Corallium” dirigido por la Conservación Marina Ecuador.

Sin embargo, en la provincia de Santa Elena no se han encontrado proyectos sobre restauraciones coralinas, pero de acuerdo a las investigaciones previamente realizadas sobre la distribución de corales en el perfil costero (Tapia, 2024), la evaluación de la interacción a nivel de cobertura que existen en Anconcito (Barreiro & García, 2022), las condiciones de los parámetros fisicoquímicos a base de teledetección (Burgos, 2023), la determinación de condiciones hidroquímicas (Nebicela & Palma, 2024) y alrededor de 10 investigaciones más sobre corales en las costas de Santa Elena, han determinado que Anconcito es un sitio apto para el crecimiento y desarrollo de fragmentos de coral, al lado sur se encuentra una plataforma rocosa con dos pocitas que se asemejan a piscinas naturales, con parámetros ambientales óptimos para el crecimiento y desarrollo de diferentes invertebrados marinos entre ellos *Pocillopora damicornis*.

Esta investigación tiene como objetivo la evaluación del crecimiento de *Pocillopora damicornis* mediante pruebas en viveros tanto en condiciones *Ex Situ* como *In Situ*, con sustratos de cemento y barro en ambos viveros. Es por ello que se utilizarán dos sitios claves, el laboratorio de acuariofilia de la Universidad Internacional del Ecuador, un entorno completamente automatizado que garantiza un ambiente óptimo para el mantenimiento y desarrollo del coral y la plataforma rocosa de Anconcito, identificada de acuerdo a investigaciones pasadas como un hábitat natural idóneo para el crecimiento. A través de esta comparación se busca establecer el tipo de sustrato con mayor porcentaje de desarrollo biológico y la relación con los parámetros ambientales presentes en cada entorno.

2. PROBLEMÁTICA

La falta de interés sobre el cuidado de los arrecifes de coral, representan un desafío para la conservación marina, a pesar de los esfuerzos para su protección sigue siendo un tema poco estudiado, reemplazado por actividades de interés comercial; Las personas conservacionistas e interesados en la protección de este ecosistema, han creado proyectos para contrarrestar la pérdida de arrecifes, se han implementado técnicas de restauración, entre ellas el cultivo de corales en viveros marinos (*In Situ*) o terrestres (*Ex Situ*), ambos métodos tienen el potencial de contribuir a la restauración.

A nivel mundial la información relacionada con la restauración coralina aún es limitada, como lo mencionado anteriormente, lo que condiciona el desarrollo de las colaboraciones globales, si bien existen bases de datos que recopilan información sobre ubicación, especies y técnicas de cultivo, así como el intercambio de conocimientos, los estudios que implementan estas acciones en todo el Pacífico Oriental Tropical (PTO) siguen siendo escasos, dentro de estas estrategias mayoritariamente conocidas están los viveros marinos (*In Situ*), que son los más utilizados debido a su facilidad de manejo y control.

La falta de datos comparativos y específicos sobre la eficacia de los viveros marinos vs terrestres en el Ecuador para *Pocillopora damicornis* para su crecimiento y desarrollo, corresponde a un vacío de información que no permite optimizar técnicas dirigidas a la restauración eficiente de corales por lo cual, la

ausencia de guías claras puede resultar en la utilización de recursos ineficientes llegando incluso a tener pérdidas económicas, esto puede afectar negativamente a los ecosistemas marinos como a las comunidades que dependen de ellos, mejorar la accesibilidad y disponibilidad de esta información es importante para promover la conservación sostenible de los recursos.

También, existe una desinformación sobre el tipo de sustrato que se debe emplear para el óptimo desarrollo y crecimiento de corales especialmente de *P. damicornis*, debido a que el material puede influir significativamente en la salud, adherencia, suministro de nutrientes y la formación de su esqueleto calcáreo.

En el Ecuador se desarrollaron tres grandes proyectos sobre restauración de corales, dos de ellos se encuentran en las Islas Galápagos y el otro en Manabí, sin embargo, en Santa Elena no se han registrado iniciativas formales sobre restauraciones de arrecifes coralinos, pero de acuerdo a 14 estudios previos sobre corales se ha identificado que la plataforma rocosa de Anconcito es un lugar apto para el crecimiento y desarrollo de *P. damicornis*.

En este país existe un limitado conocimiento sobre la acuariofilia de invertebrados, esta técnica es compleja y costosa, es por ello que solo existe un laboratorio dedicado a esto en todo el país, el presente estudio busca realizar técnicas de restauración coralina con los viveros terrestres en estas instalaciones pertenecientes a la Universidad Internacional del Ecuador y los viveros marinos en la plataforma rocosa de Anconcito, mediante comparaciones que evalúen la

efectividad de los dos tipos de sustratos artificiales, y el potencial de crecimiento de las especies ramificadas como *Pocillopora*, principalmente *Pocillopora damicornis*, relacionando los parámetros ambientales y la observación directa en la supervivencia y fijación de esta especie.

3. JUSTIFICACIÓN

Pocillopora damicornis es una especie de coral de gran importancia ecológica en los arrecifes de coral, contribuyen de manera significativa a la estructura, biodiversidad y funcionalidad de estos ecosistemas. Los corales de esta especie forman colonias densas que sirven de hábitat y refugio para una amplia variedad de organismos marinos, además de participar en la formación de las estructuras arrecifales que protegen las costas y sustentan comunidades pesqueras y turísticas.

Sin embargo, los arrecifes de coral están en peligro debido a actividades antropogénicas que han llevado a un deterioro alarmante y rápido en su salud. En respuesta a esta crisis, se han desarrollado diversas técnicas de restauración, entre las que se destaca el uso de viveros marinos y terrestres para cultivar corales que posteriormente pueden ser restaurados en su hábitat natural.

Los arrecifes artificiales radican en la capacidad de imitar y complementar funciones ecológicas de los arrecifes naturales, estos contribuyen en la recuperación y restauración de ecosistemas degradados. Para crear estos arrecifes se utilizan diferentes sustratos que pueden ser de material artificial o natural que tengan una larga durabilidad, los mismos que ya fueron probados y analizados por varios proyectos a nivel mundial. La elección de los dos tipos de sustratos para esta investigación se basa en proyectos del Pacífico Este como “Restauración de zona de corales en Bahía Academia en la Reserva Marina Galápagos” que utilizan

galletas de cemento en sus viveros y “Un millón de corales en Colombia” que manejan el barro cocido.

La acuicultura de corales es fundamental para la conservación marina y para el desarrollo económico sostenible; implementar un cultivo permite conocer el manejo correcto para restaurar arrecifes degradados, conservar especies o mitigar daños, fomentando la educación ambiental y la investigación científica. Se puede realizar cultivo de corales tanto a nivel de viveros marinos como de viveros terrestres; los primeros (*In Situ*) imitan las condiciones naturales del arrecife, proporcionando un entorno acuático que puede favorecer el crecimiento del coral, bajo condiciones que simulan su hábitat original. En este método se puede encontrar desde el uso de galletas hasta la siembra en cuerdas. Por otro lado, los viveros terrestres o en laboratorio (*Ex Situ*) ofrecen un entorno controlado que permite ajustar de manera más precisa las variables ambientales, lo cual puede tener un impacto significativo en el desarrollo del coral.

En la presente investigación el vivero marino (*In Situ*) se desarrolló en Anconcito, provincia de Santa Elena, mientras que el vivero terrestre (*Ex Situ*) en Quito, provincia de Pichincha. En la punta de Anconcito se encuentra una plataforma rocosa con dos pocitas que se asemejan a piscinas naturales las cuales mantienen una baja corriente marina, con parámetros fisicoquímicos como la temperatura que oscila entre 25.4 a 30.6°C, el ph en rangos de 8, la salinidad de 32.08 a 33.8 ppm, y el O₂ entre 3.52 a 5.85 mg/L., siendo un sitio idóneo para el crecimiento de diferentes invertebrados marinos incluyendo especies de coral como *Pocillopora damicornis*. En esta plataforma rocosa se colocó un arrecife artificial

mediante viveros para medir el crecimiento de la especie mencionada anteriormente, esta metodología se basó en dos tipos de sustrato con forma de galletas, sobre las cuales se adhirieron los fragmentos de coral. Mientras que en la ciudad de Quito se ubicaron los viveros terrestres, aprovechando las instalaciones especializadas que brinda el Laboratorio de Acuarofilia de Animales Invertebrados marinos en la Universidad Internacional del Ecuador, el cual es completamente automatizado con asistencia virtual garantizando un ambiente controlado y óptimo para el mantenimiento y crecimiento de la especie de estudio.

La comparación de estos dos tipos de viveros en relación con el crecimiento de *Pocillopora damicornis* es crucial para determinar cuál método proporciona las mejores condiciones de esta especie en Santa Elena, Ecuador. Además, el tipo de sustrato utilizado juega un papel fundamental en las variables de investigación, observando la adherencia del coral, la capacidad de adaptación y sobrevivencia.

La presente investigación tiene como objetivo la evaluación del crecimiento de *Pocillopora damicornis* mediante pruebas en viveros estableciendo el sustrato con mayor porcentaje de desarrollo biológico y su relación con los parámetros ambientales, considerados esenciales para su óptimo desarrollo.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

- Evaluar el crecimiento de *Pocillopora damicornis* mediante pruebas en viveros *In Situ* y *Ex Situ* estableciendo el sustrato con mayor porcentaje de desarrollo biológico y su relación con los parámetros ambientales.

4.2. Objetivos Específicos

- Determinar el sustrato que presenta las mejores condiciones para el crecimiento favorable de fragmentos de coral, mediante pruebas en viveros.
- Establecer la influencia de los factores ambientales en la tasa de crecimiento (desarrollo biológico).
- Analizar la tasa de crecimiento de los fragmentos de coral en viveros marinos y terrestres.

5. HIPÓTESIS

Hipótesis Nula (H₀):

- No existen diferencias en la tasa de crecimiento de *Pocillopora damicornis* entre los viveros In Situ y Ex Situ, ni entre los sustratos de barro y cemento.

CAPÍTULO II

6. MARCO TEÓRICO

6.1. ¿Qué son los arrecifes naturales de coral?

Los arrecifes de coral son grupos de diversas especies de corales que interactúan entre sí, estos corales están compuestos por miles de pólipos individuales que son capaces de extraer el calcio disuelto del agua de mar y solidificarlo en una estructura mineral dura (esqueleto) conocidos como corales pétreos (EPA, 2025). A medida que este mineral solidificado se acumula permite que los corales se reproduzcan y el arrecife crezca, en las colonias coralinas la masa que se encuentra por debajo es el esqueleto de carbonato de calcio, el cual puede tener hasta décadas de antigüedad (Lahoz, 2024).

Estos organismos se encuentran en todos los océanos, principalmente dentro del Trópico de Cáncer y el Trópico de Capricornio, generalmente al lado de los continentes (CONABIO, 2022). Los arrecifes coralinos prefieren crecer en profundidades hasta los 30 metros con un alto nivel de luz, con rangos de temperatura entre los 25°C y los 30°C, una salinidad óptima de 34 a 36 ppt, un pH de 7.5 a 8.5 (Lyu, et.al., 2024). El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2020) asegura que los arrecifes de coral ocupan menos de 1%

del fondo marino, sin embargo, albergan más del 25% de la vida marina, siendo importantes para el océano, pero también proporcionan sustento para más de mil millones de personas debido a, sus inestimables servicios ecosistémicos.

6.1.1. Tipos de arrecife de coral:

Los arrecifes coralinos se clasifican según su estructura, morfología o ubicación, de acuerdo a estas características estos tipos de arrecifes incluyen los arrecifes costeros, los de barrera, los de atolón y los de parche. En el caso de los primeros, los arrecifes costeros o bordeantes, son los más comunes, dado que crecen cercanos a la costa, separados por canales estrechos y poco profundos. Los arrecifes de barrera, se encuentran paralelos a la costa, pero con la diferencia que está separado por lagunas amplias. Mientras que los arrecifes de atolón se forman en áreas oceánicas que rodean las islas y estas pueden hundirse debajo de la superficie con el tiempo dejando un anillo de arrecife que encierra una laguna central. Y finalmente, los arrecifes de parche son estructuras aisladas que a menudo se encuentran entre arrecifes de barrera y costeros (Deutsche Krankenversicherung AG, 2024) (Figura 1).

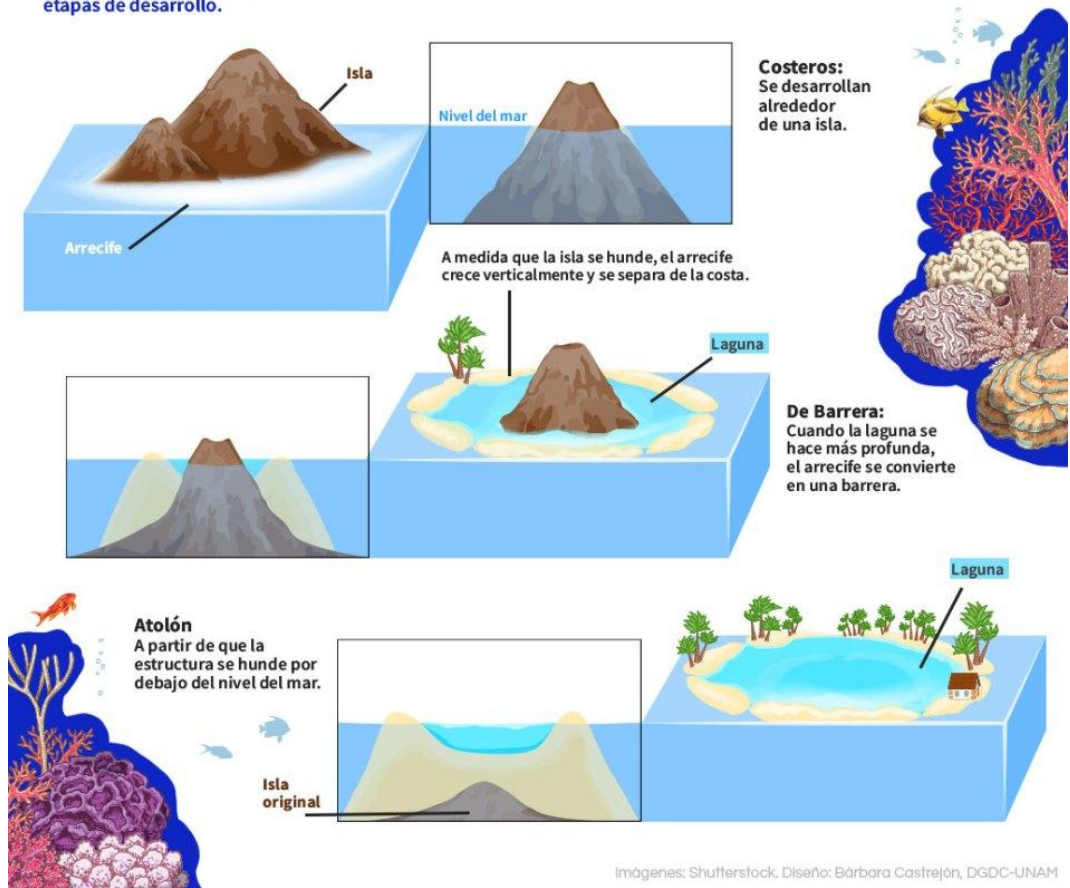
Figura 1

Tipos de arrecifes naturales

Clasificación de los arrecifes, según Darwin.

Cada una representa distintas etapas de desarrollo.

Ciencia UNAM



Imágenes: Shutterstock. Diseño: Bárbara Castrejón, DGDC-UNAM

Nota. Castrejón, B. (UNAM, 2023).

6.1.2. Arrecifes destacados por su extensión:

La Gran Barrera de Coral formada por la unión de más de 3000 arrecifes menores, 650 islas y 300 cayos, constituye la formación coralina más extensa del planeta, con una longitud aproximada de 2600 km (Valero, 2024). El segundo arrecife más grande es el Sistema Arrecifal Mesoamericano se extiende a lo largo de 4 países y cerca de 1000 km de costas, albergando más de 65 especies de corales y más de 500 especies de peces, tiene una superficie aproximada de 462000 km² (CAF, 2025). Finalmente, el Triángulo del Coral comprende más de 6 países, con una extensión de 6 millones de km², alberga más del 76% de las especies de coral en el mundo y más de 2000 especies de peces (Aida, 2024).

6.2. ¿Qué son los arrecifes artificiales de Coral?

Los arrecifes artificiales son estructuras construidas o instaladas por los seres humanos en el fondo marino, con el propósito de imitar las funciones ecológicas de los arrecifes naturales, y generar nuevos hábitats para la vida marina, contrarrestando el deterioro ambiental. Generalmente se elaboran a partir de estructuras prefabricadas, estas construcciones representan una alternativa viable para conservación marina, al reducir la presión y la sobreexplotación de los arrecifes naturales causadas por actividades antropogénicas con fines lucrativos. Además, proporcionan refugio y fuente de alimento para diversas especies de fauna

y flora asociada, también pueden actuar como barrera natural contra el oleaje, protegiendo las costas de la erosión (Vallarino, 2021).

En este contexto los arrecifes de coral artificial cumplen una misma función ecológica similar a los arrecifes naturales. Sin embargo, los corales y demás organismos asociados a estos, se adhieren a una estructura externa colocada intencionalmente, con el tiempo estas superficies son colonizadas por los corales y pequeños invertebrados que van colonizando, que sirven como base para el establecimiento de peces, crustáceos y otras especies marinas (AgriFutures Grow, 2024).

6.2.1.Importancia de los arrecifes artificiales de coral:

Los arrecifes artificiales de coral son importantes porque favorecen a la recuperación de los ecosistemas marinos degradados, acelerando los procesos de repoblación marina promoviendo la biodiversidad, además, fortalecen la sostenibilidad pesquera al ofrecer refugio y áreas de reproducción para numerosas especies de interés tanto ecológico como económico. Estas estructuras también permiten el desarrollo de investigaciones científicas y proyectos sobre restauraciones marinas fomentando la conciencia ambiental. A nivel costero contribuyen a estabilizar los sedimentos y mantener el equilibrio, contribuyendo a la protección de las costas debido a que amortiguan la energía de las olas previniendo la erosión (Bateman, Birbeck, Hickling, Short, & Wilding, 2023).

6.2.2. Tipos de arrecifes artificiales:

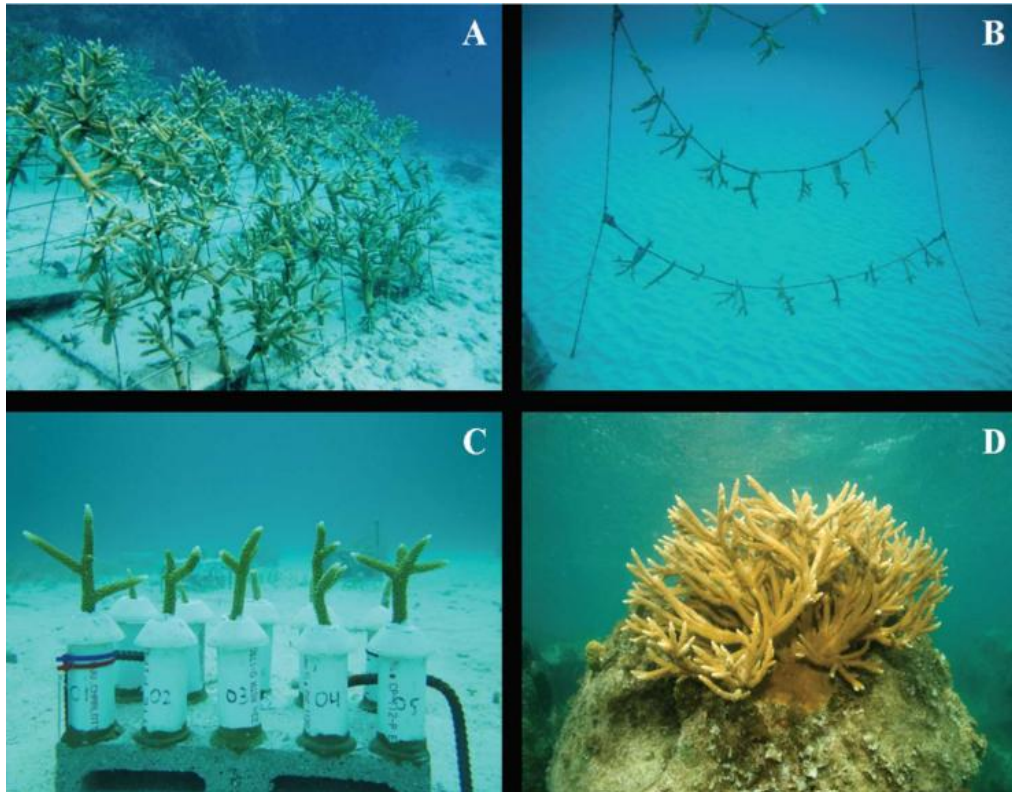
Existen diferentes materiales para la creación de arrecifes artificiales, cada uno con diferentes propósitos o beneficios, las estructuras de hormigón como bloques, escombros, cuevas artificiales o tuberías proporcionan a los organismos marinos refugio y hábitats para sus diferentes formas de vida, otro tipo de arrecife muy común son los transportes hundidos como barcos, aviones, carros que se hundan intencionalmente para proporcionar diferentes sitios de atracción para los seres humanos además de crear hábitats para que organismos marinos se puedan adherir, así mismo las islas artificiales o islas construidas que promueven a la biodiversidad de especies, los objetos hundidos como los neumáticos, artefactos de pesca, etc, permiten la creación de este tipo de arrecifes (MarineBio). Algunas formas diferentes de crear arrecifes artificiales de una manera más ecológica, son los diseñados para proporcionar superficies adecuadas para la fijación de especies, o para fomentar la propagación de esta, estimulando su crecimiento y desarrollo como lo son conocidos reef balls o bolas de arrecifes, las linternas para cultivo y colonización de ostras, las cuerdas, las arañas (Figura 2 – A – B) y árboles que permiten el crecimiento de varios corales al mismo tiempo, los plugs y galletas que permiten mantener al coral en fragmentos más pequeño facilitando su fijación para posibles restauraciones (Villalobos, 2021).

6.2.3. Tipos de restauraciones artificiales:

Los tipos de restauraciones artificiales normalmente se dividen en tres; La restauración estructural que implica restos hundidos por el hombre con el objetivo de crear un hábitat para varias especies fijándose en estos sustratos, este tipo de restauración se hace en áreas donde se ha perdido totalmente un ambiente, aprovechando los escombros del mismo lugar. La restauración biológica implica métodos de recolección, fragmentación y rehabilitación de coral, trasplantarlos a áreas donde estas poblaciones han disminuido o perdido, devolviendo el equilibrio a este ecosistema (Figura 2 – D). Por último, la restauración física es mucho más amplia, aborda temas como condiciones ambientales, tasas de crecimiento, reproducción, etc., estos métodos generalmente incluyen viveros de coral (Figura 2 – C), además se lleva un monitoreo y mantenimiento constante (New Heaven Reef Conservation Program, 2016).

Figura 2

Tipos de restauraciones artificiales



Nota. Martínez, P. (2021). (A) Cultivo en arañas, (B) Cultivo en cuerdas, (C) Viveros en bloques, (D) Restauración en piedra.

6.3. Proyectos en el Ecuador:

En Ecuador los proyectos dedicados al cultivo de coral, en su mayoría se centran en las Islas Galápagos, las limitadas cantidades en este ámbito reflejan la necesidad de fortalecer las capacidades técnicas y científicas de los ecosistemas marinos. En el año 2020 se implementó el proyecto llamado “Restauración de zona de corales en Bahía Academia en la Reserva Marina Galápagos”, empleada y dirigida por el Parque Nacional Galápagos y Galápagos Conservancy este programa es desarrollado en la isla Santa Cruz, donde utilizan sustratos como ladrillos, galletas o discos de cemento para después ser restaurados en sus diferentes islas en todo el archipiélago (Albarracín, 2022). En 2024 se puso en marcha un nuevo proyecto denominado “Galápagos Reef Revival” en la isla Isabela (Madera, 2024) impulsado por la Fundación Jocoto. Esta iniciativa tiene como objetivo contribuir a la recuperación de la biodiversidad marina, en cuanto a la costa continental ecuatoriana, los esfuerzos en restauración coralina son aún más limitados, actualmente solo se registró un proyecto activo llamado “Corallium” liderado por Conservación Marina Ecuador; este programa constituye una de las primeras experiencias de restauración coralina en el litoral desarrollado desde 2021 en el Islote Sucre dentro del Parque Nacional Machalilla, enfocándose principalmente en corales del orden *Scleractina* (CONMAR, 2021).


6.4. *Pocillopora damicornis*:

6.4.1. Taxonomía:

A continuación, se describe la taxonomía de la especie utilizada y estudiada de la presente investigación (Tabla 1).

Tabla 1

Taxonomía de P. damicornis

Reino: Animalia (Linnaeus, 1758)	Figura 3 <i>Ejemplar de Pocillopora damicornis</i>  <i>Nota.</i> Corals of the world, (2000).
Filo: Cnidaria (Hatschek, 1888)	
Subfilo: Anthozoa (Ehrenberg, 1834)	
Clase: Hexacorallia (Haeckel, 1896)	
Orden: Scleractinia (Bourne, 1900)	
Familia: Pocilloporidae (Gray, 1842)	
Género: <i>Pocillopora</i> (Lamarck, 1816)	
Especie: <i>P. damicornis</i> (Linneo, 1758)	

6.4.2. **Generalidades:**

Pocillopora damicornis también llamado coral coliflor puede medir hasta aproximadamente 30 cm de altura, presentando diversas ramificaciones y protuberancias, el grosor de las ramas puede variar según la exposición a la corriente y la profundidad a la que se encuentren (Galas, 2024). Como es una especie constructora de arrecifes, forma grupos compactos que pueden alcanzar 2 a 3 metros de relieve, la tasa de crecimiento reportadas de esta especie varía considerablemente entre localidades del Pacífico Tropical Oriental (POT) 1.27 cm por año en Colombia, y hasta 3.96 cm por año en Panamá (Aquaportail, 2025).

6.4.3. **Distribución:**

La coral coliflor se distribuye principalmente en la gran cuenca Indo-Pacífica y en el Atlántico Centro-Oeste, desde el este, desde Hawái y Panamá, hacia el sur de la isla Lord Howe al oeste del Mar Rojo y al norte de Japón. Además, en las aguas continentales de las regiones costeras del Pacífico Oriental (Galas, 2024).

6.4.4. **Alimentación:**

Es primordial para proveer carbono y micronutrientes necesarios para mantener la salud del coral. Estos organismos se alimentan del plancton que son capturados por las células urticantes de sus tentáculos; sin embargo, la mayor parte de nutrientes se obtienen de algas unicelulares denominadas zooxantelas, que viven dentro del tejido del coral; este es uno de los ejemplos más conocidos de simbiosis entre cnidarios-microalgas, a través de la fotosíntesis, las microalgas proporcionan energía y ayudan a la calcificación (Lujan, 2024).

6.4.5. **Parámetros ambientales:**

El desarrollo de *Pocillopora damicornis* se favorece en ambientes marinos cálidos, con temperaturas óptimas comprendidas entre 21 °C y 26°C (Von & Vargas, 1990), requiere una salinidad de 35 ppt (1025 psu), un pH en el rango de 8.0 a 8.4, una alcalinidad de 7 a 9 dkH, asimismo, las concentraciones de calcio deben mantenerse entre 400 y 450 ppm, magnesio entre 1250 a 1350, mientras que los nutrientes disueltos deben encontrarse en niveles moderados con nitratos entre 2 y 10 mg/L y fosfatos entre 0.02 y 0.08 mg/L (Venn, et al., 2019).

6.5. ¿Qué es la acuicultura?

La acuicultura consiste en el cultivo en condiciones controladas de especies que se desarrollan en medios acuáticos como: peces, moluscos, crustáceos y plantas. La acuicultura va ligada a la intervención humana para incrementar la producción a través de la concentración de poblaciones, su alimentación y la protección frente a depredadores (DOMCA, 2023). La acuicultura se divide principalmente en maricultura, cultivada en mar abierto y la acuicultura continental se desarrolla fuera del ambiente natural; además de sus dos propósitos principales que es producción para el consumo y uso comercial y la conservación para mantener y repoblar especies en peligro de extinción (Gobierno de México, 2019).

6.5.1. Acuicultura en Corales:

La acuicultura de corales es parte integral de la acuariofilia marina, se centra en el cultivo sostenible de corales en entornos controlados, con el objetivo de replicar las condiciones naturales lo más parecido posible para promover su crecimiento y salud (Shively, 2024). La idea de la acuicultura de corales se basa en la recolección de fragmentos de corales sanos de arrecifes existentes y se cultivan en viveros, estos fragmentos se cultivan hasta que alcanzan el tamaño suficiente.

Estos organismos, también pueden ser trasplantados de vuelta a la naturaleza, lo que ayuda a la restauración de la estructura física de los arrecifes de coral, y también contribuye a la recuperación de la biodiversidad al proporcionar refugio y zonas de reproducción a la fauna asociada (Grupo Arya, 2024).

6.6. Sitios de estudio:

6.6.1. Anconcito

La parroquia de Anconcito perteneciente al cantón Salinas en la provincia de Santa Elena, se localiza aproximadamente a 565 Km de la capital del Ecuador, presenta un clima cálido con una temperatura promedio de 25° C, y una extensión cercana a 9.74 km², esta parroquia se caracteriza por ser un pueblo pesquero, con una gran variedad de embarcaciones que constituyen una de las principales fuentes de sustento económico del territorio. Además de ser un lugar turístico por los acantilados, y la belleza del perfil costero, este lugar se encuentra dentro de una reserva marina (REMACOPSE) (GAD Santa Elena).

La playa Punta de los Acantilados, un área natural mágica y encantadora, donde al bajar la marea quedan a vista las diversas piscinas (Figura 4) construidas de manera natural en la roca oceánica, estas plataformas rocosas son importantes porque proporcionan hábitats a diferentes especies de flora y fauna, esta zona

alberga una gran cantidad de invertebrados marinos, peces, algas, etc., que son fuentes de alimento esenciales en la cadena trófica (Brodie & Cohn, 2021).

Figura 4

Sitio de Estudio Anconcito, Santa Elena



Nota. Pocita derecha de Anconcito, donde se encuentra el vivero *In Situ*.

6.6.2. Laboratorio de Acuariofilia

El laboratorio de Acquolab de investigación de acuariofilia de la Universidad Internacional del Ecuador (Figura 5), ubicada en el cantón Quito, provincia de Pichincha, Ecuador. Este cuenta con una extensión de 32m² equipado con 24 acuarios de experimentación, organizados en 6 baterías interconectados mediante una bomba SUMP de 150 lt, además de un frag tank de 400 lt, dos acuarios de 600 lt y uno de 850 lt.

El área de trabajo cuenta con equipos de alta tecnología como estereoscopio, congeladores, refrigeradoras, equipos de medición multiparamétrica, insumos, reactivos, alimento de organismos acuáticos, etc. Adicionalmente, el laboratorio cuenta con un espacio destinado al almacenamiento de equipo de campo y una zona específica para la fijación y conservación temporal de especímenes biológicos, previa a su traslado a colecciones científicas.

Figura 5

Laboratorio Acquolab UIDE, Quito



Nota. Vista frontal del laboratorio especializado en el cultivo de invertebrados marinos, al lado izquierdo se encuentran los viveros *Ex Situ*.

CAPÍTULO III

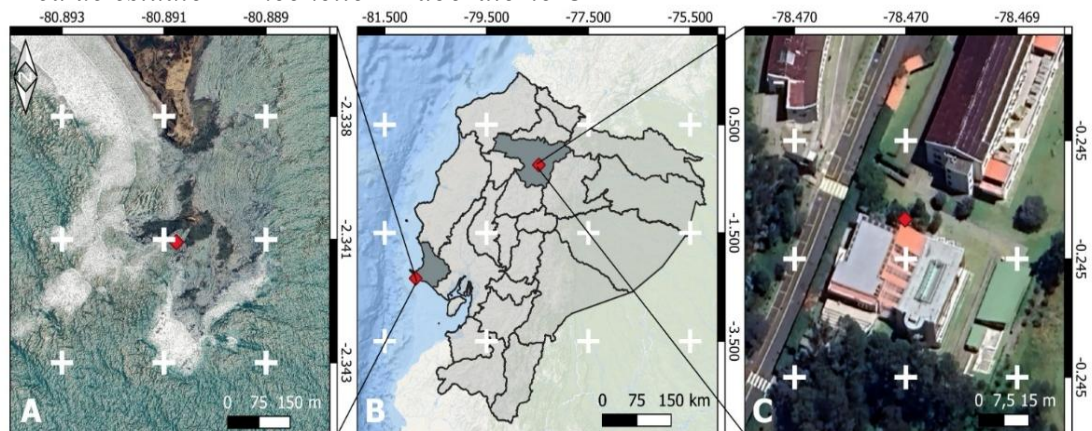
7. MARCO METODOLÓGICO

7.1. Área de Estudio

El presente estudio se llevó a cabo en 2 distintas Provincias del Ecuador (Figura 6), el primero ubicado en la provincia de Santa Elena parroquia de Anconcito a 3 km al norte del muelle del puerto pesquero y el segundo sitio en el laboratorio de acuariofilia de la Universidad Internacional del Ecuador (Acquolab), ubicada en Quito, provincia de Pichincha.

Figura 6

Área de estudio – Anconcito – Laboratorio UIDE



Nota. Imagen realizada en QGis de los sitios de estudio del trabajo de titulación A – Anconcito (Santa Elena) / B – Ecuador / C – Lab. UIDE (Quito).

Las coordenadas de cada sitio de estudio se muestran en la Tabla 2, el primer punto de monitoreo se encuentra en las plataformas rocosas de Anconcito las cuales albergan una gran cantidad de invertebrados marinos esenciales en las cadenas tróficas y el segundo sitio de monitoreo en las instalaciones del laboratorio de Acquolab, el cual está tecnológicamente equipado para mantener las condiciones óptimas para el crecimiento del coral.

Tabla 2

Coordenadas de los sitios de estudio

Punto de monitoreo	Coordenadas		Referencias
	Sur	Oeste	
Anconcito	2°20'26" S	80°53'27" W	Norte del Muelle del Puerto Pesquero
Laboratorio (Acquolab)	0°14'42" S	78°28'11" W	Universidad Internacional del Ecuador

Nota. En esta tabla se muestran las coordenadas tomadas con GPS en cada sitio de estudio, Anconcito – Vivero *In Situ* – Laboratorio Acquolan – Vivero *Ex Situ*.

7.2. Periodo de tiempo o duración

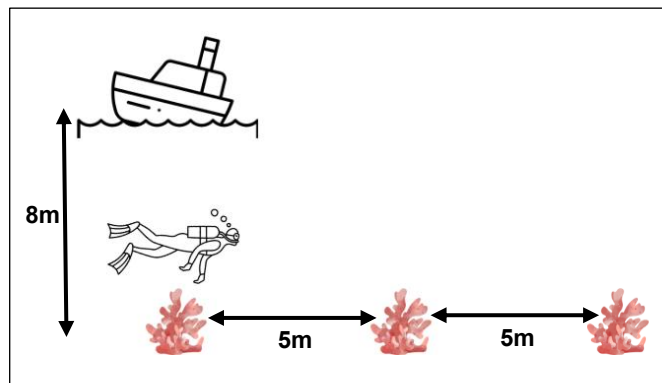
Este estudio se realizó entre los meses de agosto a octubre del 2025, se monitorea semanalmente tanto *Ex Situ* como *In Situ*, con un total de 7 muestreos en cada vivero.

7.3. Obtención del material biológico

La recolección de las colonias de *Pocillopora damicornis*, se llevó a cabo en el sector noreste de la Puntilla de Santa Elena ($2^{\circ}10'02.2''$ S $81^{\circ}00'11.3''$ W) con el apoyo de los guardaparques de la Reserva de Producción Fauna Marino Costera Puntilla de Santa Elena (REMACOPSE). Las muestras se obtuvieron a una profundidad de 8 m, manteniendo una separación de alrededor de 5 metros entre sí (Figura 7), con un total de 3 colonias seleccionadas con el propósito de garantizar una variabilidad genética (Baums, et al., 2019). Estas colonias presentaron un estado de salud óptimo, sin evidencia de blanqueamiento ni alteraciones visibles.

Figura 7

Recolección de colonias



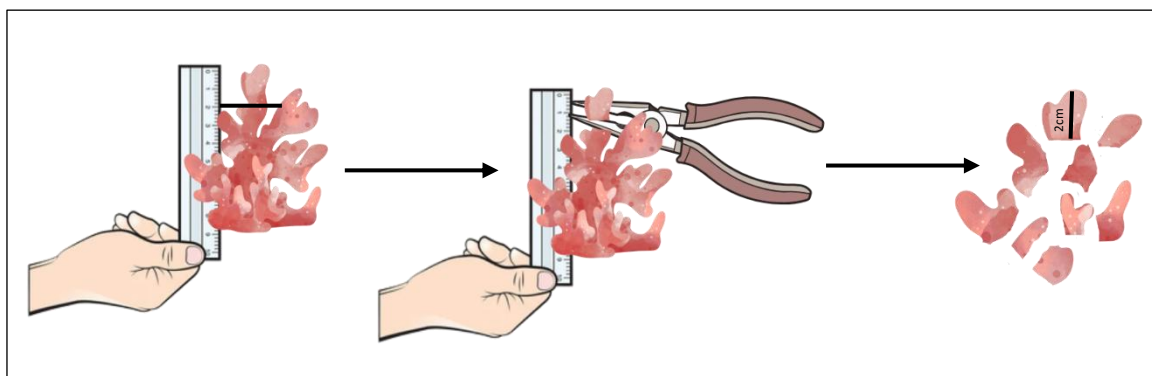
Nota. Metodología de extracción de las colonias coralinas con la ayuda de los guardaparques de la REMACOPSE.

7.4. Fragmentación del coral

La fragmentación de las colonias coralinas se efectuó utilizando un alicate de corte, herramienta que permitió una manipulación precisa, minimizando el estrés fisiológico de los organismos (Figura 8), los fragmentos obtenidos presentaron un tamaño aproximadamente uniforme de 2 cm de longitud adecuados para este análisis (Combillet, et al., 2022) (Merck, Petrik, Manfroy, & Muller, 2022), este proceso se llevó a cabo en los laboratorios de Biología de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE) y en el laboratorio de Acquolab de la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE).

Figura 8

Fragmentación de colonias



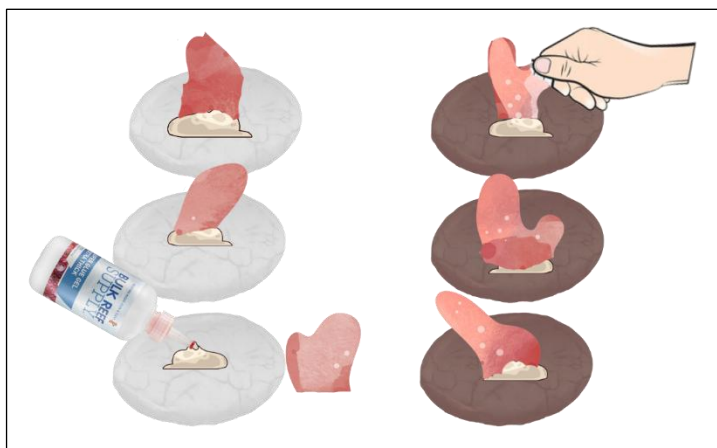
Nota. Fragmentación de los corales, previamente medidos para su precisión.

7.5. Adherencia del coral a la galleta

La fijación de los fragmentos de coral a la base tipo galleta de ambos materiales (Figura 9) se realizó utilizando un pegamento de cianoacrilato puro (Bulk Reef Supply), una vez aplicado el pegamento se deja secar antes de ser reintroducidos a los viveros correspondientes, esta metodología se adaptó del proyecto “Restauración de zona de corales en Bahía Academia en la Reserva Marina Galápagos”, implementado y dirigido por el Parque Nacional Galápagos y Galápagos Conservancy.

Figura 9

Adherencia de los fragmentos de coral



Nota. Adherencia de los fragmentos de coral con cianoacrilato puro a los dos tipos de sustratos tipo galleta (cemento y barro).

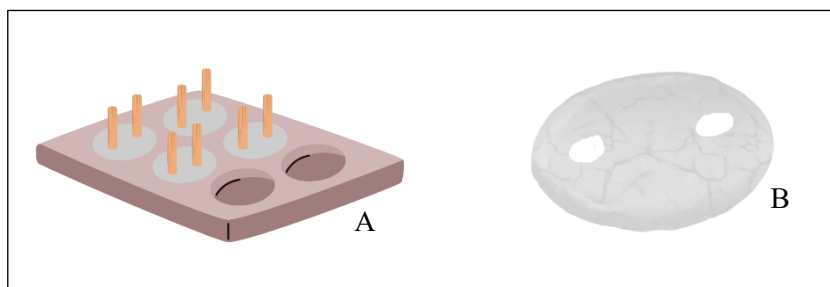
7.6. Elaboración de galletas

7.6.1. Cemento

La elaboración de las bases tipo galleta (Suggett, et al., 2025) (Figura 10) se realizó mediante una mezcla de cemento blanco, preparada con una proporción de 15lb:3L lo que permitió la obtención de 48 unidades, una vez vertida la mezcla en los moldes de madera (7 cm de ancho, 2 cm de alto), las galletas se dejaron secar a temperatura ambiente y posteriormente se sometieron a un proceso de curado en agua durante 15 días con el fin de garantizar su resistencia y estabilidad estructural.

Figura 10

Elaboración galletas de cemento blanco



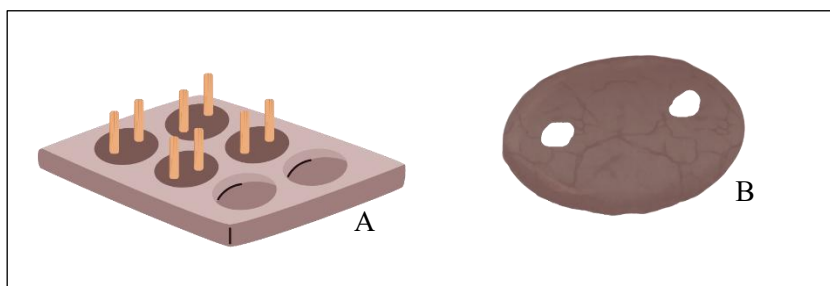
Nota. Procedimiento desde el molde (A) dejar secar, hasta el resultado final (B).

7.6.2. Barro

Las bases tipo galleta se elaboraron a partir de una mezcla determinada de tierra, aserrín, ceniza y agua, (Figura 11) la cual fue vertida en moldes de madera (7 cm de ancho, 2 cm de alto), se dejaron secar a temperatura ambiente, posterior a eso se sometieron a cocción en un horno a temperatura aproximada de 1000°C, una vez finalizado este proceso las galletas fueron curadas en agua durante 15 días para garantizar su resistencia y estabilidad estructural.

Figura 11

Elaboración galletas de barro



Nota. Procedimiento desde el molde (A) dejar secar, hasta el resultado final (B).

7.7. Permiso de extracción de organismos

La extracción de organismos marinos se efectuó bajo el marco legal otorgado por el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), mediante la autorización número MAATE-ARSFC-2025-0292, adicionalmente

para el traslado de las muestras hacia los sitios de experimentación se dispuso de una guía de movilización N° 03554, este documento garantiza la trazabilidad y el control en el transporte de los especímenes (Anexo 17 – 18).

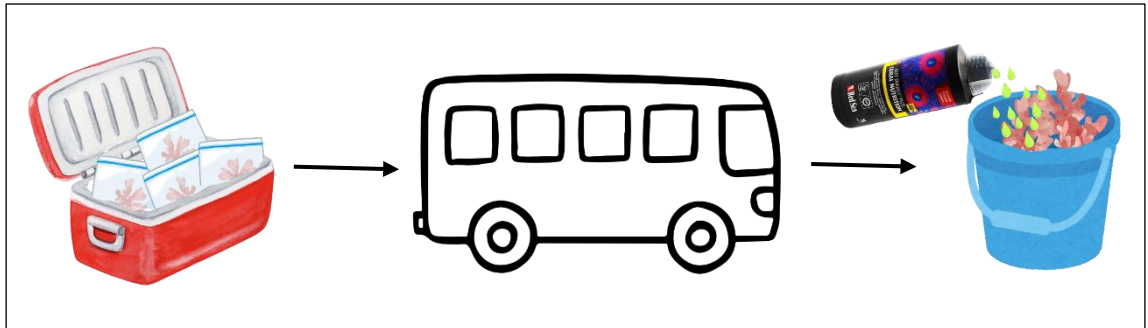
7.8. Traslado de organismos

7.8.1. Sitio de estudio en el laboratorio Acquolab de la Universidad Internacional del Ecuador, Quito

Para trasladar las colonias a Quito se contó con la guía de movilización de organismos vivos generada por el MAATE. Las colonias fueron empacadas en fundas larveras conteniendo suficiente agua y transportadas en hieleras, (Figura 12) con el objetivo de minimizar el estrés térmico durante este proceso, a su llegada al laboratorio los corales fueron desinfectados en Reef Dip por 10 min y posteriormente colocados en un acuarios para su aclimatación, una vez finalizado este proceso, se fragmento los corales en piezas de hasta 2 cm aproximadamente (Combillet, et al., 2022), se adhieren a la galleta y finalmente se ubican en los acuarios correspondientes para su experimentación.

Figura 12

Traslado a Acquolab



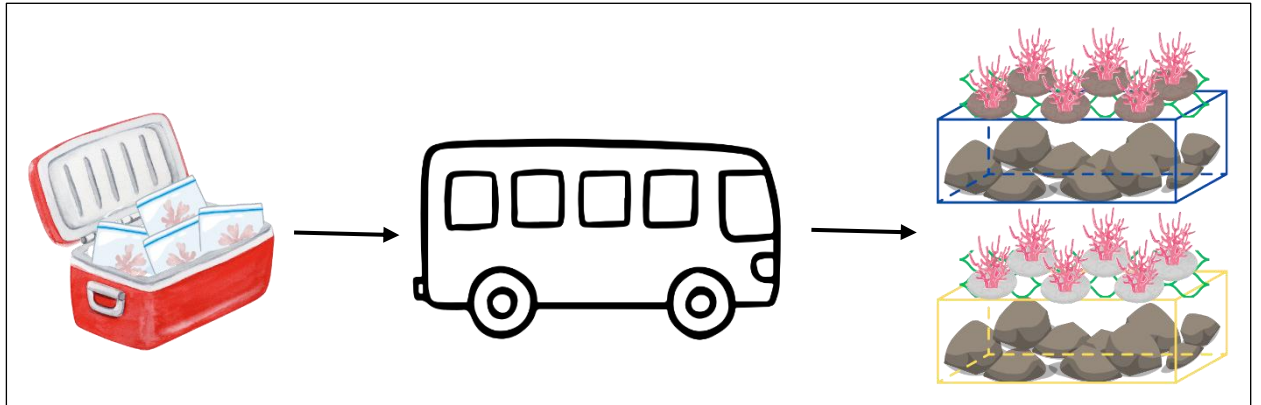
Nota. Movilización de las colonias posterior a su extracción del medio silvestre hasta su llegada al laboratorio en la UIDE (Carta de Intención – Anexo 16) completando su desinfección (Reef Dip) para colocarlos en los acuarios respectivos.

7.8.2. Sitio de estudio en plataforma rocosa de Anconcito

Una vez fragmentadas las colonias y adheridas a las galletas en la UPSE, los individuos de *Pocillpora damicornis* fueron trasladados a la plataforma rocosa utilizando agua del medio para minimizar el estrés durante el transporte, se colocó en los viveros marinos ubicados en una de las pocitas de Anconcito (Figura 13), donde se ensamblaron las gavetas con sus respectivos seguros y señalización que aseguran su estabilidad y evitan el movimiento una vez ubicados en el fondo marino, garantizando así el monitoreo de los corales.

Figura 13

Traslado a Anconcito



Nota. Traslado de los fragmentos de coral y colocación en las gavetas correspondientes.

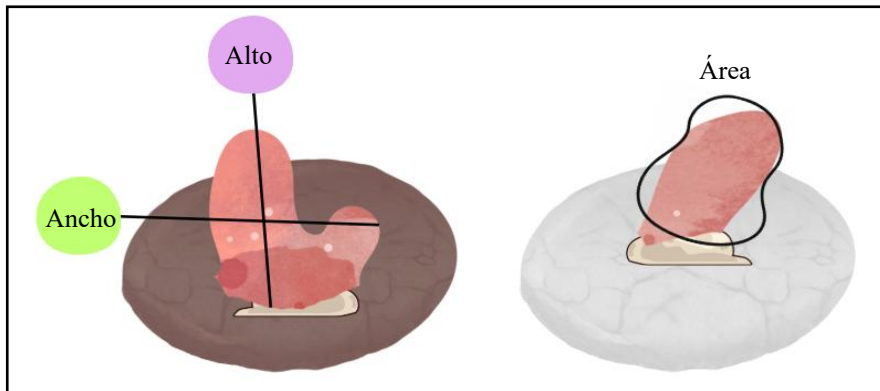
7.9. Morfometría de los fragmentos de coral

Para las mediciones morfométricas del coral siguió la metodología descrita por Saltwater Gardens (2018), se tomaron fotografías durante 7 semanas para observar el crecimiento semanal del coral, para este análisis se empleó el software ImageJ, estas variables consideradas fueron altura, ancho y área, se llevó un registro de los datos en cada vivero (*In Situ – Ex Situ*).

Las mediciones de los fragmentos de coral se realizaron de acuerdo a como se muestra en la Figura 14.

Figura 14

Mediciones morfométricas en el fragmento de coral



Nota. Mediciones de la altura, el ancho y el área de los fragmentos de coral.

7.10. Vivero marino (*In Situ*)

7.10.1. Instalación del sistema de cultivo *In Situ*

El sistema de cultivo marino se desarrolló en una pocita de Anconcito, empleando seis gavetas plásticas con dimensiones de 25 x 40 x 60 cm. Para inmovilizar las gavetas sobre el sustrato se utilizó el peso de rocas como anclaje, ensamblando seguros de acero A36 clavados 60 cm dentro de la arena, además de un cabo entrelazado por todas las gavetas garantizando una disposición estable y controlada, se fijó una red en la parte superior en donde se asentaron las galletas con el fragmento de coral previamente adherido, para señalar las diferentes colonias de coral se utilizaron seguros plásticos de colores con etiquetas de señalización

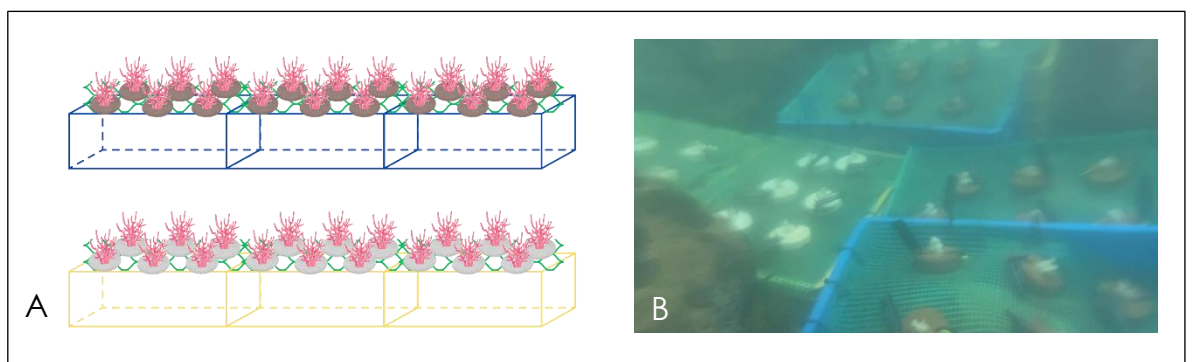
(Código MAATE, #Colonia, #Individuo, Especie). Además, para diferenciar los dos tipos de materiales utilizados como sustratos se emplearon distintos colores de gaveta como se muestra en la Figura 15.

7.10.2. Monitoreo *In Situ*

Se realizó 1 monitoreo semanal con un total 7 muestreos, durante los cuales se registraron los parámetros necesarios (Punto 7.13), la medición del crecimiento (Punto 7.10) y la limpieza de las gavetas y de las galletas alrededor del fragmento de coral, con el fin de prevenir la proliferación de algas y la competencia entre estos organismos, además se anotan todos los datos registrados.

Figura 15

Diseño experimental para la parte marina o In Situ



Nota. Diseño experimental planteado (A) y la disposición final de los viveros tras su implementación (B).

7.11. Vivero terrestre (*Ex Situ*)

7.11.1. Instalación del sistema de cultivo *Ex Situ*

El sistema de cultivo terrestre se desarrolló en el laboratorio de Acquolab de la UIDE, utilizando seis acuarios con dimensiones de 40 x 40 x 30 cm y una capacidad 46 L cada uno, en el interior de los acuarios se colocaron rejillas plásticas para sostener las galletas con los fragmentos de coral. Cabe indicar que este sistema se manejó con tres acuarios destinados para el sustrato de cemento y los otros tres para el sustrato de barro (Figura 16). Cada sistema contó con 1 filtro de esponja conectado a una bomba de 1000 l/h, canutillos Marine Pure como soporte de material biológico, termostatos de 100W a 26°C y lámparas AI Prime Blades Coral Grow configuradas para replicar la iluminación del medio marino, además para señalar las diferentes colonias de coral se utilizaron seguros plásticos de colores con etiquetas de señalización (Código MAATE, #Colonia, #Individuo, Especie).

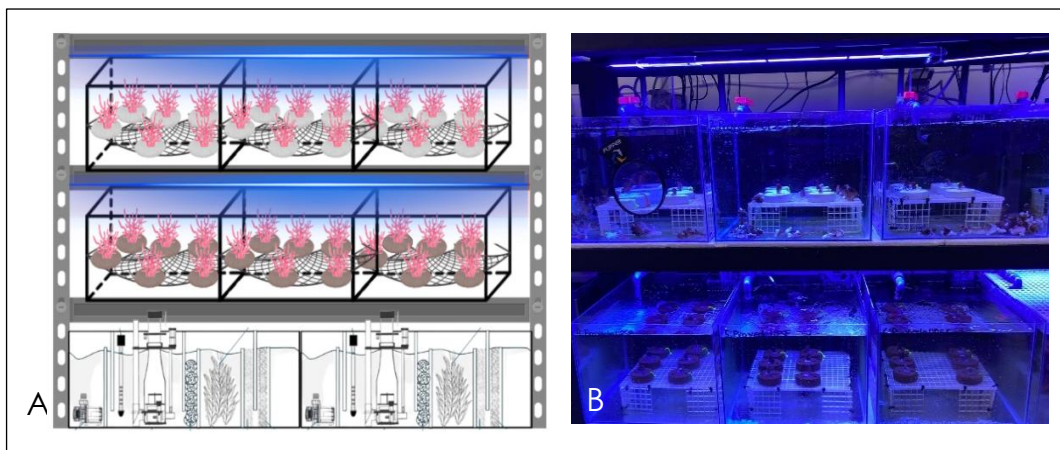
7.11.2. Monitoreo *Ex Situ*

Se realizó 1 monitoreo semanal con un total 7 muestreos, controlando los parámetros fisicoquímicos mediante la aplicación Mobios manejada desde el dispositivo móvil que estandariza cada uno de los componentes a estudiar desde las

mareas hasta la intensidad de luz que recibe el coral, se registraron los parámetros necesarios (Punto 7.13), la medición del crecimiento (Punto 7.10) y los recambios de agua se realizaron quincenalmente al 25%.

Figura 16

Diseño experimental para la parte terrestre o Ex Situ



Nota. Diseño experimental planteado (A) y la disposición final de los acuarios tras su implementación (B).

7.12. Toma de parámetros

7.12.1. Parámetros Físicoquímicos

Los datos necesarios para el desarrollo de esta investigación se registraron tanto en condiciones *Ex Situ* como *In Situ*, estos análisis se realizaron semanalmente durante los diferentes monitoreos. Los parámetros físicos son: temperatura, los sólidos totales disueltos y la conductividad, los parámetros químicos como: el pH,

el oxígeno, y la salinidad, todo esto se midieron utilizando equipos que se muestran en la Figura 17.

Figura 17

Equipos utilizados para parámetros fisicoquímicos



Nota. Refractómetro, Oxígenometro Apera, Aéreo GroDigital, equipos utilizados para la toma de datos de los parámetros fisicoquímicos.

7.12.2. Nutrientes

Para la medición de los nutrientes se empleó los equipos de la marca Hanna Checkers (Figura 18) con sus respectivos reactivos (Anexo 12):

- Calcio (Ca): Para realizar este análisis se utilizó 1 mL de reactivo A con 9 ml de agua destilada, mezclamos y se obtuvo el C1, posteriormente se agregó 100 μ L de la muestra, junto con el reactivo B, agitando durante 15 segundos para leer el C2, lo que nos permite obtener concentraciones en un rango 200 a 600 ppm.

- Nitrato (NO^3): Para su determinación se emplearon 3 reactivos (A, B y C). Se utilizó una cantidad de 7 mL de agua de mar o del acuario, a la cual se le agregó 4 mL del reactivo A y posteriormente el reactivo B, agitando hasta que quede una muestra uniforme para reposar por 10 minutos y así se obtenga el C1 o muestra testigo, posteriormente se incorporó el reactivo C, generando la muestra C2, cuya lectura permitió obtener concentraciones en un rango de 0 a 5 ppm.

- Fosfato: Para este análisis se requirió únicamente de un reactivo en polvo, en la cual se preparó la muestra testigo C.1 con 10 mL de agua marina en la cubeta. Para la muestra de reacción C.2, se adicionó el reactivo en polvo, obteniéndose lecturas en un rango de 0.00 a 1 ppm.

- Silicato: El procedimiento requirió de 3 reactivos (A, B y C). La muestra de testigo C.1 se elaboró con 10 mL de agua marina más los reactivos A y B, dejándose reposar durante 10 minutos. Posteriormente, para obtener la muestra C.2 se adicionó el reactivo C, con lo cual el equipo reportó valores en un rango de 0 a 200 ppm.

- Alcalinidad (Kh): Para este análisis se requirió únicamente de un reactivo líquido, primero se preparó la muestra testigo C.1 con 10 mL de agua marina en la cubeta. Para la muestra de reacción C.2, se adicionó 1mL de reactivo, obteniéndose lecturas en un rango de 0 a 500 ppm.

Figura 18

Equipos utilizados para nutrientes



Nota. Equipos marca Hanna Checkers utilizados para la medición de los nutrientes del agua.

7.13. Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico de los datos se aplicó, en primer lugar, la prueba de normalidad de Shapiro–Wilk, con el fin de evaluar si las variables estudiadas presentaban una distribución normal. Dado que los resultados evidenciaron que los datos no cumplían con el supuesto de normalidad, se optó por el uso de pruebas no paramétricas. En este contexto, se empleó la prueba de Mann–Whitney U, la cual es una prueba estadística no paramétrica utilizada para comparar dos muestras independientes. Esta prueba permitió evaluar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las variables analizadas, correspondientes a los viveros y los sustratos, considerando un nivel de significancia previamente establecido.

Para el análisis de los parámetros ambientales se realizó el coeficiente de correlación de Pearson, esta estadística relaciona dos variables continuas, arrojando resultados entre +1 y -1, para esta programación se normalizó los datos en un rango de 0 a 1 lo cual es útil para este modelo estadístico.

CAPÍTULO VI

8. RESULTADOS

8.1. Tasa de Crecimiento del Coral por Sustratos

8.1.1. Vivero *In Situ*

En el desarrollo de la investigación se utilizaron dos tipos de sustratos, barro y cemento, seleccionados por sus características de textura y estabilidad, proporcionando una base sólida para el crecimiento del coral. En la Figura 19 se presentan los valores de medidas de alto y ancho comparando con los sustratos de barro y cemento, además se observa que en ambos existe diferencia entre las dimensiones.

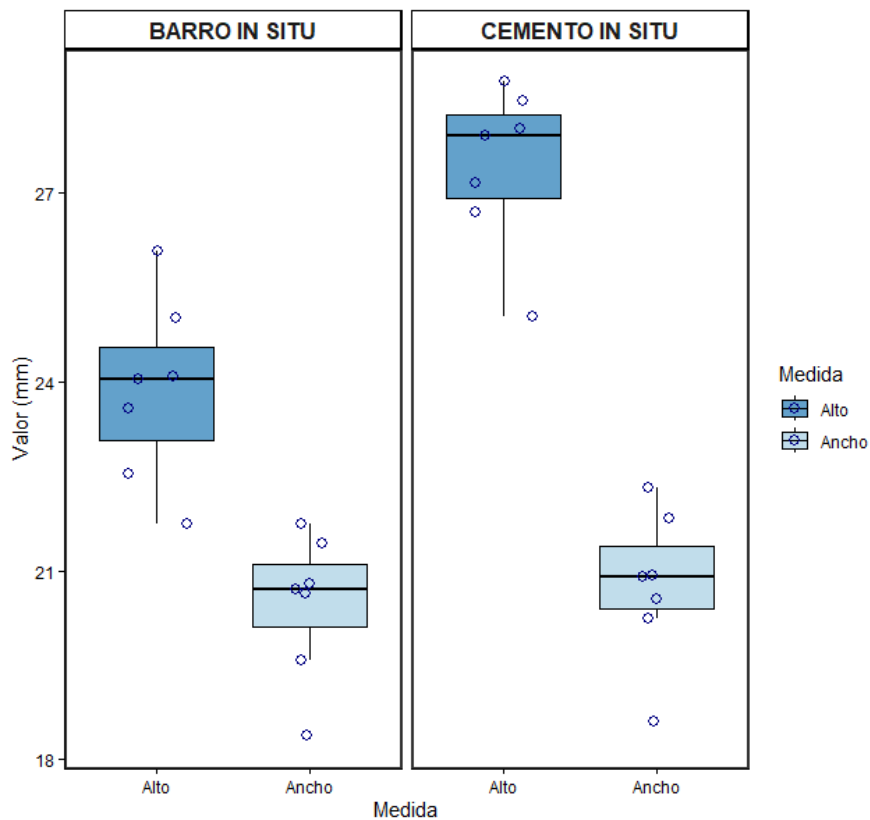
El sustrato de barro, en las medidas morfométricas de alto presenta una mediana cerca a los 24 mm mientras que en el ancho alrededor de los 21 mm, este patrón sugiere un crecimiento moderado, además de una dispersión de datos, esto significa que los corales crecieron de manera uniforme entre ancho y alto en este sustrato, esto podría deberse a la textura del barro generando un mejor crecimiento.

En el sustrato de cemento se observa un crecimiento mayor de alto alcanzando una mediana de 27 mm mientras que en el ancho una mediana de 21 igual que el sustrato anterior, la dispersión es menor, es decir que los datos son más homogéneos, el cemento al ser un sustrato más firme la superficie favorece al desarrollo vertical y reduce variaciones entre los diferentes fragmentos.

Estos resultados muestran que el tipo de sustrato influye directamente en el crecimiento, el sustrato de cemento favorece al desarrollo de altura, mientras que el barro promueve un desarrollo homogéneo.

Figura 19

Mediciones morfométricas del vivero In Situ en relación a los sustratos



Nota: Las gráficas muestran la comparación entre las variables alto y ancho de los diferentes sustratos utilizados (cemento y barro) del vivero marino o *In Situ*.

8.1.2. Vivero *Ex Situ*

En las condiciones de vivero *Ex Situ*, se emplearon los mismos sustratos mencionados anteriormente, en la Figura 20 se observan valores de alto y ancho para ambos sustratos, en general los resultados muestran las mediciones morfométricas del coral predominante el crecimiento vertical.

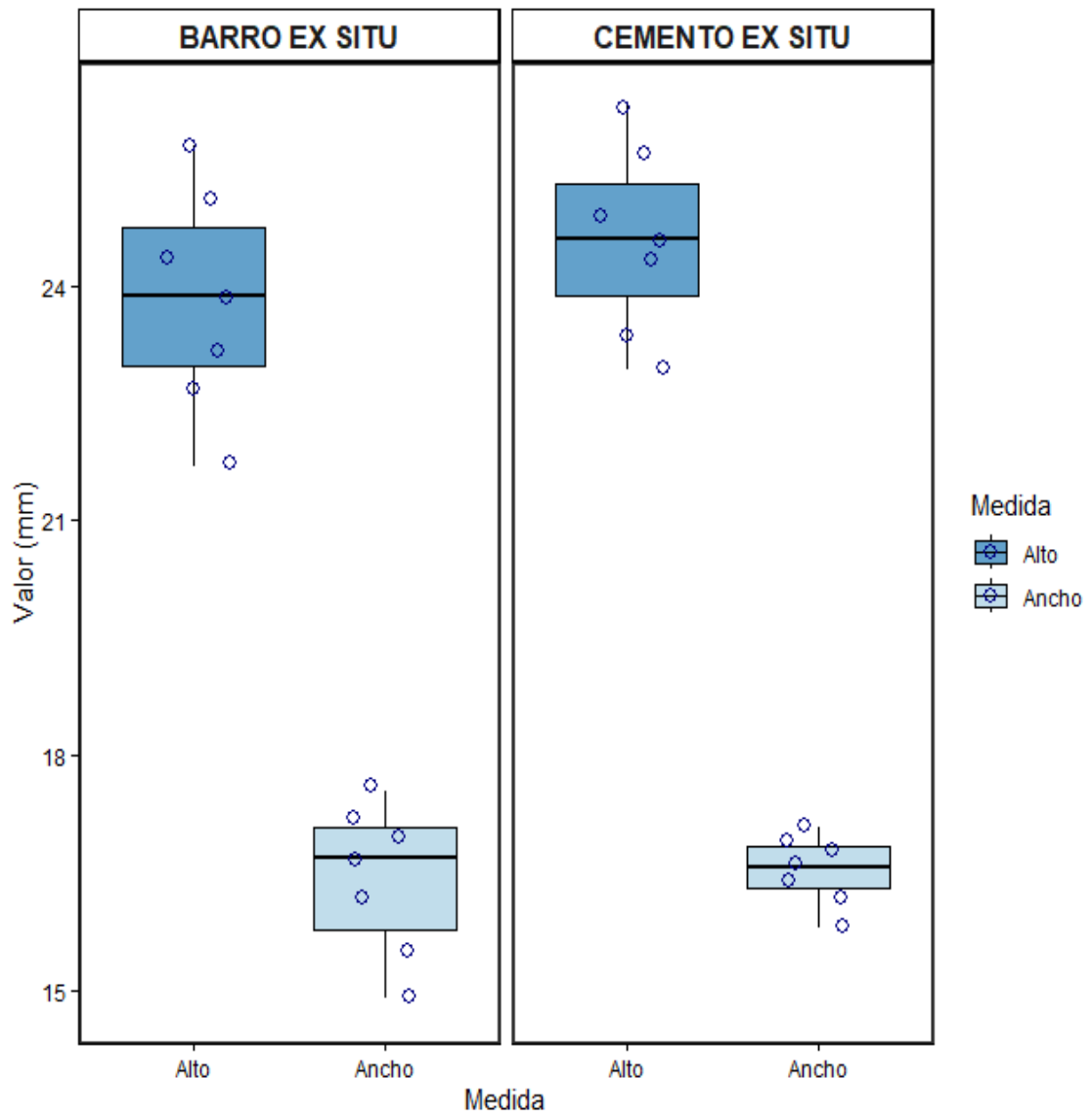
El sustrato de barro tiene una mediana de aproximadamente 25 mm mientras que el ancho alcanza valores alrededor de los 17 mm, además de esto existe dispersión en los datos, esto sugiere un crecimiento constante en altura, además se observa la amplitud de los cuartiles por la variabilidad, es decir que los datos son menos homogéneos.

El sustrato de cemento presenta valores muy similares a los de barro, con una mediana de 24.5 mm, mientras que el ancho ligeramente inferior con una mediana de 16 mm, sin embargo, la dispersión de estos datos es menor, lo que indica un resultado más uniforme, sugiriendo que este sustrato es más estable para el crecimiento.

En conjunto los resultados de esta tabla muestran que bajo condiciones *Ex Situ* no existe diferencias significativas entre los sustratos, dado a que, ambos mantienen un crecimiento similar en términos de alto y ancho, sin embargo, se evidencia una mayor uniformidad de datos en el cemento, mientras que el barro presenta una mayor tendencia a valores de altura, estos hallazgos indican que en condiciones controladas ambos materiales crecen más en altura que en grosor.

Figura 20

Mediciones morfométricas del vivero Ex Situ en relación a los sustratos



Nota: Las gráficas muestran la comparación entre las variables alto y ancho de los diferentes sustratos utilizados (cemento y barro) del vivero terrestre o *Ex Situ*.

8.1.3. Comparación entre sustratos

8.1.3.1. Comparación del área por sustratos

A continuación, se presenta la comparación del área diferencial del coral en mm² (Figura 21), de acuerdo al tipo de sustrato y al ambiente, cada punto representa un fragmento de coral, permitiendo visualizar la variabilidad del crecimiento dentro de cada sustrato, donde las zonas más anchas indican mayor concentración de datos.

Los corales en el sustrato de barro en ambos ambientes alcanzaron mayores valores de crecimiento en comparación al sustrato de cemento, en el ambiente *Ex Situ* los corales de barro alcanzan valores de hasta 200 mm² y en el ambiente *In Situ*, aunque la variabilidad de datos es similar al ambiente terrestre los valores máximos son entre los 250 mm², indicando así que el barro proporcione una superficie adecuada para el crecimiento del coral.

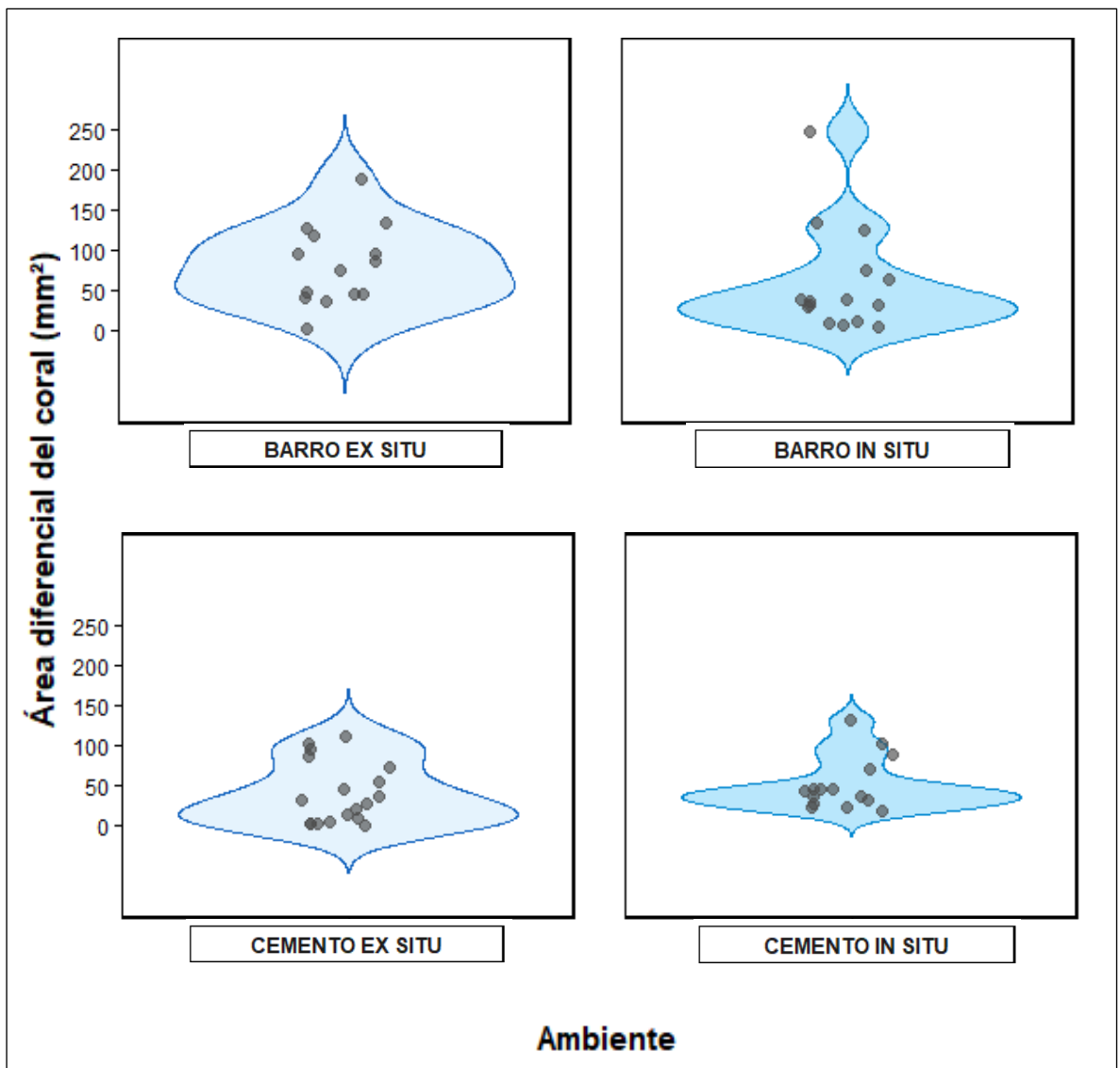
Por el contrario, en los corales del sustrato de cemento, tienen un crecimiento más limitado en el ambiente *Ex Situ* los valores se concentran principalmente entre los rangos de 0 a 100 mm², en los viveros *In Situ* su distribución es más estrecha similar al vivero terrestre.

En resultado el barro favorece al crecimiento coralino superior al sustrato de cemento independiente del ambiente, aunque los valores más altos se registraron

en el vivero marino o *In Situ*, esto indica también que tanto como el tipo de sustrato y el ambiente influyeron significativamente en el desarrollo del coral.

Figura 21

Área Diferencial del Coral por Sustratos



Nota: La figura muestra la variabilidad del crecimiento en el área diferencial del coral según el tipo de sustrato (barro y cemento) y el ambiente o vivero (*Ex Situ* e *In Situ*).

8.1.3.2. Crecimiento diferencial por sustratos

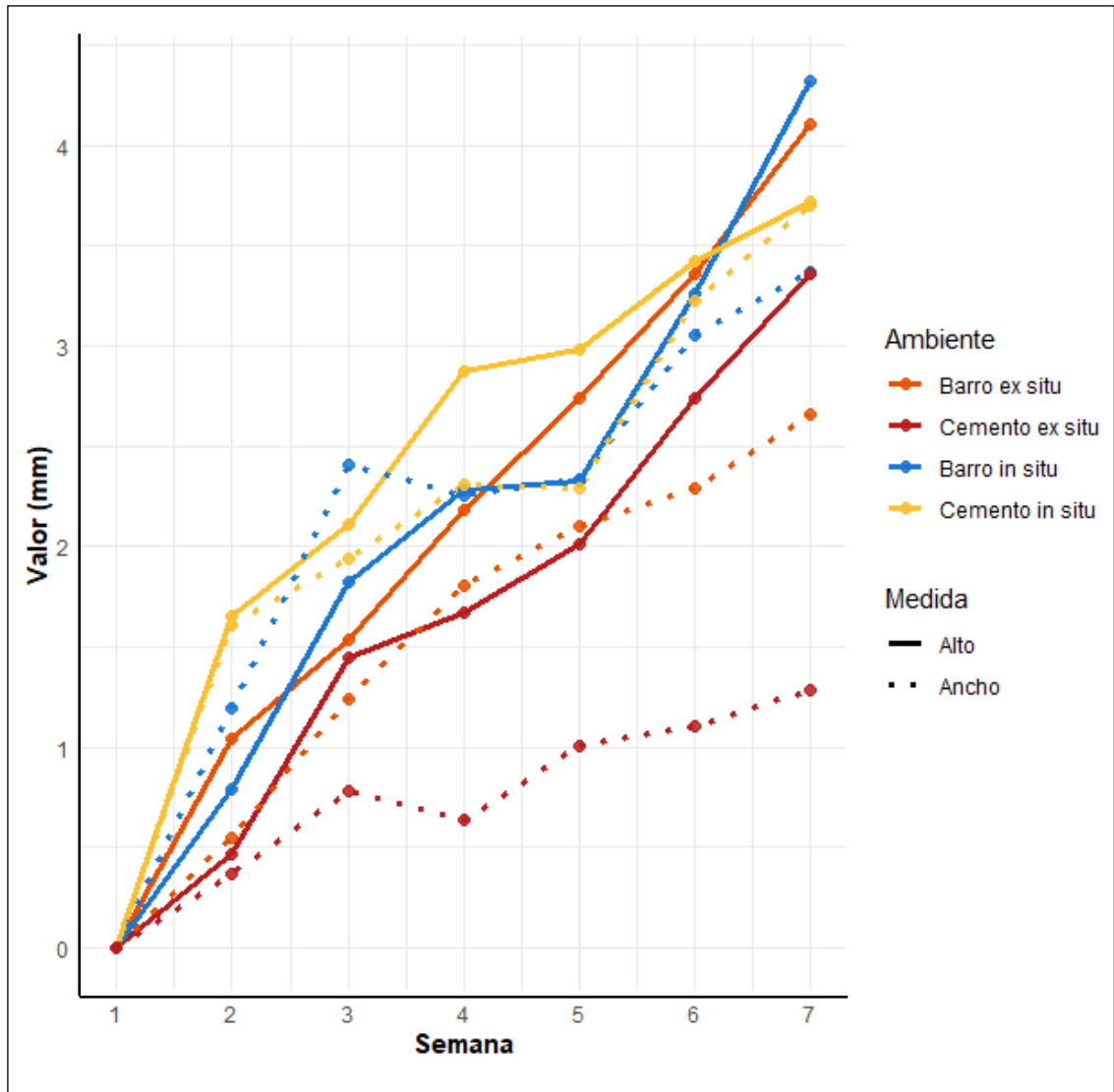
Con base a la Figura 22 se observa la evolución semanal de crecimiento del coral en mm en función al tipo de sustrato y al ambiente o viveros, en general todas las curvas presentan una tendencia ascendente lo que evidencia un crecimiento gradual a lo largo del periodo de estudio.

Los corales fijados en sustratos de barro tanto en ambiente *In Situ* como *Ex Situ* muestran un patrón de crecimiento mayor alcanzando valores cercanos a 4 mm en la última semana, indicando que esta superficie fue favorable para la fijación y el desarrollo coralino.

El sustrato de cemento refleja un comportamiento más variable en el ambiente *In Situ*, los corales alcanzaron valores similares al barro, pero entre la semana 3 y 5 hubo un periodo de crecimiento lento, en el vivero *Ex Situ* el crecimiento fue menor llegando a la semana final con valores de 3.5 mm indicando que este sustrato pudo haber limitado el desarrollo coralino. En todas las líneas el alto se mantiene por encima del ancho, mostrando un crecimiento vertical más pronunciado, esto podría asociarse por el desarrollo del coral, en conjunto el crecimiento del coral fue mayor en el ambiente *In Situ* con el sustrato de barro.

Figura 22

Crecimiento Diferencial del Coral por Sustratos



Nota: Las gráficas muestran la comparación del crecimiento diferencial durante un periodo de 7 semanas de acuerdo a los diferentes sustratos (Cemento y Barro).

8.1.4. Análisis estadístico – Crecimiento por Sustratos

Para el análisis estadístico de crecimiento se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para cada sustrato, para el sustrato de barro *Ex Situ* se obtuvo un valor estadístico p-valor de: 0.4527, para el mismo sustrato, pero en los viveros *In Situ* se obtuvo un p-valor de: 0.0004297.

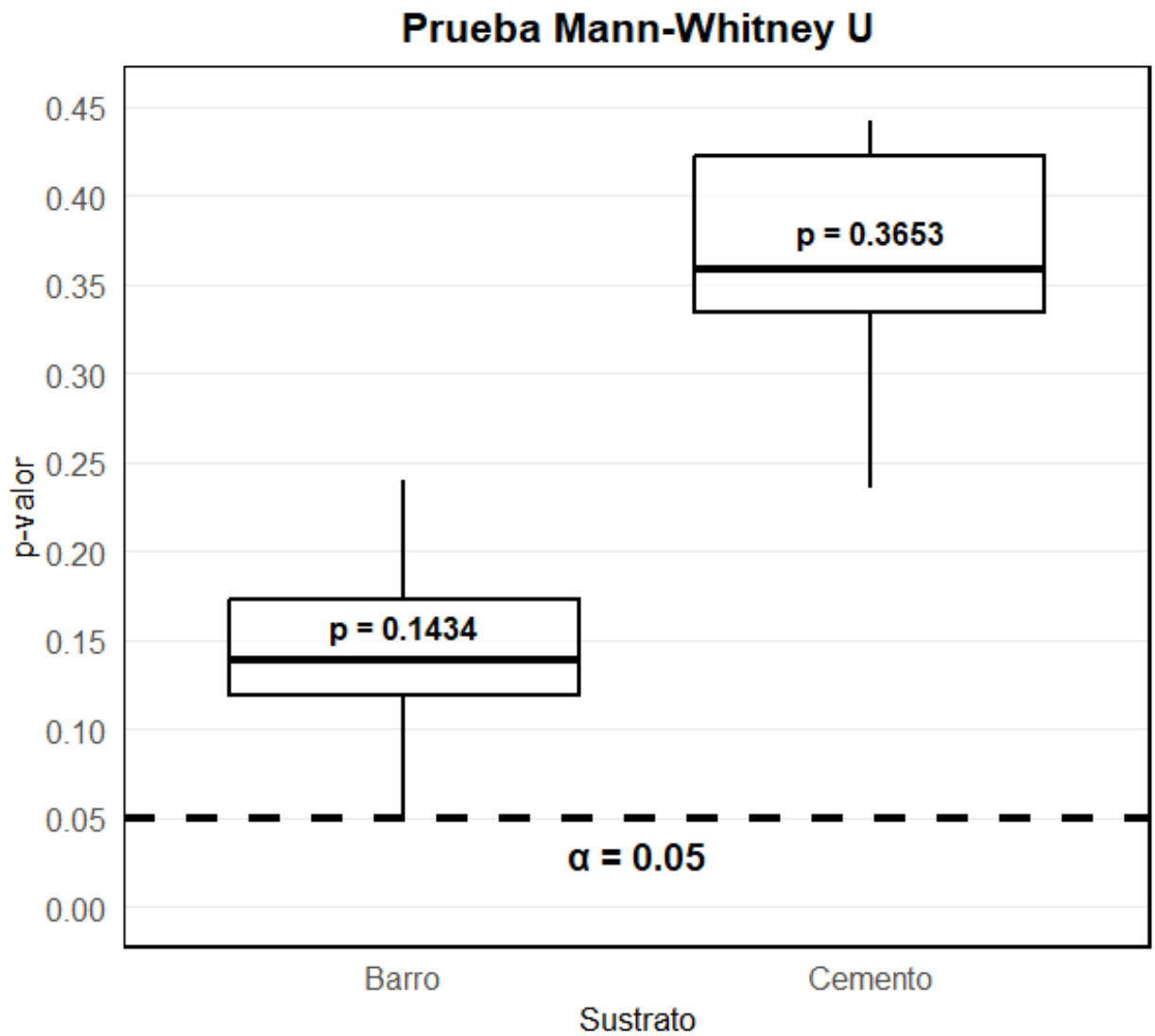
Así mismo, para el sustrato de cemento se realizó la misma prueba de normalidad, dando como resultado un valor estadístico de p-valor: 0.0445 en el vivero *Ex Situ*, y un p-valor de: 0.008776 en el ambiente *In Situ*.

Dado que todos los resultados del p-valor son inferiores al valor de significancia del 5%, y los datos no siguen una distribución normal, se aplicó una prueba no paramétrica de Mann-Whitney U (Figura 23).

Esta prueba compara dos muestras independientes, en este caso ambos sustratos reflejan un p-valor de 0.1434 para el sustrato de barro y un p-valor de 0.3653 para el sustrato de cemento, este resultado es mayor al nivel de significancia de 0.05, por ende, se rechaza la hipótesis alternativa en ambos sustratos, lo que indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos de barro (E-I) y cemento (E-I), es decir que no existe una diferencia entre el desarrollo del coral y el tipo de sustrato.

Figura 23

Análisis Estadístico por Sustrato



Nota: La figura muestra el p-valor de los análisis estadísticos de la prueba Mann Whitney U en los diferentes sustratos utilizados, barro y cemento.

8.2. **Influencia de los factores ambientales:**

8.2.1.1. Parámetros fisicoquímicos *In Situ*

Desde las Figuras 24 a la Figura 29 se observa la relación de los parámetros fisicoquímicos con las medidas morfométricas del coral (alto y ancho) en el ambiente *In Situ*.

De manera general el pH en la Figura 26 muestra una tendencia positiva, indicando una mayor correlación al crecimiento tanto en altura como en ancho, esto sugiere que las condiciones del pH en el agua de mar están ligeramente alcalinas lo que favorece al desarrollo biológico del coral.

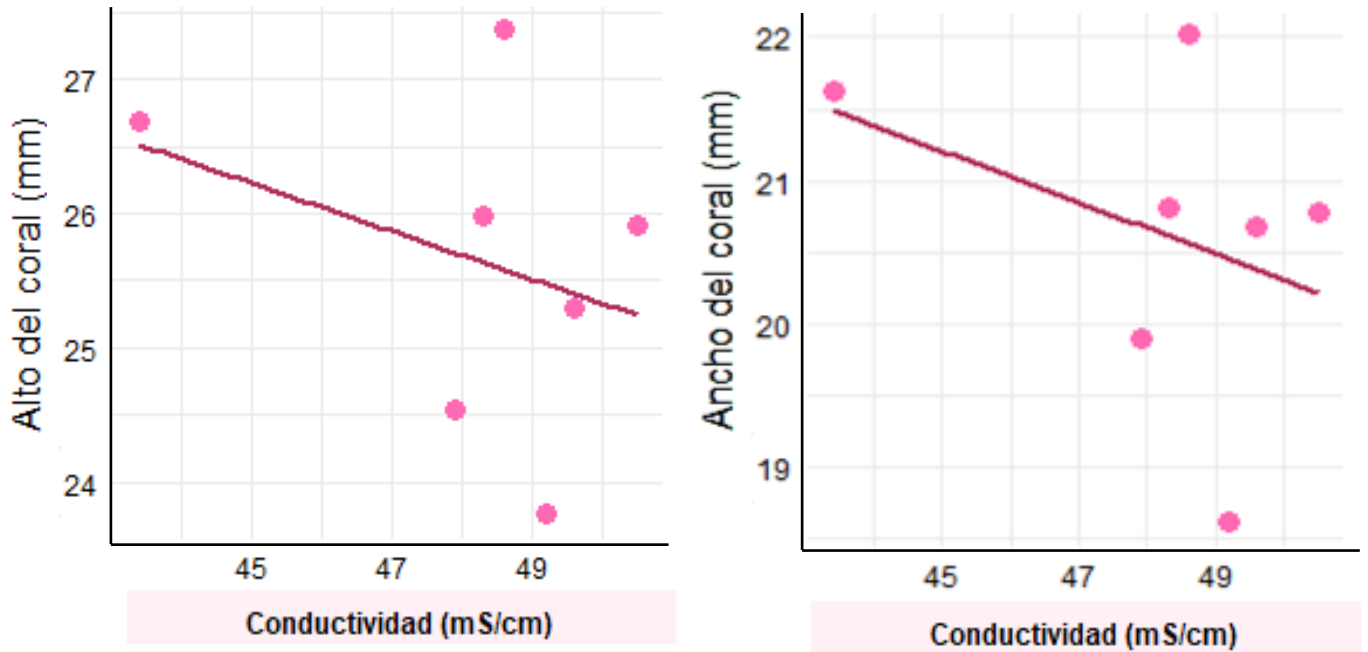
El oxígeno disuelto (Figura 28) y la temperatura (Figura 29) presentan una relación positiva leve, lo que podría indicar que a mayor disponibilidad de oxígeno y a temperaturas moderadas, la especie *P. damicornis* puede desarrollarse y crecer.

Por otro lado, la conductividad (Figura 24) y los sólidos totales disueltos (Figura 27) muestran tendencias negativas, lo que sugiere que los valores elevados de estos parámetros pueden limitar el proceso fisiológico del coral.

La salinidad (Figura 25) mantiene un rango horizontal lo que indica una relación nula con el crecimiento, es decir que no tuvo un efecto significativo en el desarrollo del coral.

Figura 24

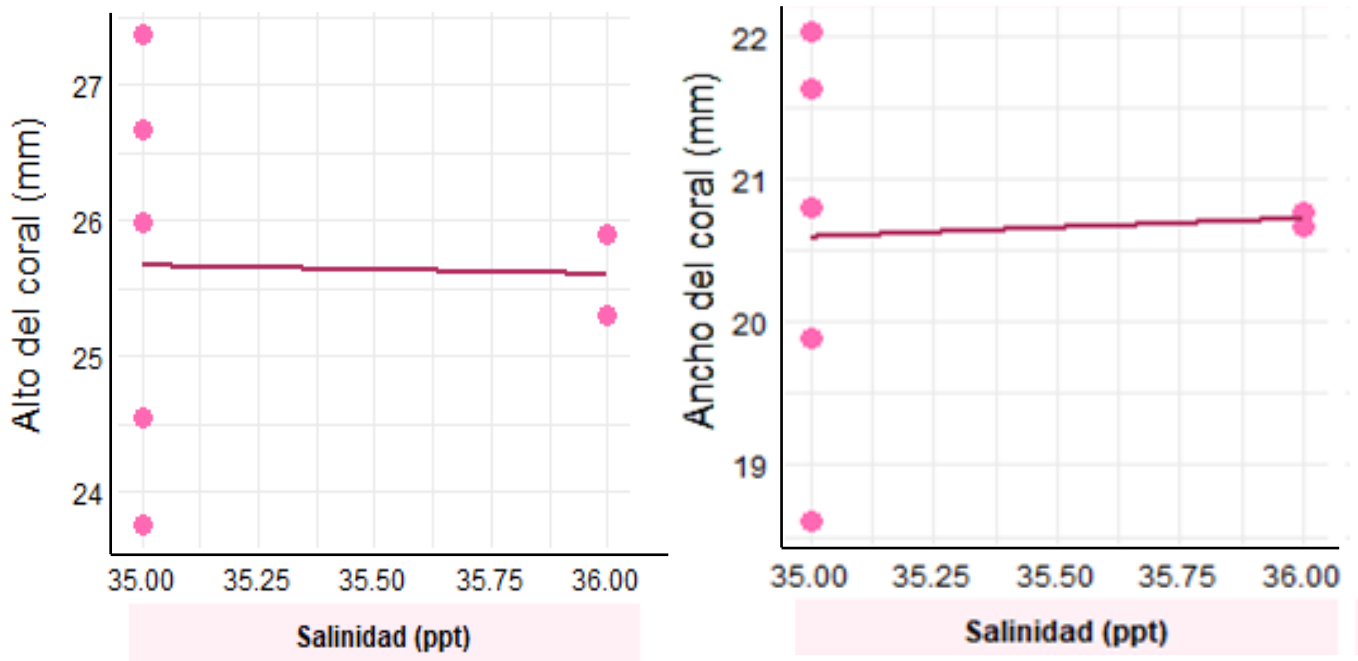
Relación de la conductividad con el alto y ancho del coral



Nota: Las gráficas muestran la relación del crecimiento en altura y en el ancho del coral con la conductividad expresada en mS/cm en el ambiente *In Situ*.

Figura 25

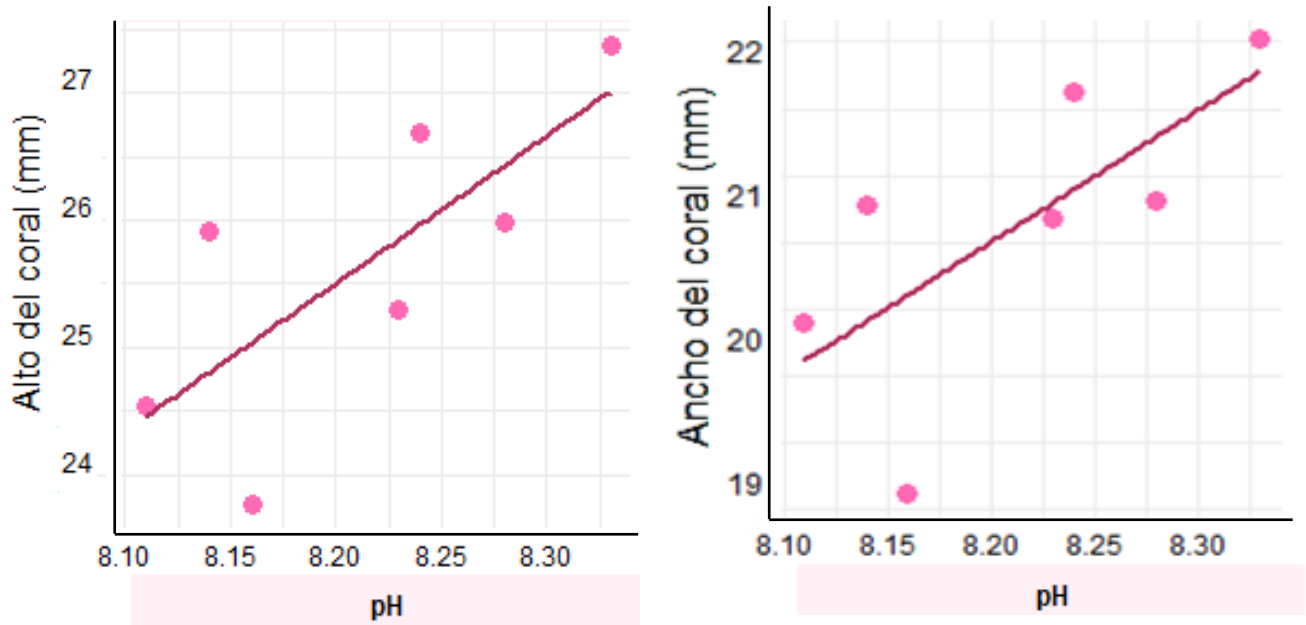
Relación de la salinidad con el alto y el ancho del coral



Nota: Las gráficas muestran la relación del crecimiento en altura y ancho del coral con la salinidad expresada en ppt en el ambiente *In Situ*.

Figura 26

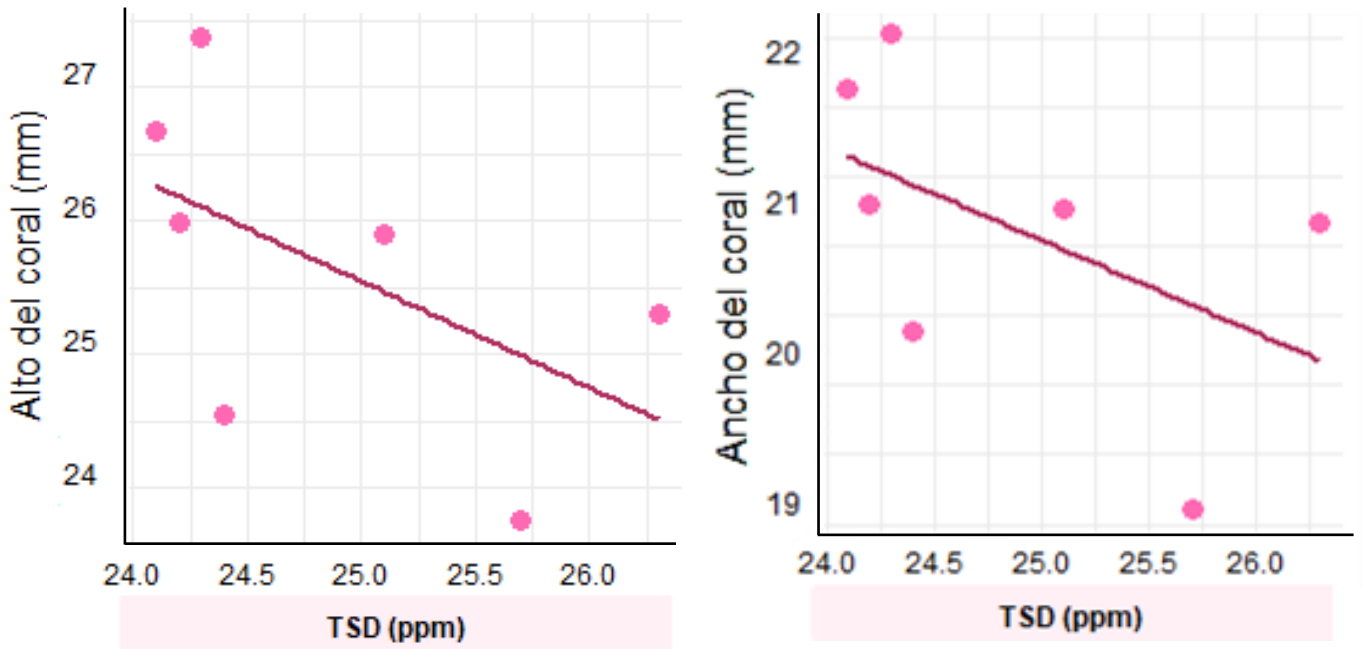
Relación del pH con el alto y el ancho del coral



Nota: Las gráficas muestran la relación del crecimiento en altura y el ancho del coral con el pH en el ambiente *In Situ*.

Figura 27

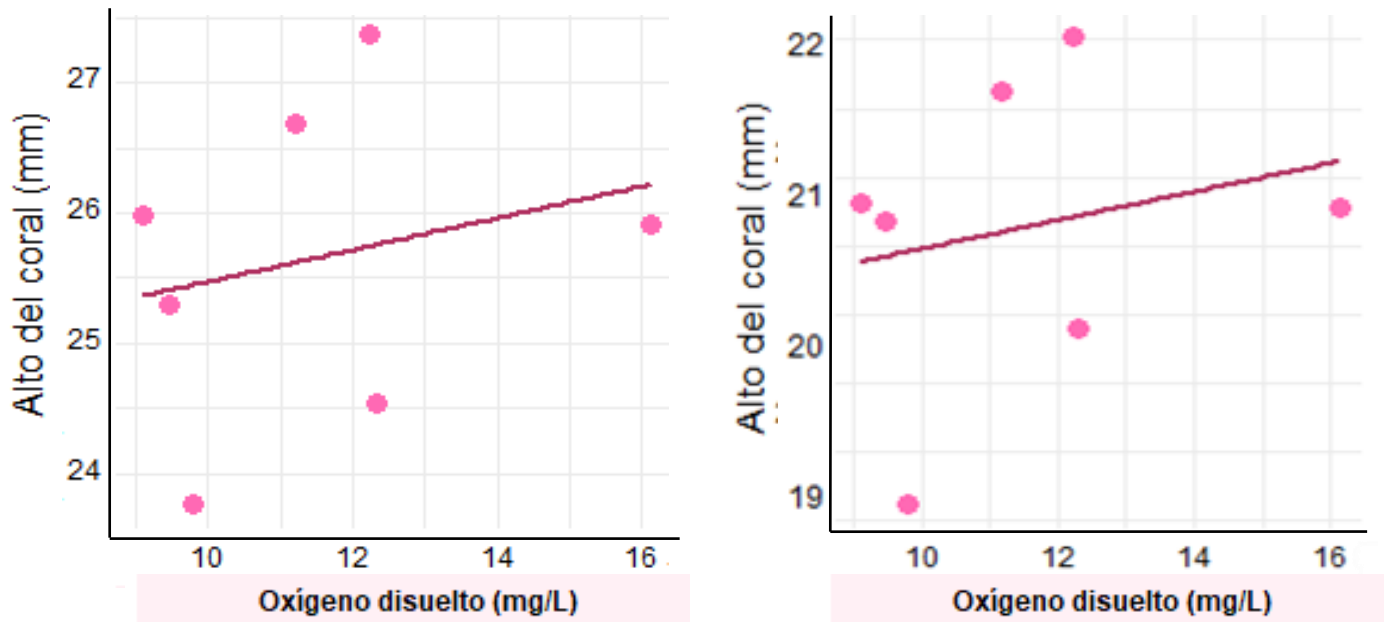
Relación de los TDS con el alto y el ancho del coral



Nota: La gráfica muestra la relación del crecimiento en altura y de manera horizontal o ancho del coral con los TDS expresados en ppm en el ambiente *In Situ*.

Figura 28

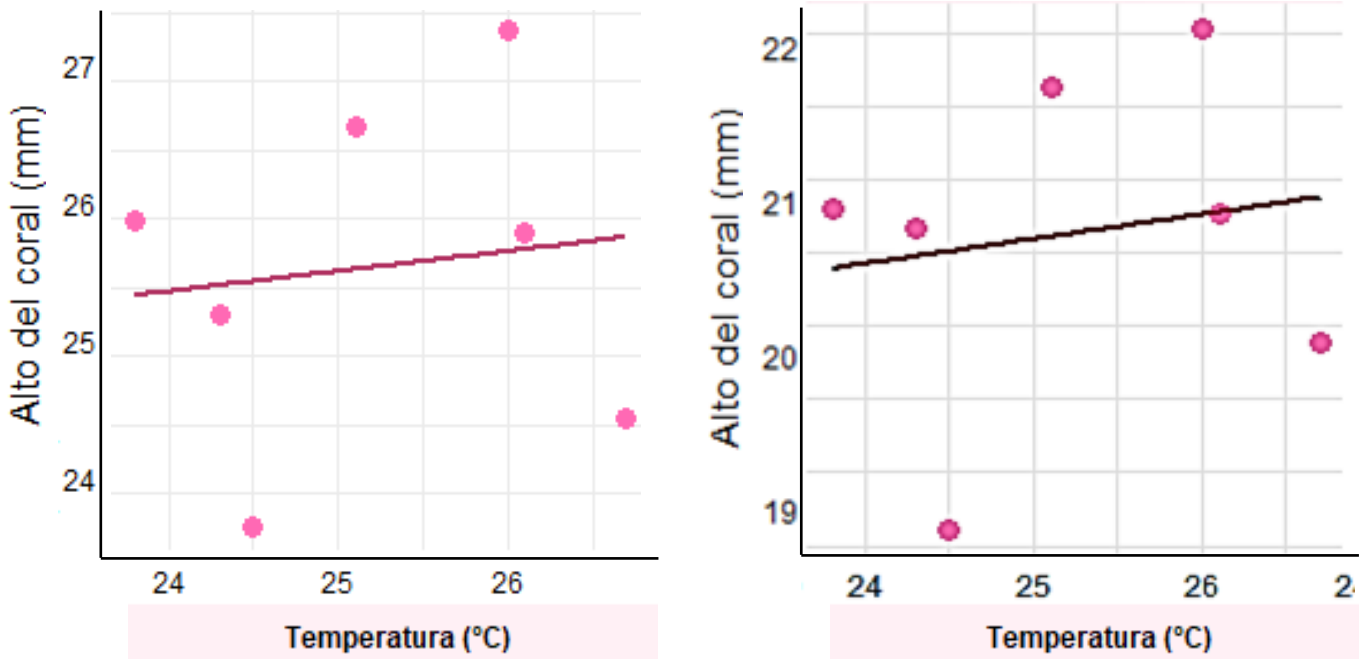
Relación del OD con el alto y ancho del coral



Nota: La gráfica muestra la relación del crecimiento en altura y en el ancho del coral con el oxígeno disuelto expresado en mg/L en el ambiente *In Situ*.

Figura 29

Relación de la temperatura con el alto y el ancho del coral



Nota: Las gráficas muestran la relación del crecimiento en altura y de manera horizontal o ancho del coral con la temperatura expresada en °C en el ambiente *In Situ*.

8.2.1.2. Parámetros fisicoquímicos *Ex Situ*

Se observan los parámetros fisicoquímicos con las medidas de alto y ancho en el ambiente *Ex Situ* presentes en las Figuras 30 a la Figura 35.

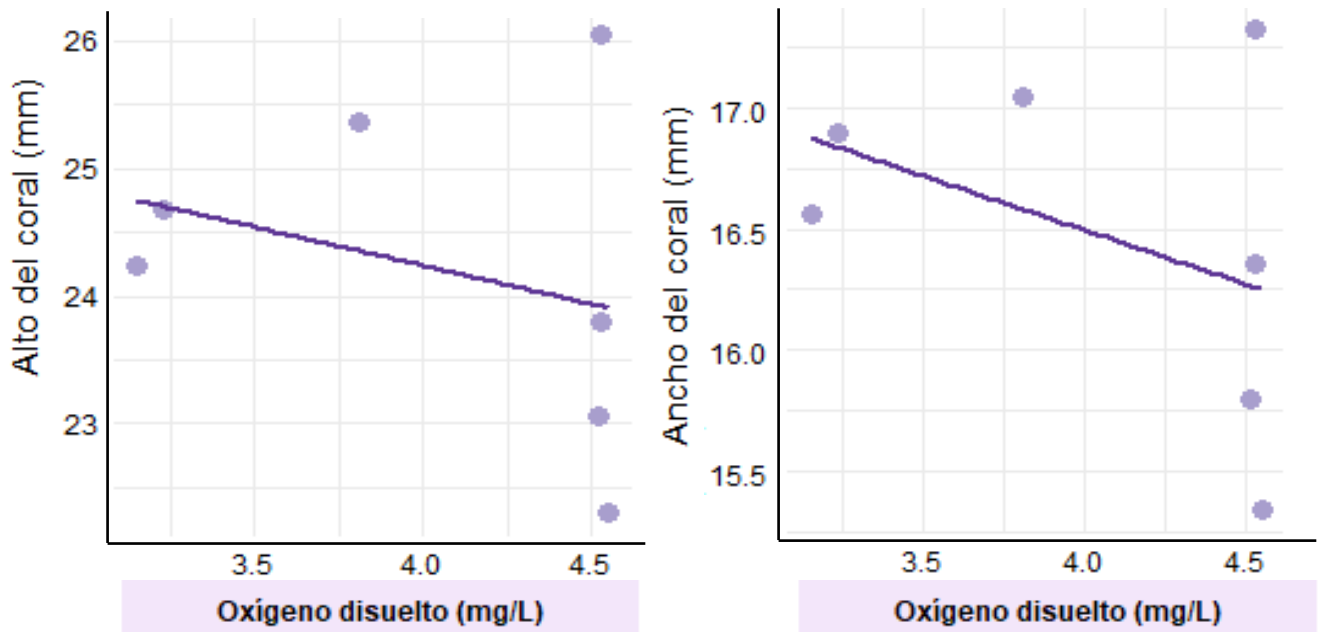
En relación al ancho del coral con el pH (Figura 32), la salinidad (Figura 33), la temperatura (Figura 34), TDS (Figura 35), muestran una tendencia positiva lo que implica que todos estos parámetros fisicoquímicos tienen una ligera relación con el crecimiento en ancho del coral.

Mientras que en la Figura 30 el oxígeno tiene una pendiente negativa, indicando que, a menores concentraciones de OD, la relación es débil o no es significativo con el ancho del coral.

En relación con el alto del coral el pH muestra una relación más pronunciada y positiva que en las demás variables, además de la salinidad, la temperatura y los TDS, también indican una pendiente positiva que se asocian con el alto del coral.

Figura 30

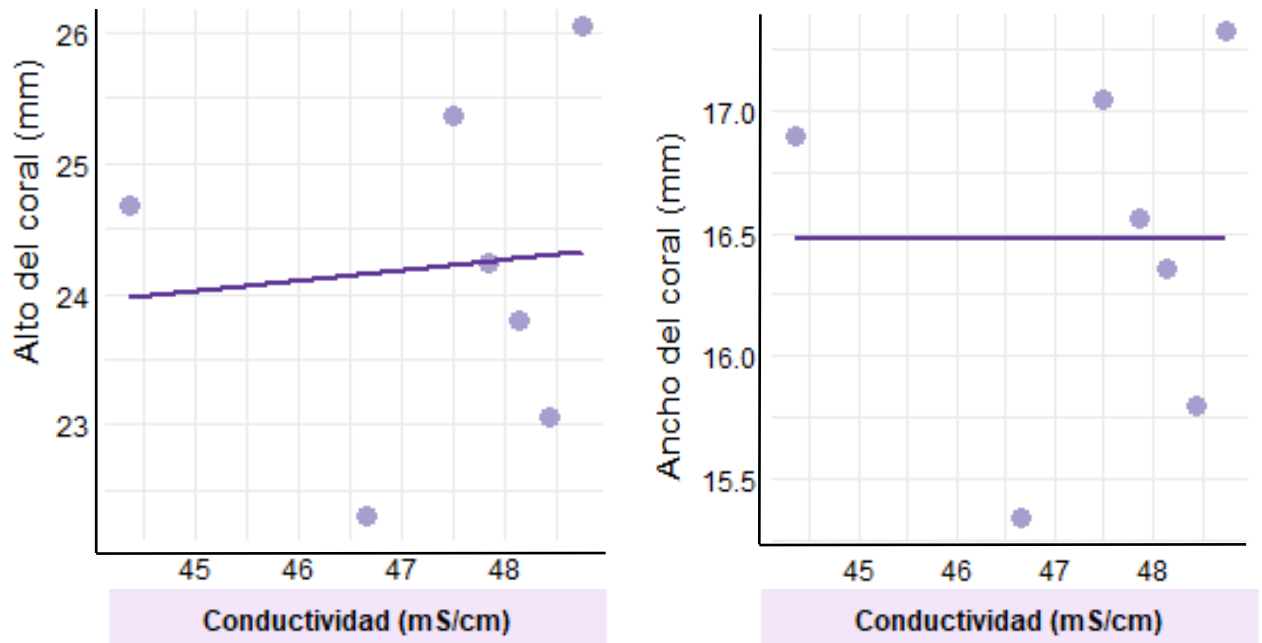
Relación del OD con el ancho y alto del coral



Nota: Las gráficas muestran la relación entre el crecimiento en altura del coral y ancho con el oxígeno disuelto expresando en mg/L en el ambiente *Ex Situ*.

Figura 31

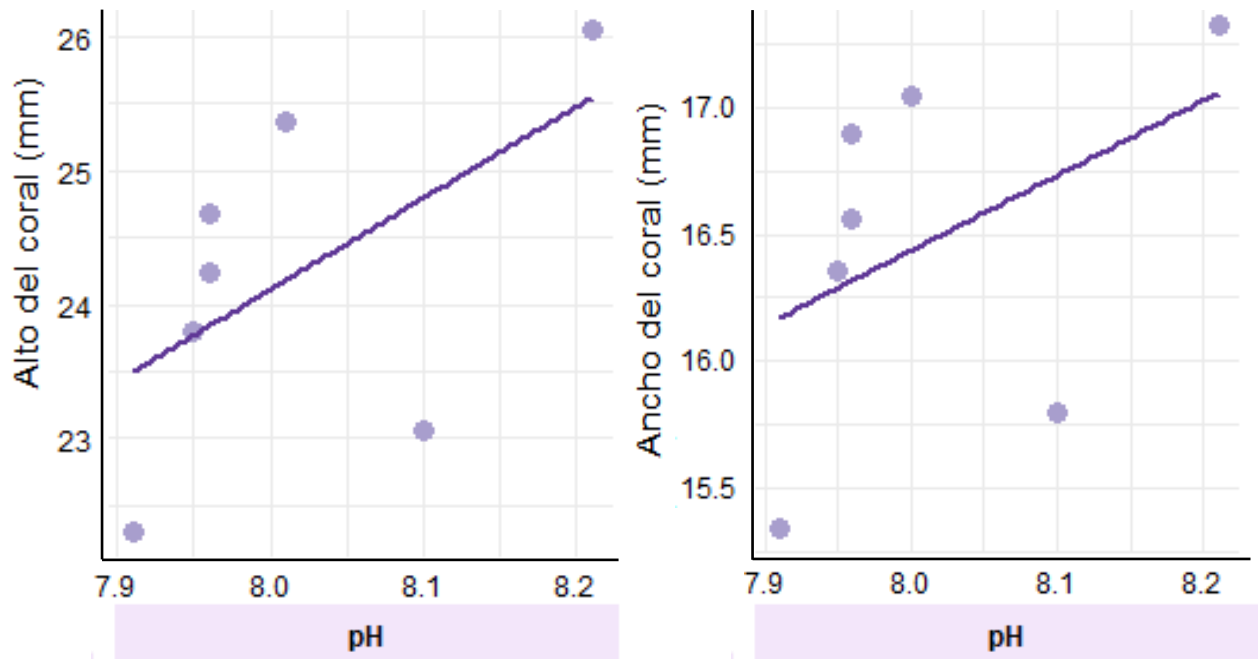
Relación de la conductividad con el ancho y el alto del coral



Nota: Las gráficas muestran la relación del crecimiento del ancho y el alto del coral con la conductividad expresada en mS/cm en el ambiente *Ex Situ*.

Figura 32

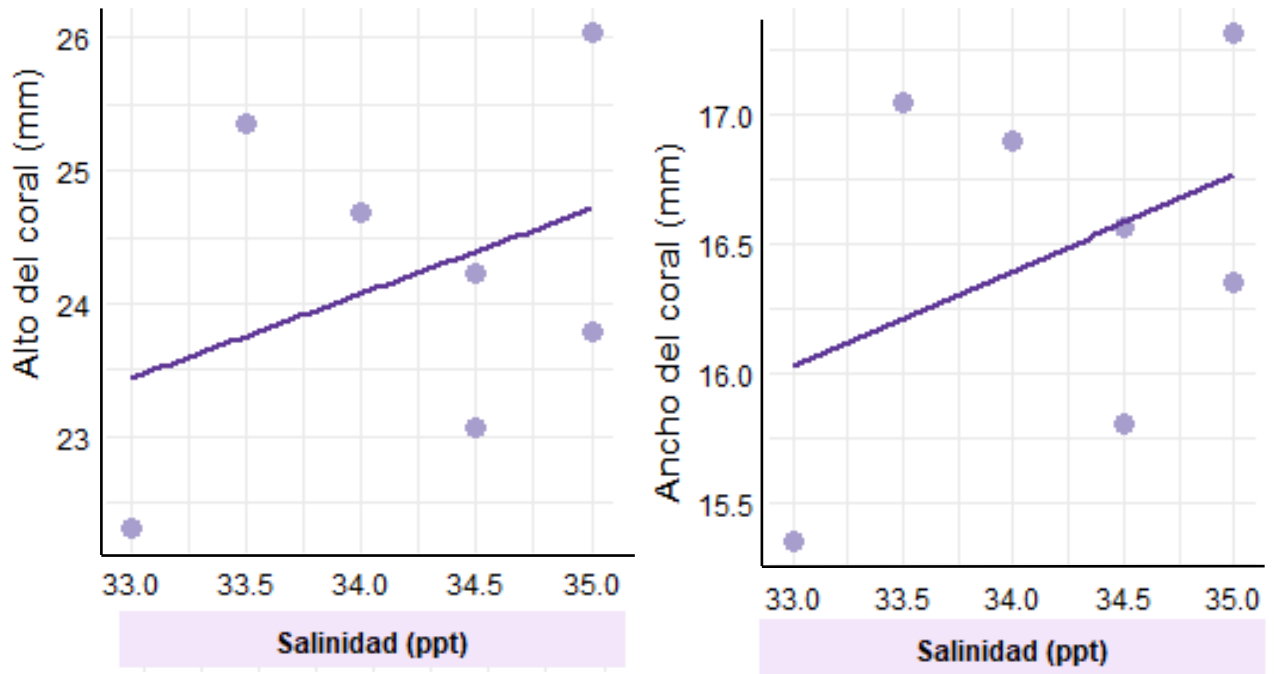
Relación del pH con el ancho y el alto del coral



Nota: Las gráficas muestran la relación del crecimiento del ancho y el alto del coral con el pH en el ambiente *Ex Situ*.

Figura 33

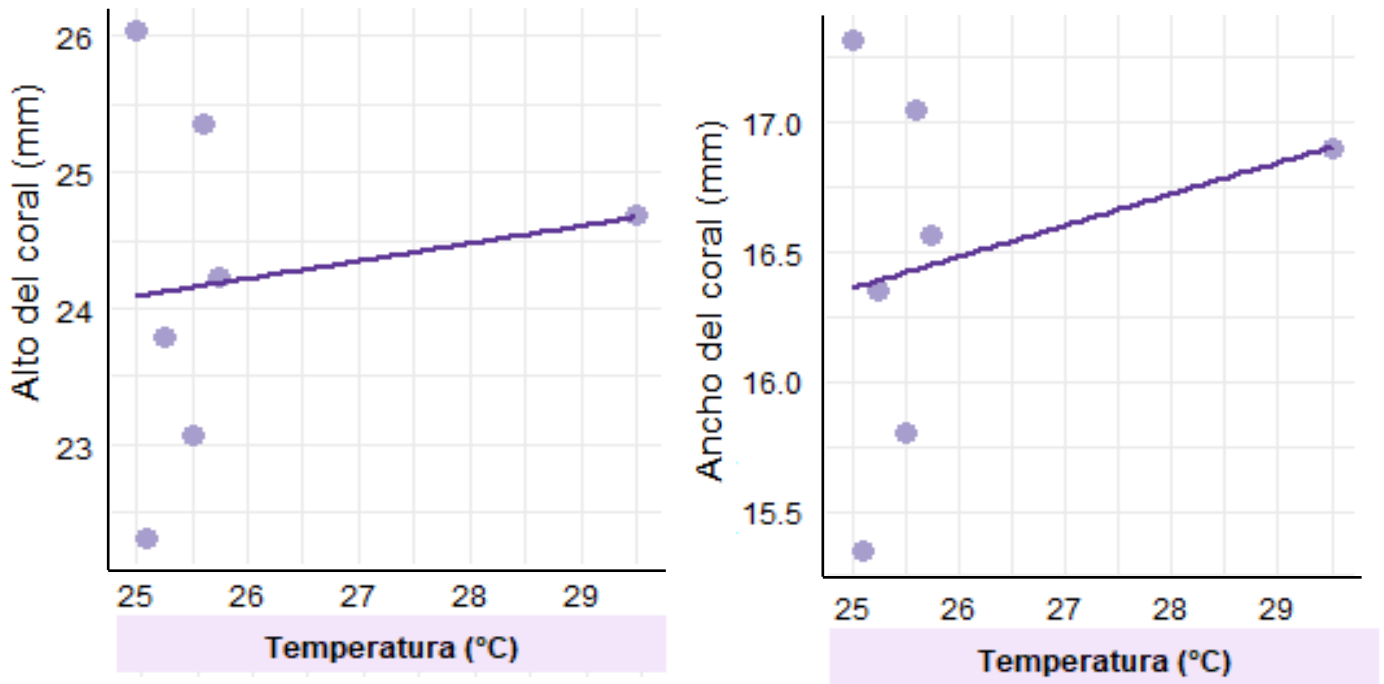
Relación de la salinidad con el ancho y el alto del coral



Nota: Las gráficas muestran la relación entre el crecimiento del ancho y el alto del coral con la salinidad expresada en ppt en el ambiente *Ex Situ*.

Figura 34

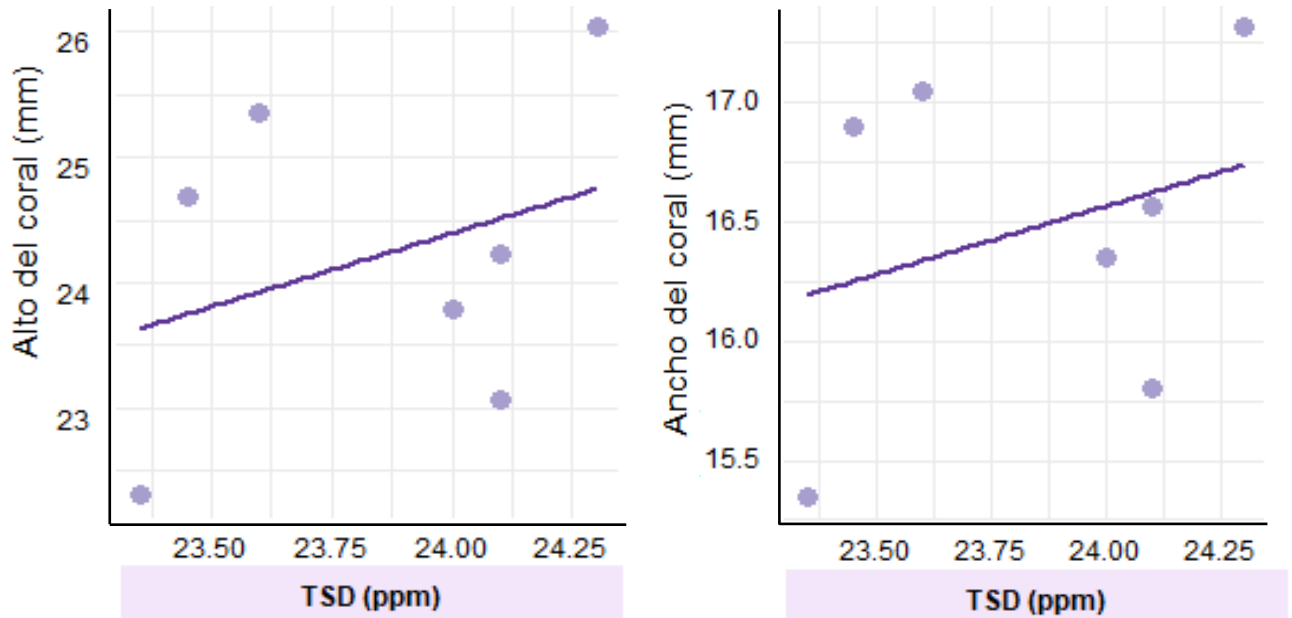
Relación de la temperatura con el ancho y el alto del coral



Nota: Las gráficas muestran la relación del crecimiento del ancho y el alto del coral con la temperatura (°C) en el ambiente *Ex Situ*.

Figura 35

Relación de los TDS con el ancho y el alto del coral



Nota: Las gráficas muestran la relación del crecimiento del ancho y el alto del coral con los sólidos totales disueltos expresados en ppm en el ambiente *Ex Situ*.

8.2.1.3. Nutrientes *In Situ*

Desde las Figuras 36 hasta la Figura 40 presentan la relación entre la concentración de los nutrientes presentes en el agua del mar con las mediciones morfométricas del alto y ancho del coral.

En los análisis de alto el calcio (Figura 37) y el fosfato (Figura 38) presentan una relación positiva, a medida que aumentan las concentraciones también aumenta el alto del coral, lo que sugiere que estos dos nutrientes favorecen al desarrollo de altura de *P. damicornis*.

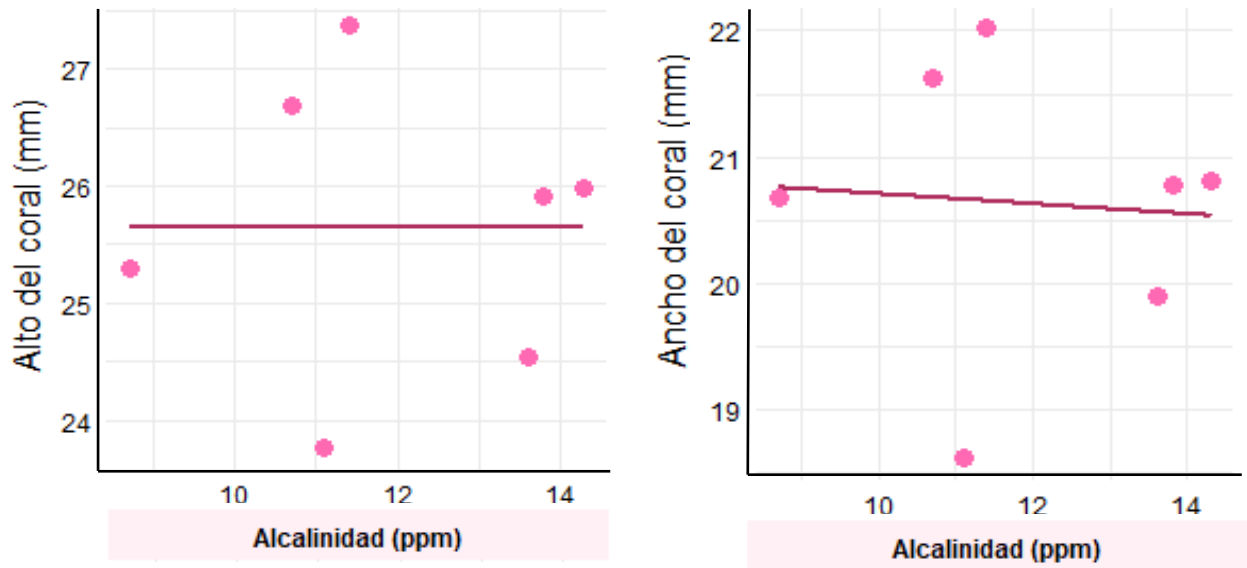
En la Figura 40, el silicato tiene una ligera tendencia positiva, indicando que posiblemente tenga un aporte secundario en el crecimiento.

Los nutrientes como el nitrato (Figura 39) y alcalinidad (Figura 36) presentan una tendencia negativa lo que indica que estos nutrientes no necesariamente promueven el crecimiento en altura del coral.

En el ancho del coral los que mantienen una relación o tendencia positiva es el calcio, el fosfato y el silicato, estos nutrientes están asociados con un mejor crecimiento de manera horizontal. En cambio, la alcalinidad y el nitrato muestran una relación débil con el ancho del coral.

Figura 36

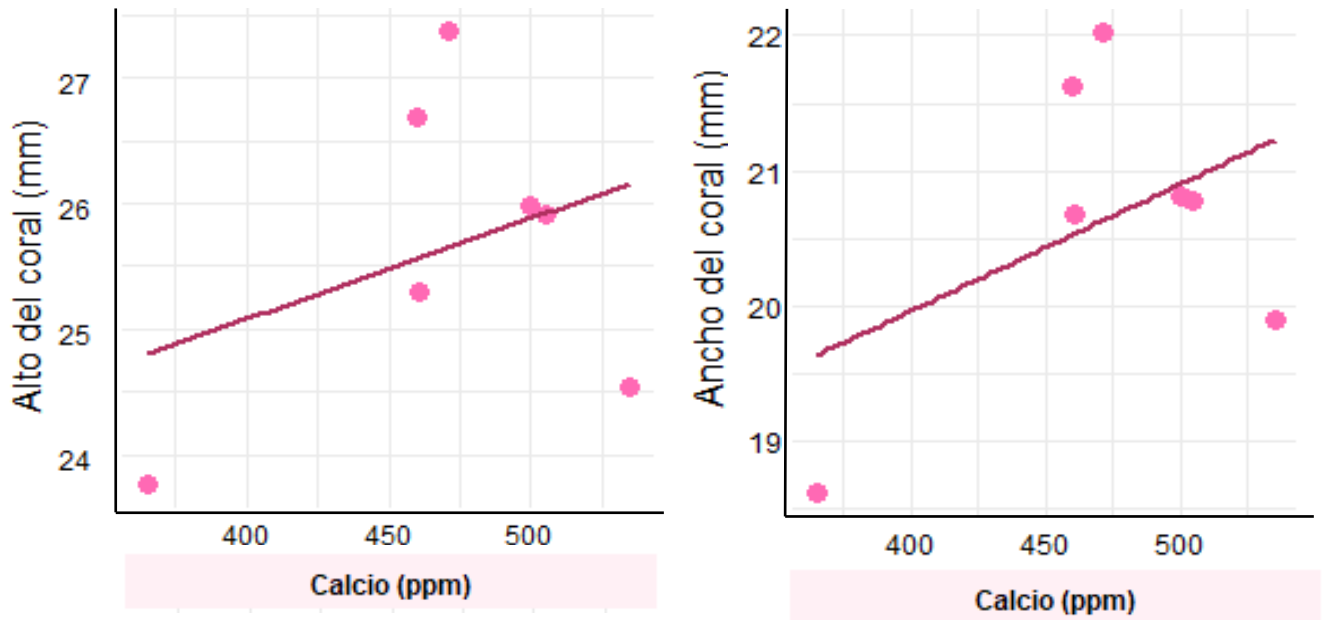
Relación de la alcalinidad con el alto y el ancho del coral



Nota: Las gráficas muestran la relación del crecimiento en altura y el ancho del coral con la alcalinidad en ppm, en el ambiente *In Situ*.

Figura 37

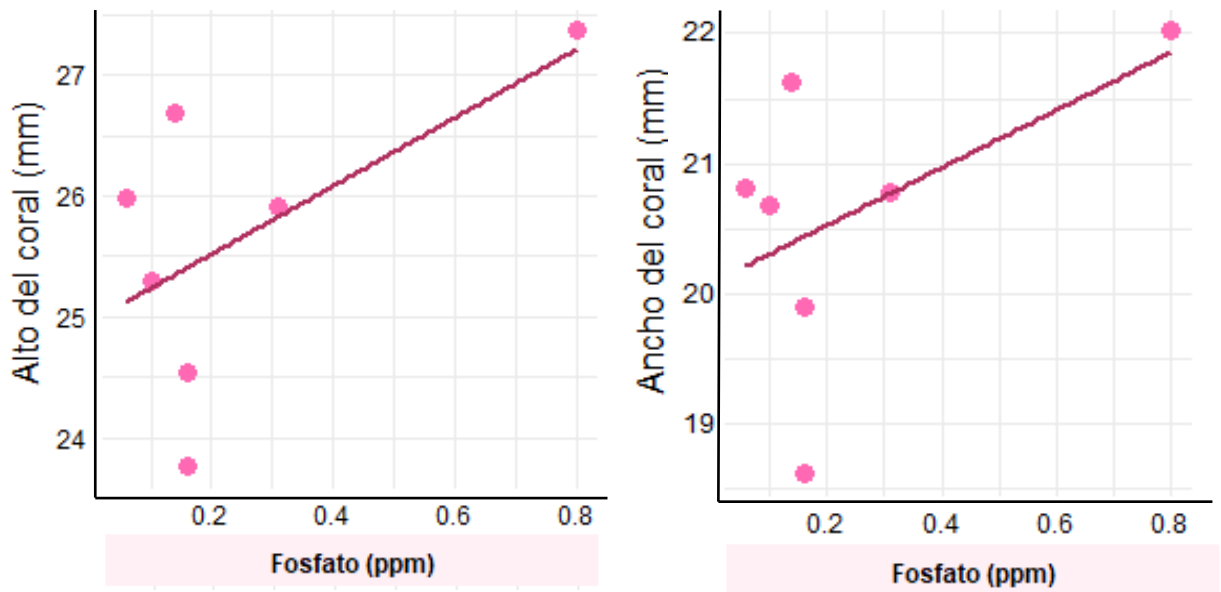
Relación del calcio con el alto y ancho del coral



Nota: Las gráficas muestran la relación del crecimiento en ancho y en alto del coral con el calcio medido en ppm, en el ambiente *In Situ*.

Figura 38

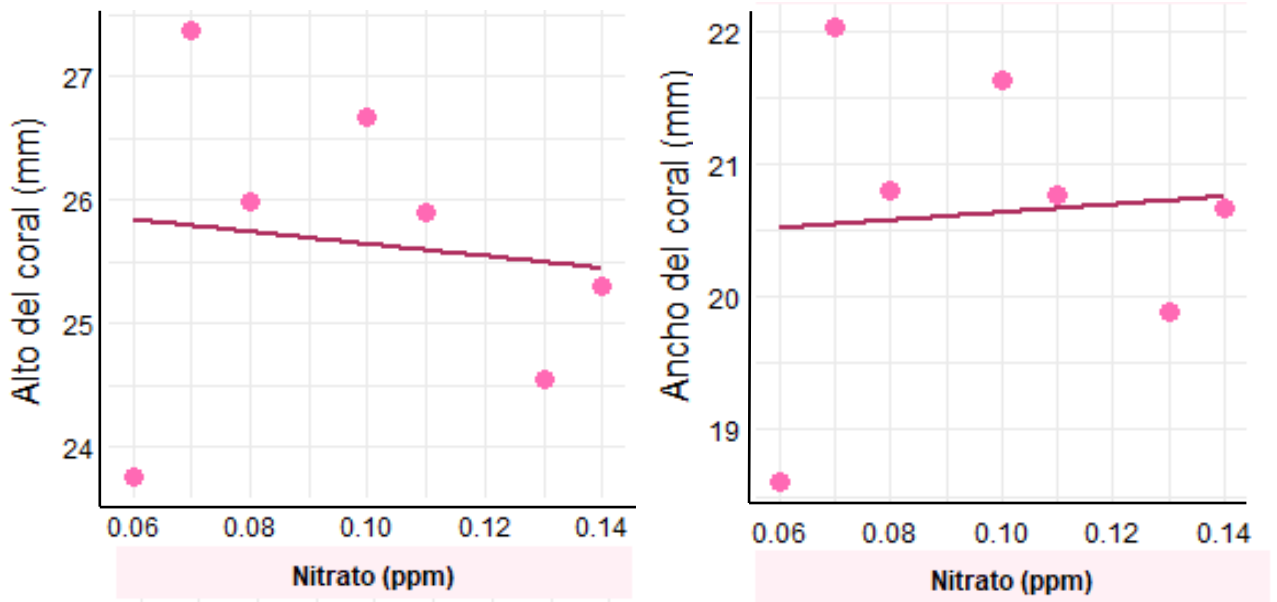
Relación del fosfato con el alto y el ancho del coral



Nota: Las gráficas muestran la relación del crecimiento en altura y en ancho del coral con fosfato expresado en ppm, en el ambiente *In Situ*.

Figura 39

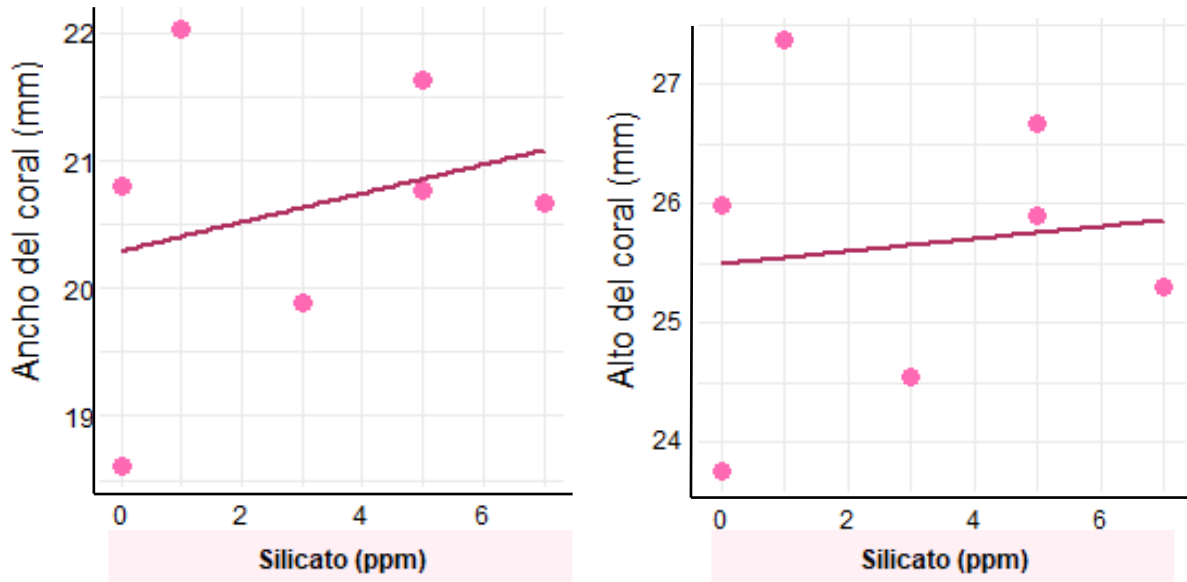
Relación del nitrato con el alto y el ancho del coral



Nota: Las gráficas muestran la relación del crecimiento en ancho y alto del coral con el nitrato (ppm), en el ambiente *In Situ*.

Figura 40

Relación del silicato con el alto y el ancho del coral



Nota: Las gráficas muestran la relación del crecimiento en alto y ancho del coral con el silicato expresado en ppm, en el ambiente *In Situ*.

8.2.1.4. Nutrientes *Ex Situ*

Las Figuras presentadas para los viveros *Ex Situ* con relación a los nutrientes y las mediciones morfométricas del alto y ancho del coral, se relacionan con diferentes nutrientes (41 a la 45).

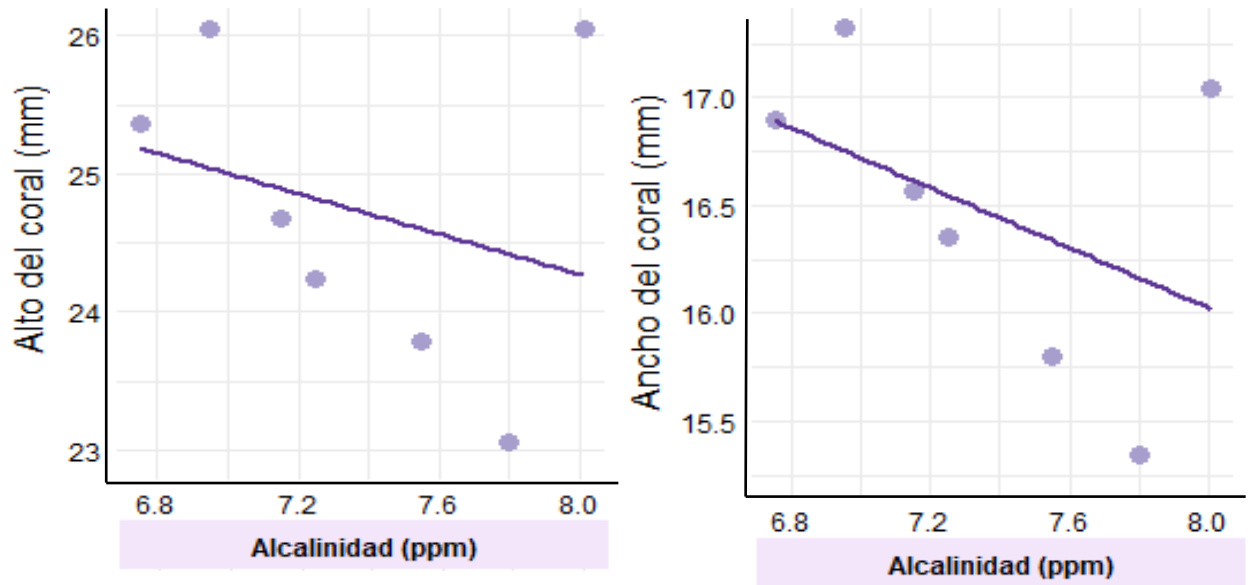
Como el fosfato (Figura 44) y el calcio (Figura 43), los cuales presentan una tendencia positiva, de modo que las concentraciones altas de estos nutrientes se asocian con un mayor crecimiento tanto en ancho como en alto.

En nutrientes como la alcalinidad (Figura 41), el nitrato (Figura 45) y el silicato (Figura 42) se observa una correlación negativa en ambas mediciones morfométricas, es decir que si no existe una diferencia significativa entre estos nutrientes y el desarrollo del coral.

Sin embargo, estas tendencias evidencian la importancia de los parámetros químicos del agua en el desarrollo coralino tanto en condiciones *In Situ* como en cultivo *Ex Situ*.

Figura 41

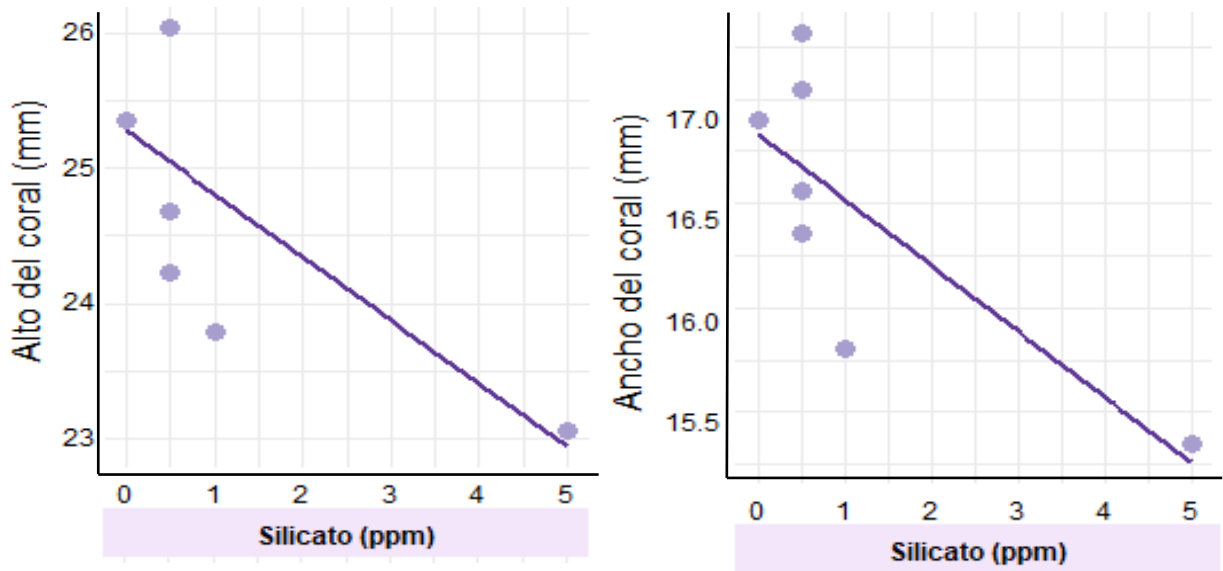
Relación de la alcalinidad con el ancho y alto del coral



Nota: Las gráficas muestran la relación del crecimiento en altura y ancho del coral con la alcalinidad en ppm, en el ambiente *Ex Situ*.

Figura 42

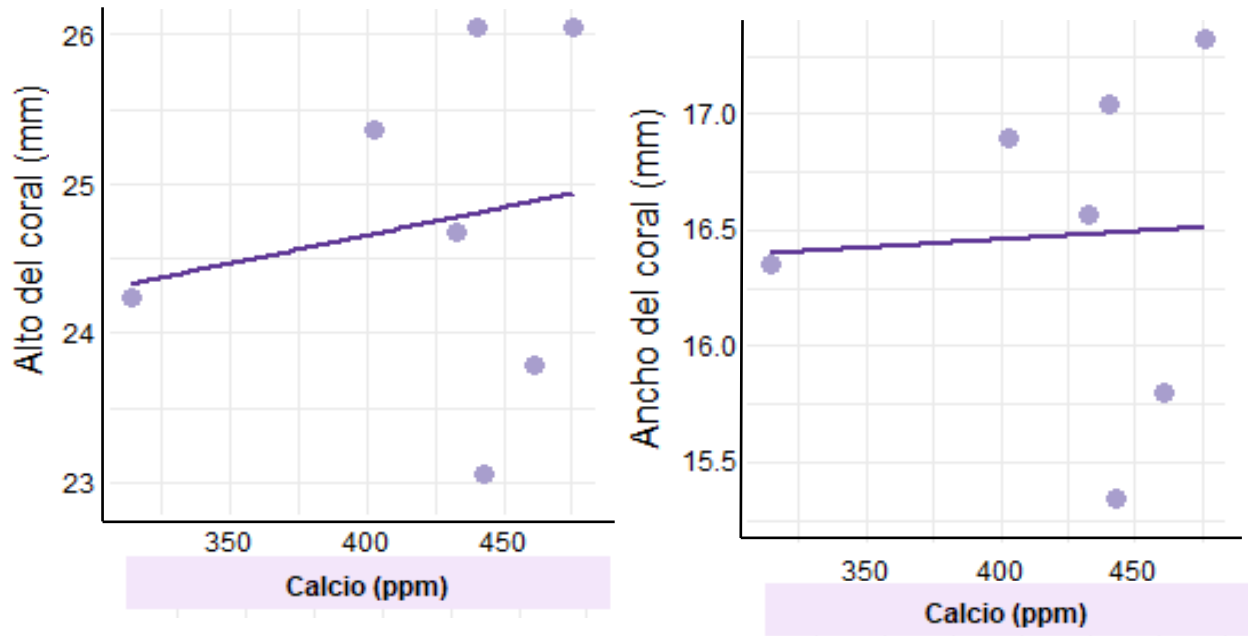
Relación del silicato con el ancho y alto del coral



Nota: Las gráficas muestran la relación del crecimiento en alto como en ancho del coral con el silicato, en el ambiente *Ex Situ*.

Figura 43

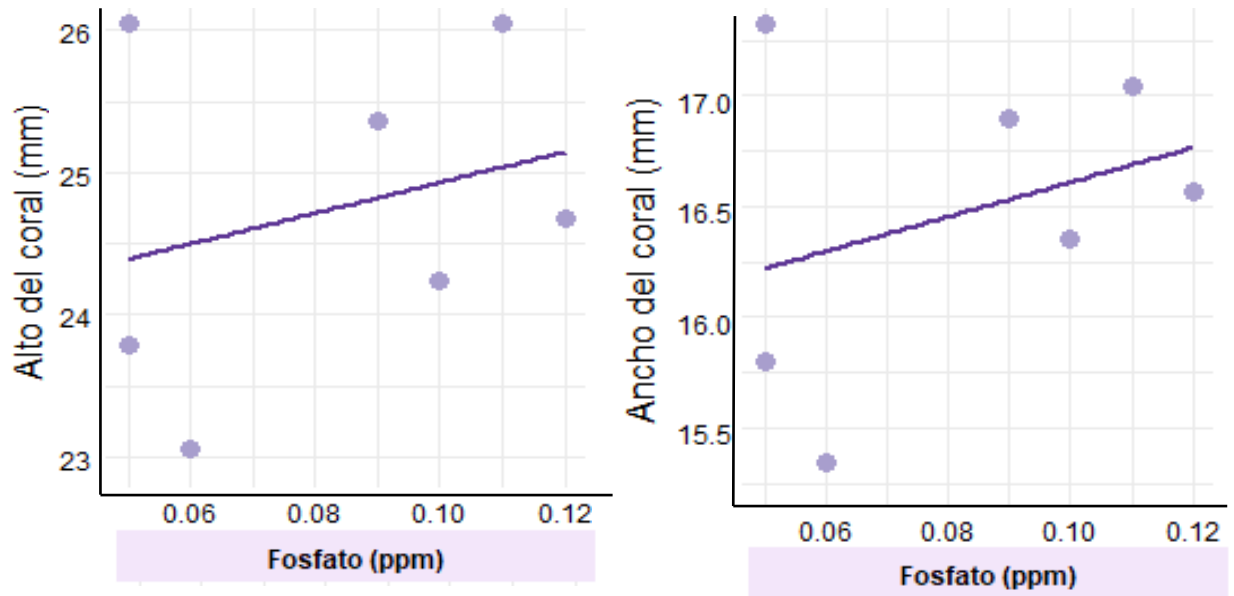
Relación del calcio con el ancho y el alto del coral



Nota: Las gráficas muestran la relación del crecimiento del ancho y el alto del coral con el calcio expresado en ppm, en el ambiente *Ex Situ*.

Figura 44

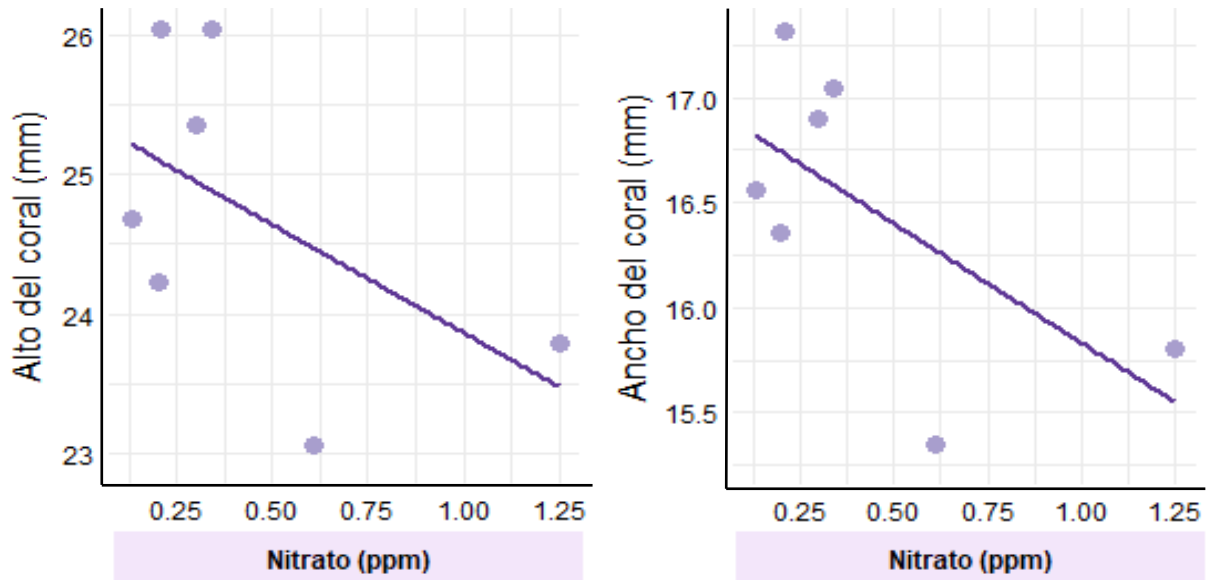
Relación del fosfato con el ancho y el alto del coral



Nota: Las gráficas muestran la relación del crecimiento en alto y ancho del coral con el fosfato expresado en ppm, en el ambiente *Ex Situ*.

Figura 45

Relación del nitrato con el alto y ancho del coral



Nota: Las gráficas muestran la relación del crecimiento del ancho y alto del coral con los nitratos (ppm), en el ambiente *Ex Situ*.

8.2.1.5. Correlación de Pearson *In Situ*

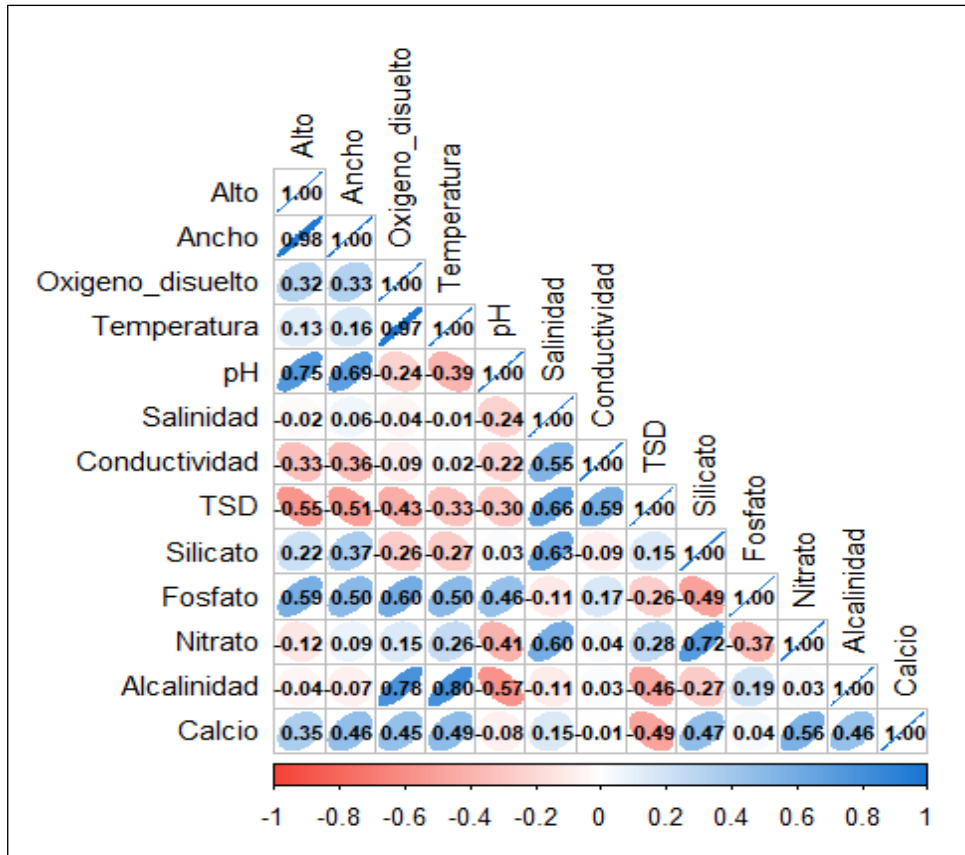
La matriz de correlación de Pearson, refleja valores entre -1 y 1, donde los positivos indican correlaciones directas. En la Figura 46 se observa una correlación fuerte y positiva entre el alto y ancho del coral, por lo que se evidencia un crecimiento homogéneo de forma simultánea en condiciones naturales.

El pH mantiene la correlación más fuerte con valores de 0.75 alto y 0.69 en ancho, seguido del oxígeno disuelto muestra una correlación moderada con 0.32 de alto y 0.33 de ancho, lo que sugiere que niveles más altos de oxigenación favorecen al desarrollo biológico del coral. En cuanto a la temperatura mantienen una correlación débil de 0.13 de alto y 0.16 de ancho, indicando la tolerancia del coral a condiciones estables.

En los nutrientes como el fosfato presentan una correlación positiva de 0.45 en alto y 0.41 en ancho, lo que afirma su papel importante en el proceso de fortalecimiento de la estructura esquelética del coral. Por otro lado, el nitrato, tiene una correlación negativa con el crecimiento, lo que puede indicar que concentraciones elevadas de este nutriente no benefician al crecimiento coralino, posiblemente favorece a otros organismos. Los demás parámetros ambientales presentan correlaciones muy débiles lo que sugiere que no tienen influencias sobre el crecimiento coralino durante el periodo de estudio.

Figura 46

Correlación de Pearson entre Parámetros Ambientales y Crecimiento In Situ



Nota: La gráfica muestran la relación del crecimiento en ancho y alto del coral con los parámetros ambientales en el ambiente *In Situ*, en rangos entre -1 y 1 de acuerdo a su correlación.

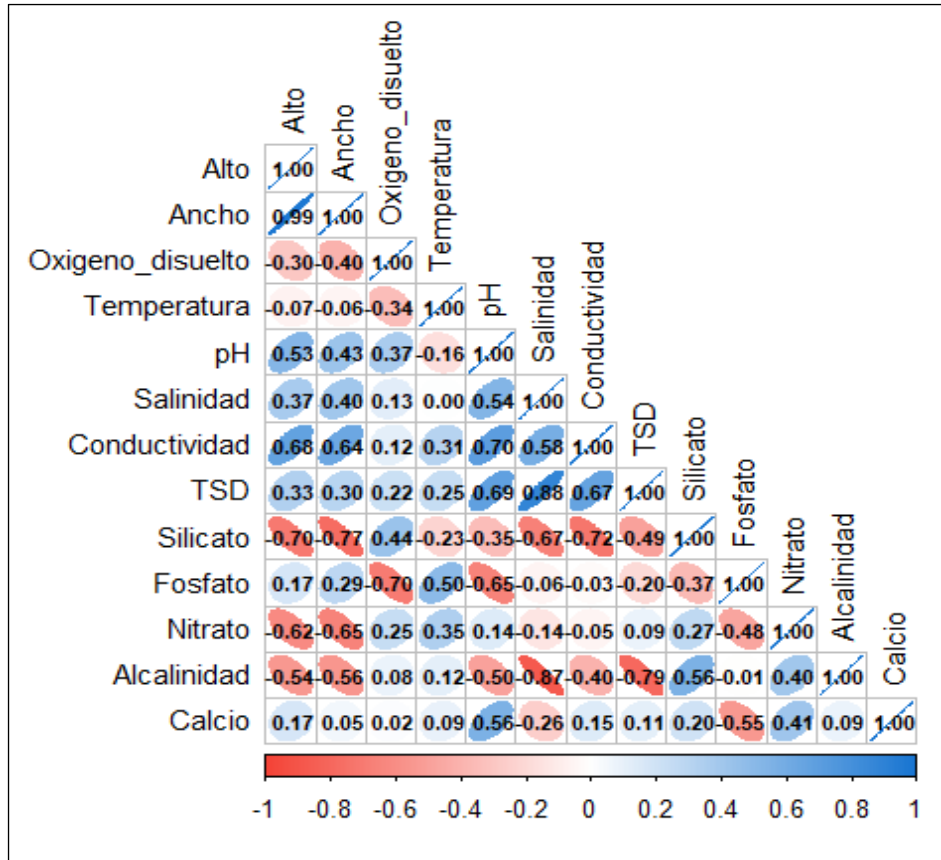
8.2.1.6. Correlación de Pearson *Ex Situ*

La matriz de correlación de Pearson, refleja valores entre -1 y 1, donde los positivos indican correlaciones directas. En la Figura 47 se puede observar una correlación fuerte entre el alto y el ancho del coral, en condiciones artificiales *Ex Situ*. El pH y la Conductividad son las correlaciones más fuertes en los parámetros fisicoquímicos, con 0.53 y 0.68 en alto y 0.43 y 0.64 en ancho, lo que sugiere que los valores obtenidos en los viveros terrestres se encuentran en un rango óptimo para el desarrollo biológico del coral.

En cuanto a los nutrientes más correlaciones se encuentra el fosfato y el calcio, aunque no presentan una correlación tan fuerte como en los viveros marinos, tienen valores de 0.17 y 0.29, lo que afirma la importancia de estos nutrientes en el proceso de fortalecimiento de la estructura esquelética del coral. Por otro lado, los demás parámetros ambientales presentan correlaciones muy bajas lo que sugiere que los datos obtenidos en los viveros *Ex Situ* no tienen influencias sobre el crecimiento coralino durante el periodo de estudio.

Figura 47

Correlación de Pearson entre Parámetros Ambientales y Crecimiento Ex Situ



Nota: La gráfica muestran la relación del crecimiento en ancho y alto del coral con los parámetros ambientales en el ambiente *Ex Situ*, en rangos entre -1 y 1 de acuerdo a su correlación.

8.1. Tasa de Crecimiento del Coral por Viveros

8.1.1. Vivero *In Situ*

La medición de los corales se realizó mediante el software Image J donde se tomaron las medidas morfométricas en relación al alto y ancho de cada fragmento de coral durante un periodo de 7 semanas. En la Figura 48 se puede observar la evolución del crecimiento coralino en sus dos dimensiones morfométricas, los resultados evidencian un patrón de crecimiento continuo, es decir que no existe disminución del desarrollo entre semanas, en ambas variables, aunque con ligeras diferencias en su tendencia.

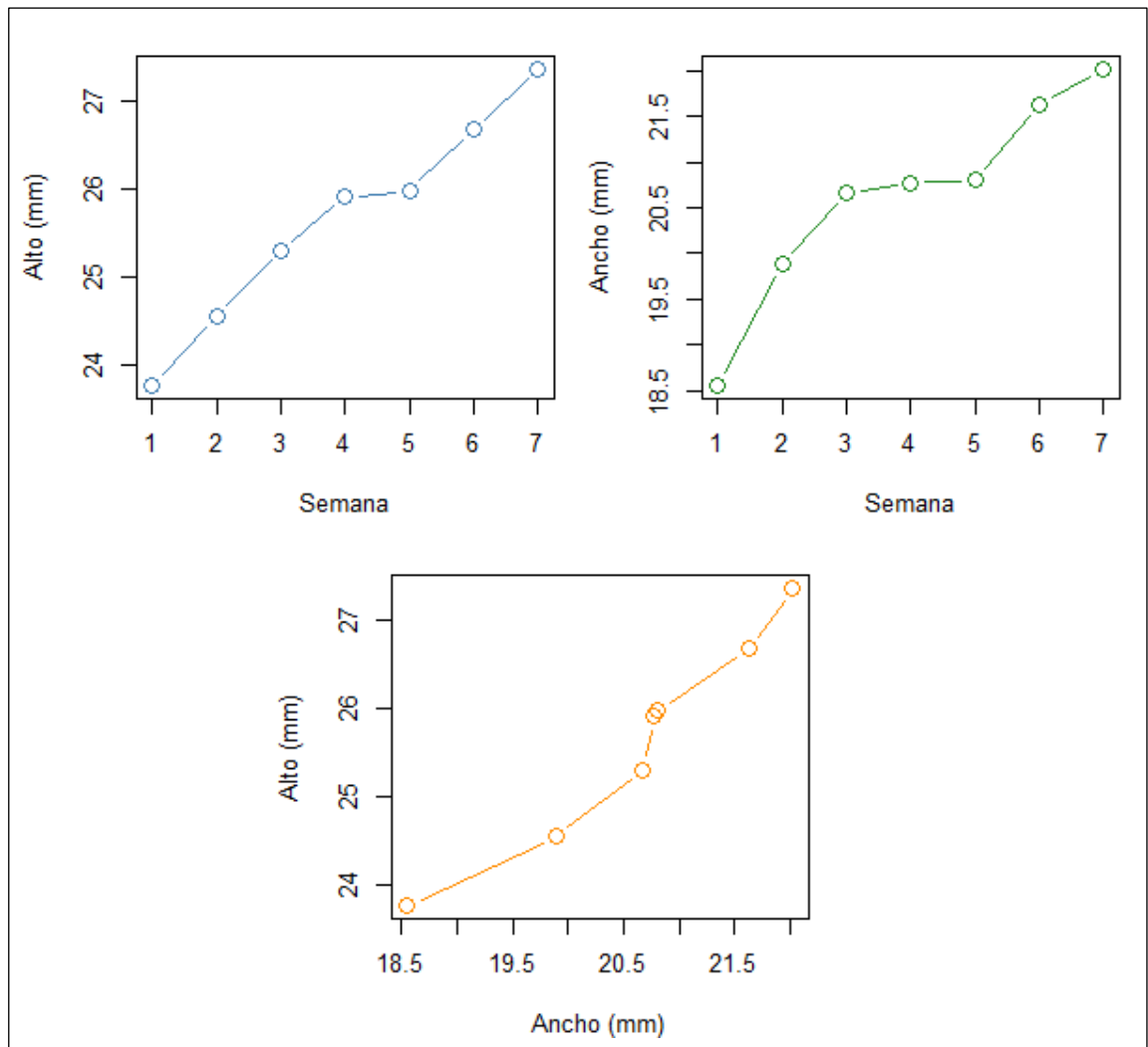
La altura del coral medida en milímetros se aprecia un incremento progresivo o estable desde 24 mm en la semana 1 hasta cerca de 27 mm en su última semana, reflejando un crecimiento vertical constante, en cuanto al ancho igualmente existe un aumento desde 18.5 mm hasta 21.5 mm, esta línea de tendencia muestra un crecimiento más marcado entre las semanas 1 y 3, después de estas semanas su crecimiento es menor, esto podría asociarse con el crecimiento lateral de las colonias coralinas.

Entre la relación de altura y ancho se muestra una correlación positiva entre ambas dimensiones, debido a que si el alto aumenta su anchura también lo hace, esto indica que el crecimiento en el vivero marino o *In Situ* ocurre de forma proporcional y equilibrada, sugiriendo también que las condiciones del medio

podieron ser adecuadas para el desarrollo coralino en ambas mediciones morfométricas.

Figura 48

Mediciones morfométricas del vivero In Situ



Nota: Las gráficas muestran la comparación entre las variables morfométrica alto y ancho del vivero marino o *In Situ*.

8.1.2. Vivero *Ex Situ*

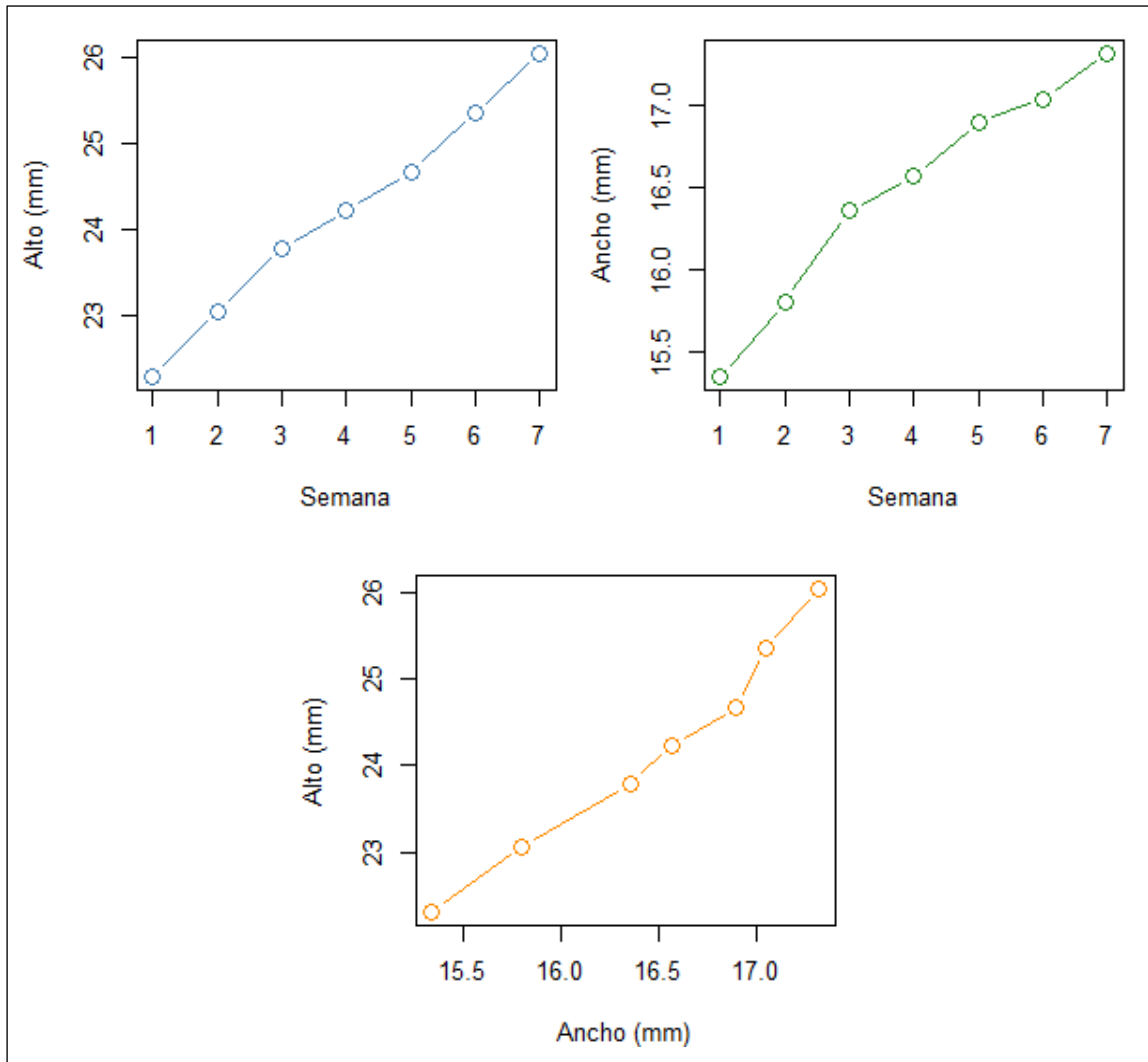
Al igual que en el vivero *In Situ* se observa la variación del alto y el ancho en el mismo periodo de 7 semanas, la Figura 49 correspondiente a la medición morfométrica alto se evidencia un incremento progresivo desde 23 mm en la semana 1 hasta 26 mm en la semana 7, es decir que la tendencia es continua. En el ancho su tendencia igual es creciente y lineal desde 15.5 mm hasta 17 mm en su última semana, aunque el incremento es menos pronunciado en comparación con el patrón de alto mantiene una relación directa.

La relación entre el alto y ancho tienen una correlación positiva en ambas variables, a medida que el alto aumenta también el ancho, reflejando un crecimiento en ambas dimensiones, lo que sugiere que el organismo mantiene una morfología constante durante su desarrollo y homogéneo a lo largo del periodo experimental.

En conjunto los resultados del vivero *Ex Situ* muestran un patrón de crecimiento progresivo y proporcional en ambas dimensiones, indicando que las condiciones de cultivo fueron adecuadas para el desarrollo del coral.

Figura 49

Mediciones morfométricas del vivero Ex Situ



Nota: Las gráficas muestran la comparación entre las variables alto y ancho del vivero terrestre o *Ex Situ*.

8.1.3. Relación ente viveros

8.1.3.1. Comparación del área por viveros

En la Figura 50 se muestra la distribución del área diferencial del coral en mm^2 en los diferentes ambientes *In Situ* y *Ex Situ*, cada punto en el gráfico representa un individuo, de modo que la dispersión de los datos refleja el crecimiento por fragmento.

En el ambiente *Ex Situ* se observa que la mayoría de los fragmentos presentan valores principalmente entre el rango de 0 a 50 mm^2 , con pocos individuos que alcanzan un crecimiento cerca de los 100 mm^2 .

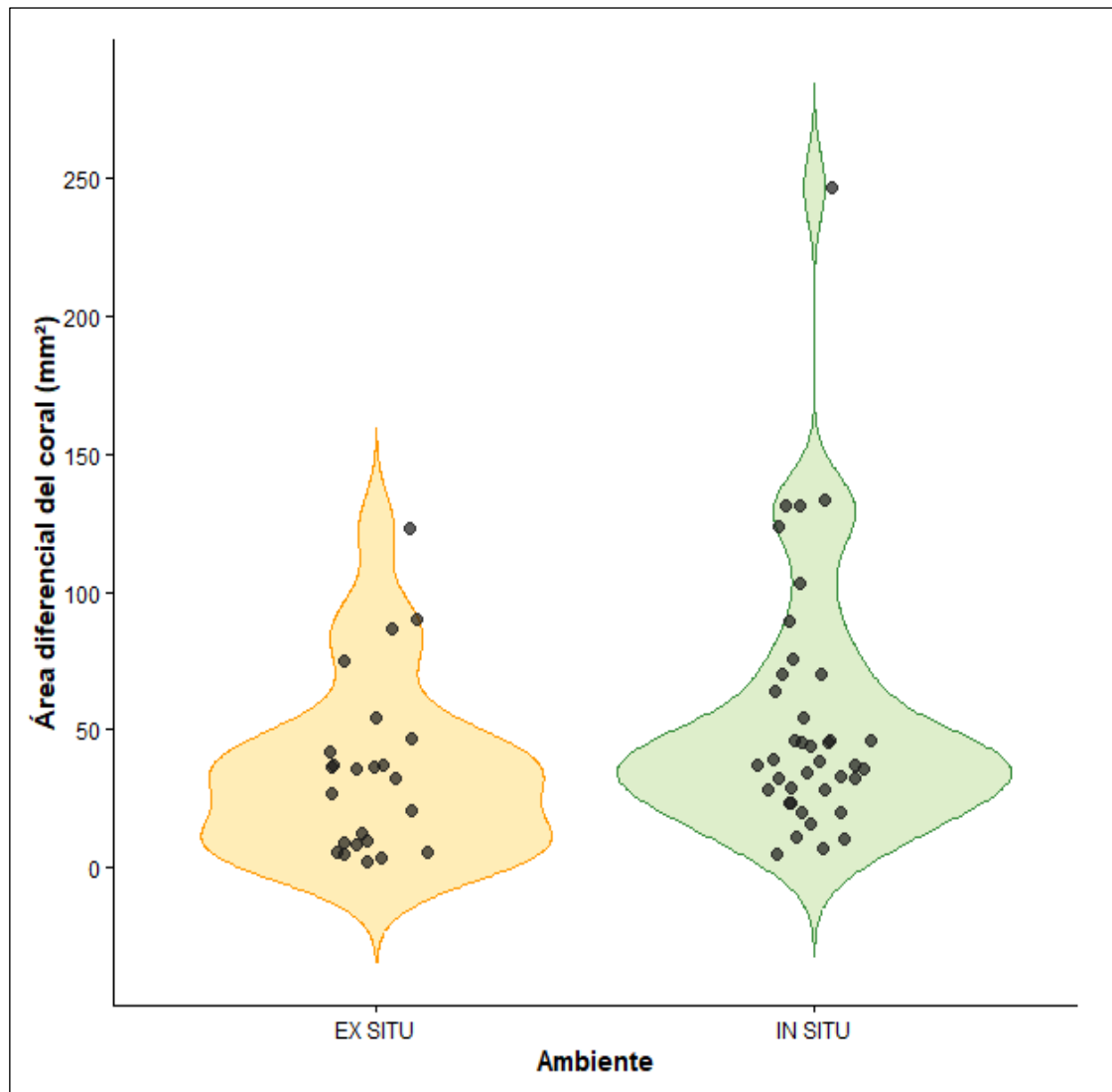
Por otro lado, en el ambiente *In Situ* se aprecia una distribución más dispersa de los datos, los corales alcanzaron un área superior de 200 mm^2 , la forma de la gráfica de violín indica una mayor variabilidad en el crecimiento, algunos individuos se mantienen entre los rangos de 0 a 50 mm^2 , lo que sugiere que aunque la mayoría de individuos tuvieron valores similares de desarrollo, otros incrementaron notoriamente, esta heterogeneidad de los datos puede atribuirse a las condiciones ambientales.

En cuanto a la comparativa se evidencia que los corales cultivados de manera *In Situ* tuvieron una tendencia de crecimiento más elevado y variable en

comparación con los cultivados de manera *Ex Situ*, sugiriendo que en las condiciones del ambiente natural crecieron de forma irregular.

Figura 50

Área Diferencial del Coral entre Viveros



Nota: Las gráficas muestran la variabilidad del crecimiento del coral en el área diferencial representada en mm² de acuerdo las condiciones *In Situ* y *Ex Situ*.

8.1.3.2. Crecimiento diferencial por viveros

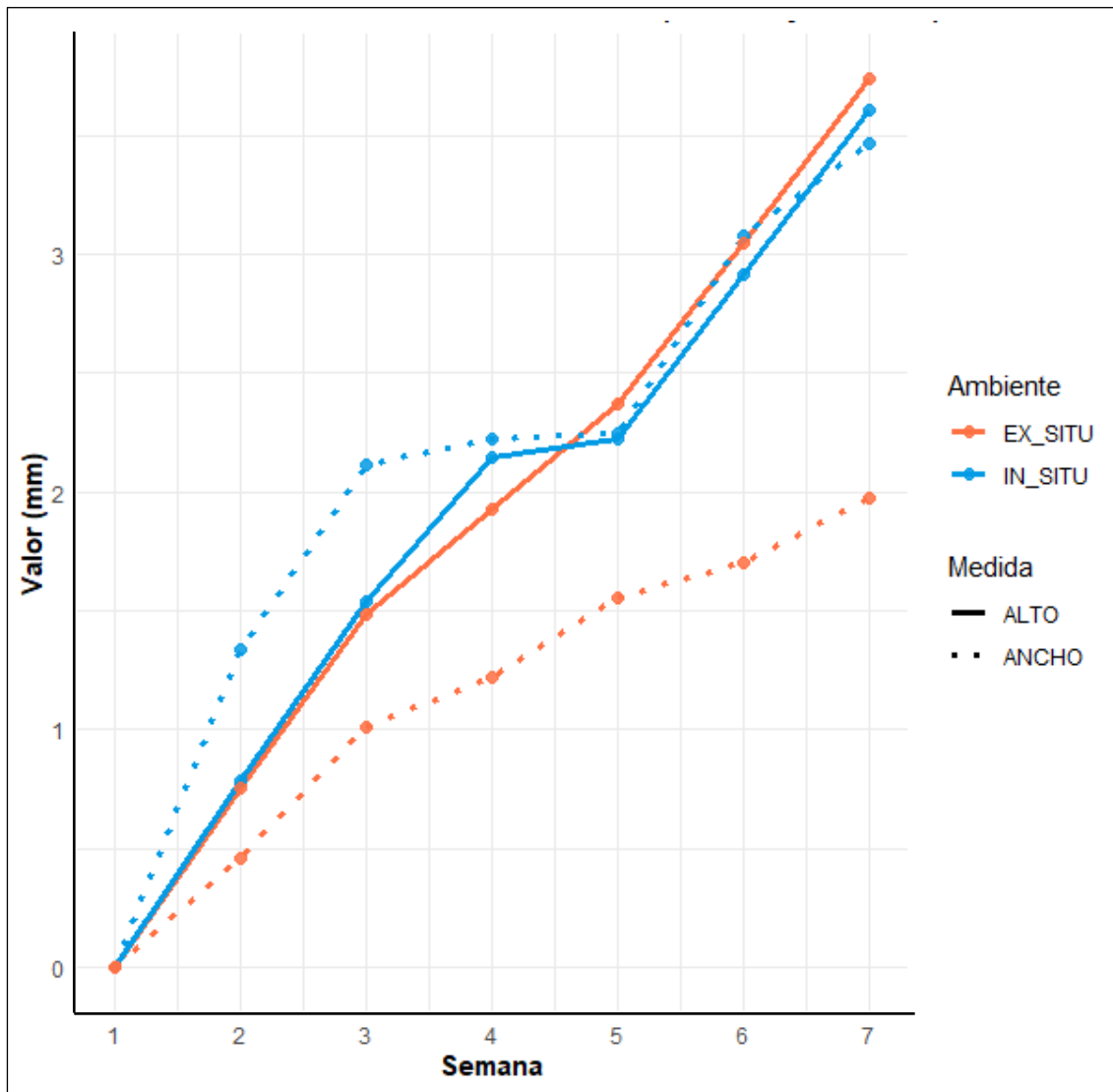
De acuerdo a lo que se muestra en la Figura 51 muestra la evolución temporal del crecimiento del coral en mm por semanas comparando los ambientes *In Situ* y *Ex Situ*, se representaron las dos medidas morfométricas (alto – ancho).

En general ambos ambientes presentan una tendencia ascendente constante en el crecimiento a lo largo de las siete semanas muestréales, lo que indica un desarrollo continuo de los fragmentos de coral. Sin embargo, no se observan las diferencias en las primeras semanas, en el ambiente *In Situ* mostró un incremento acelerado tanto en el alto como en el ancho, reflejando una rápida respuesta al entorno natural, en cambio en los corales *Ex Situ* entre la semana 4 y 5 evidencian un crecimiento más lento, pero a partir de la semana 6 la pendiente de crecimiento se intensifica, mostrando adaptación. En las semanas 6 y 7 ambos ambientes alcanzan valores similares en altura, siendo *Ex Situ* más pronunciado alrededor de 3.7 mm de alto, pero en el ancho del coral se observan diferencias más notorias, manteniéndose un mayor desarrollo en el vivero marino.

Estos resultados demuestran que los fragmentos coralinos lograron crecer en ambos ambientes, en el vivero marino se observó un crecimiento inicial y una expansión lateral (ancho) más rápida, mientras que en el vivero terrestre mostro un patrón de crecimiento continuo a un ritmo moderado, pero más altura.

Figura 51

Crecimiento Diferencial del Coral por Viveros



Nota: Las gráficas muestran la comparación del crecimiento diferencial durante un periodo de 7 semanas, en ambos ambientes o viveros (*In Situ* y *Ex Situ*).

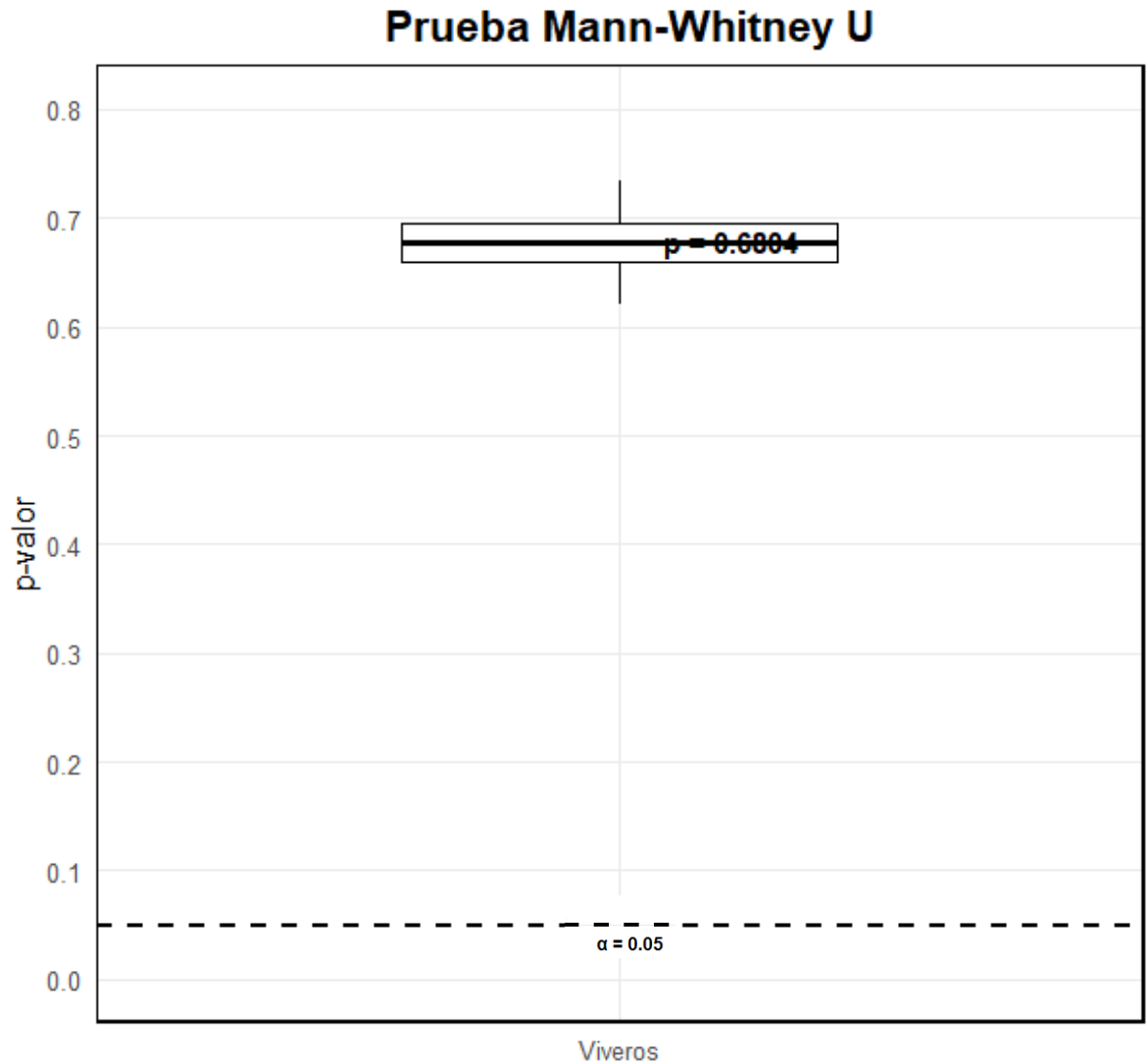
8.1.4. Análisis estadístico – Crecimiento por Viveros

Para el análisis estadístico de crecimiento se utilizó la prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para cada ambiente, obteniendo datos en el vivero marino o *In Situ* de un p-valor de: 6.117e-06 y un estadístico W de: 0.76016, los datos del vivero terrestre o *Ex Situ* arrojó datos de un p-valor de: 0.02345 y W de: 0.92906. Dado que el p-valor es inferior al valor de significancia del 5% no se rechaza la hipótesis nula, indicando que los datos no siguen una distribución normal, para esto se aplica la prueba no paramétrica de Mann-Whitney U (Figura 52).

Esta prueba compara dos muestras independientes, en este caso ambos ambientes arrojando un p-valor de 0.6804, este resultado es mayor al nivel de significancia de 0.05, lo que indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa en el desarrollo coralino en ambos ambientes.

Figura 52

Análisis Estadístico por Vivero



Nota: La figura muestra el p-valor del análisis estadístico de la prueba Mann Whitney U en los diferentes viveros utilizados, *Ex Situ* y *In Situ*.

9. DISCUSIONES

La restauración de los arrecifes de coral mediante viveros se ha convertido en una herramienta clave para mitigar la degradación de los ecosistemas coralinos, de acuerdo a estudios como el de Boström, et al., (2020) concluye que los fragmentos criados en viveros tanto *In Situ* como *Ex Situ*, tienden a tener mejores tasas de crecimiento y supervivencia que al ser trasplantados directamente.

Se ha demostrado que los viveros *In Situ* cuando están diseñados correctamente, ofrecen condiciones favorables para el crecimiento y supervivencia de los fragmentos, por ejemplo, en los estudios de viveros en Costa Rica de Fabregar, Mena, Quesada, & Alvarado, (2024) se registró tasas de crecimiento aproximadamente de 7.52 cm por año, para estructuras suspendidas de 4.16 cm por año. Este hallazgo coincide con mis resultados donde los fragmentos en el ambiente marino (*In Situ*) mostraron un crecimiento más pronunciado horizontalmente (ancho) que, en el ambiente terrestre o *Ex Situ*, sugiriendo la exposición directa al agua, la luz y los intercambios iónicos.

De acuerdo al cultivo en el ambiente terrestre, un estudio en Singapur (Soon, Zhen, & Ming, 2012) sobre fragmentos de *Porites lutea* y *Psammocora digitata* en instalaciones de acuicultura *Ex Situ* con flujo continuo, se halló un crecimiento significativo, lo que demuestra que en ambientes controlados también se puede desarrollar positivamente el coral, en otros trabajos como (Crosset, 2013) en 6 especies de coral mostraron un crecimiento medio del 76% durante un periodo de

estudio de 13 meses. Estos estudios muestran la eficacia del cultivo de coral de manera *Ex Situ*, al igual que en mis resultados que muestran un mayor crecimiento en altura en este ambiente, aunque también dependen fuertemente de la especie de coral, el tipo de fragmento y las condiciones.

Rinkevich, (2005) describió que un sustrato poroso, puede reducir la mortalidad al momento del trasplante y mejora la eficacia en la fase de vivero, aunque este trabajo no habla directamente del sustrato de barro, puede respaldarse al ser poroso y rugoso, favoreciendo a la fijación rápida y al crecimiento del coral, al igual que un estudio en Filipinas por Shaish, Levy, Gomez, & Rinkevich, (2008) en donde menciona que los sustratos porosos y rugosos tienen una ventaja en el anclaje, disminuyendo el desprendimiento por corrientes y son un factor clave para los primeros estadios del coral.

Los parámetros fisicoquímicos en mis resultados muestran correlaciones positivas entre el crecimiento y los nutrientes como el calcio, el fosfato, el oxígeno disuelto y una correlación débil con nitratos, al igual que varios estudios como el de Allemand, Tambutté, Zoccola, & Tambutté, (2010) que resalta la importancia del calcio, la alcalinidad y el pH en la fisiología de los corales, en el estudio sobre la distribución potencial de corales en la provincia de Santa Elena por (Tapia, 2024) se evidencia que sus modelos mostraron que la presencia de corales están fuertemente influenciadas por la disponibilidad iónica del agua, especialmente del calcio, alcalinidad, oxígeno disuelto y la concentraciones balanceadas de nutrientes.

Como dato extra Ishida, Pizarro, López, & Zapata en 2019 mencionan que el tamaño óptimo para el trasplante de fragmentos criados en vivero es de entre 2 y 4 cm, presentan una mayor tasa de crecimiento, aunque no se recomienda su restauración en ese tamaño. Sin embargo, muchas investigaciones como la de Knapp, et al. (2022) señalan que el éxito a corto plazo en crecimiento no garantiza la supervivencia o éxito en condiciones de arrecife, esto sugiere que aunque los fragmentos hayan crecido mejor en ciertas condiciones, se requiere de un constante monitoreo y supervivencia, de hecho, varios autores creen que las técnicas de viveros deben estar acompañadas con protocolos de seguimiento a largo plazo para evaluar la resistencia de los fragmentos al blanqueamiento, o eventos del cambio climático.

En este sentido, aunque esta investigación constituye a la fase inicial, los resultados evidencian el potencial que tienen los viveros en el cultivo de fragmentos coralinos, también permite proyectar un desarrollo a futuro de arrecifes artificiales en Ecuador, especialmente en Santa Elena. Estudios previos como el de Fabi, Bortone, Brandini, & Otake en 2011, han demostrado que estas estructuras incrementan la biodiversidad, facilitan la recolonización de peces e invertebrados, contribuyendo a la recuperación de las zonas degradadas. Pickering, Whitmarsh, & Jensen, (1999), menciona que estas nuevas áreas pueden funcionar como espacios alternativos para actividades pesqueras y recreativas, reduciendo los impactos directos en los ecosistemas naturales, lo cual refuerza la relevancia de continuar expandiendo este tipo de iniciativas con un enfoque hacia la restauración y el manejo sostenible a largo plazo.

10. CONCLUSIONES

Entre los sustratos evaluados (cemento y barro), se determinó que las superficies rugosas y porosas del barro, permitieron una mejor fijación y estabilidad en los fragmentos, promoviendo así mayor crecimiento en todas sus mediciones morfométricas, esto indica que las características del sustrato si influyen directamente con el desarrollo inicial de *Pocillopora damicornis*, pero, de acuerdo a la estadística podemos decir que al tener un resultado mayor al nivel de significancia, no existe diferencia significativa entre estos grupos.

Las pruebas de correlación entre los factores ambientales y el crecimiento coralino, determinó que el calcio, el fosfato y el pH, mostraron una relación positiva indicando que estos parámetros favorecen al desarrollo inicial de coral y a los procesos de calcificación, por otro lado, el nitrato mostro una relación inversa sugiriendo que las concentraciones elevadas pueden alterar el equilibrio biológico y reducir la tasa de crecimiento. En general la estabilidad de los parámetros ambientales es determinante para el crecimiento del coral.

Los fragmentos de coral mostraron una tasa de crecimiento en ambos viveros (*In Situ* y *Ex Situ*) sin embargo, el crecimiento según la tabulación de datos en el ambiente marino (*In Situ*) fue más pronunciado de manera horizontal o ancho, lo que evidencia que las condiciones naturales favorecen a un desarrollo estructural

del coral, en el ambiente terrestre (*Ex Situ*) en cambio se observó un mayor crecimiento en altura, pero sus datos fueron más homogéneos que en el ambiente *In Situ*, pero de acuerdo a la estadística realizada estos datos de crecimiento por viveros no tienen un alto nivel de significancia.

11. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar las investigaciones a largo plazo de crecimiento coralino para observar una variación más significativa de acuerdo a la estadística, esto permitirá identificar patrones en la respuesta del coral a las variables ambientales.

Se sugiere incluir diferentes especies de coral en los viveros para fortalecer la validez estadística de los resultados y evaluar si las tendencias son generales o específicas para cada morfotipo o género.

Sería importante examinar diferentes tipos de nutrientes para determinar la tasa de calcificación y poder comprender las relaciones entre la formación del esqueleto calcáreo y los parámetros ambientales.

Se recomienda realizar diferentes tipos de sustrato con porosidad y rugosidad, además de su composición, para observar el comportamiento del desarrollo del coral y detallar la influencia del material en el crecimiento, además de seleccionar sustratos eficientes para viveros.

12. BIBLIOGRAFÍA:

- AgriFutures Grow. (2024). *¿Qué son los arrecifes artificiales?* Obtenido de AgriFutures Grow: <https://www.growag.com/highlights/article/what-are-artificial-reefs#:~:text=los%20arrecifes%20artificiales?-,Los%20arrecifes%20artificiales%20son%20estructuras%20submarinas%20artificiales%20creadas%20para%20imitar,ecol%C3%B3gico%20en%20los%20ecosistemas%2>
- Aida. (2024). *DPM Diving Center*. Obtenido de Triángulo de Coral: Un paraíso de biodiversidad y buceo: <https://dpmdiving.com/es/triangulo-de-coral-paraiso-de-vida-marina/>
- Albarracín, L. (2022). *Siembra de corales en Islas Galápagos: ¿cómo restaurarán el ecosistema marino?* Obtenido de El Tiempo: <https://galapagos.gob.ec/en-galapagos-se-desarrolla-proyecto-de-siembra-de-corales-para-restaurar-ecosistemas/>
- Allemand, D., Tambutté, É., Zoccola, D., & Tambutté, S. (November de 2010). *Calcification, Cells to Reefs*. In: Dubinsky, Z., Stambler, N. (eds) *Coral Reefs: An Ecosystem in Transition*. . Obtenido de Springer, Dordrecht.: https://doi.org/10.1007/978-94-007-0114-4_9
- Aquaportail. (2025). *Pocillopora damicornis*. Obtenido de <https://www.aquaportail.com/especies/ficha/coral/2417/pocillopora-damicornis>

Avalos, E. (2011). *Los efectos del Cambio Climático en los Arrecifes de Coral y otras Amenazas Constantes*. Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México : https://tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx/ptd2012/abril/0679080/0679080_A1.pdf

Barreiro, S., & García, R. (2022). *Evaluación de la interacción entre Zoantidos y poríferos en base a su nivel de cobertura espacial en Anconcito y San Lorenzo provincia de Santa Elena*. Obtenido de Universidad Estatal Península de Santa Elena: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/8833/1/UPSE-TBI-2022-0031.pdf>

Bateman, W., Birbeck, T., Hickling, S., Short, H., & Wilding, T. (2023). *Royal Academy of Engineering*. Obtenido de How artificial reefs boost biodiversity: <https://www.ingenia.org.uk/articles/how-artificial-reefs-boost-biodiversity/>

Baums, I., Baker, A., Davies, S., Grottoli, A., Kenkel, C., Kitchen, S., . . . Shantz, A. (2019). *Considerations for maximizing the adaptive potential of restored coral populations in the western Atlantic*. Obtenido de <https://reefresilience.org/wp-content/uploads/Baums-et-al.-2019-Considerations-for-maximizing-the-adaptive-potential.pdf>

Boström, L., Babcock, R., Bayraktarov, E., Ceccarelli, D., Cook, N., Ferse, S., . . . McLeod, I. (January de 2020). *Coral restoration – A systematic review of*

current methods, successes, failures and future directions. Obtenido de <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226631>

Brodie, K., & Cohn, N. (2021). *Geología costera*. Obtenido de Science Direct: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780124095489124832>

Burgos, K. (2023). *Análisis comparativo de las condiciones del ambiente físico del arrecife coralino en base a teledetección activa en la reserva marina El Pelado, isla Lizard e isla Cozumel, periodo de 2012 – 2021*. Obtenido de Universidad Estatal Península de Santa Elena: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/9632>

CAF. (2025). *Banco de Desarrollo de América Latina y El Caribe*. Obtenido de Sistema de Barreras de Arrecife Mesoamericano (SAM): <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/sistema-de-barreras-de-arrecife-mesoamericano-sam/>

Combillet, L., Fabregat, S., Mena, S., Marín, J., Gutierrez, M., & Alvarado, J. (2022). *Pocillopora spp. growth analysis on restoration structures in an Eastern Tropical Pacific upwelling area*. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35765595/>

CONABIO. (2022). *Arrecifes*. Obtenido de Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad: <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/arrecifes>

CONMAR. (2021). *Corallium*. Obtenido de Conservación Marina Ecuador:
<https://conmarecuador.org/corallium/>

COP29. (2024). *Más del 40% de las especies de coral se enfrentan a la extinción – Lista Roja de la UICN*. Obtenido de UICN: <https://iucn.org/press-release/202411/over-40-coral-species-face-extinction-iucn-red-list>

Crosset, D. (2013). *Coral Propagation: A Growth and Survival Comparison among Six Scleractinian Boulder Corals Employing In Situ and Ex Situ Nursery Techniques*. Obtenido de https://nsuworks.nova.edu/occ_stuetd/180/?utm_source=chatgpt.com

Deutsche Krankenversicherung AG. (2024). *DKV Medioambiente*. Obtenido de Arrecifes de coral: tipos, amenazas e importancia de protegerlos: <https://dkv.es/corporativo/blog-360/medioambiente/arrecifes-de-coral-tipos-amenazas-e-importancia-de-protegerlos>

DOMCA. (2023). *DOMCA INNOVATIVE FOOD SOLUTIONS*. Obtenido de ¿Qué es la acuicultura?: <https://www.domca.com/que-es-la-acuicultura/>

EPA. (2025). *Environmental Protection Agency*. Obtenido de Información básica sobre los arrecifes de coral: <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-los-arrecifes-de-coral>

Fabi, G., Bortone, S., Brandini, F., & Otake, S. (December de 2011). *Artificial Reefs in Fisheries Management*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/313876631_Artificial_Reefs_in_Fisheries_Management

- Fabregar, S., Mena, S., Quesada, F., & Alvarado, J. (2024). *Testing the feasibility of coral nurseries in an upwelling area in the North Pacific of Costa Rica*. Obtenido de https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2024.1400026/full?utm_source=chatgpt.com
- GAD Santa Elena. (s.f.). *Anconcito*. Obtenido de Turismo Santa Elena: <https://www.turismosantaelena.com/anconcito/quevisitaranconcito.php>
- Galas, A. (2024). *FishiPedia*. Obtenido de Coral coliflor: <https://www.fshipedia.es/cnidario/pocillopora-damicornis>
- García, R. (2004). *Dinámica de crecimiento de tres especies de coral en relación a las propiedades ópticas del agua*. Obtenido de Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayaguez: <https://scholar.uprm.edu/server/api/core/bitstreams/67aa0dfb-de81-4fe7-bdbe-0aae71e7db5b/content>
- Garzón, J., Reyes, M., & Rodríguez, A. (2002). *Manual de Métodos del SIMAC*. Obtenido de Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andreis: https://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/msimac/simac_metodos1.pdf
- Glynn, P. W. (1989). *Coral Mortality and Disturbances to Coral Reefs in the Tropical*. Obtenido de Science Direct: [131](https://pdf.sciencedirectassets.com/276006/1-s2.0-</p></div><div data-bbox=)

- Grupo Arya. (2024). *Linkedin*. Obtenido de Reconstruyendo los arrecifes de coral: Cómo la acuicultura ofrece nuevas esperanzas a los ecosistemas marinos: <https://www.linkedin.com/pulse/rebuilding-coral-reefs-how-aquaculture-offering-new-hope-fxbxf/>
- Guldberg, O. H. (2010). *Coral reef ecosystems and anthropogenic climate change*. Obtenido de Springer Nature Link: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10113-010-0189-2>
- Ishida, J., Pizarro, V., López, M., & Zapata, F. (September de 2019). *Coral reef restoration in the Eastern Tropical Pacific: Feasibility of the coral nursery approach: Coral reef restoration: nursery approach*. Obtenido de DOI: 10.1111/rec.13047
- Knapp, I., Forsman, Z., Greene, A., Johnston, E., Bardin, C., Chan, N., . . . Toonen, R. (2022). *Coral micro-fragmentation assays for optimizing active reef restoration efforts*. Obtenido de https://peerj.com/articles/13653.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Lahoz, E. (2024). *Arrecifes de coral: tipos, amenazas e importancia de protegerlos*. Obtenido de DKV: <https://dkv.es/corporativo/blog-360/medioambiente/arrecifes-de-coral-tipos-amenazas-e-importancia-de-protegerlos>
- Lujan, M. (2024). *AQUAHOY*. Obtenido de Corales marinos: Crianza, reproducción y alimentación.: <https://aquahoy.com/corales-marinos-crianza-reproduccion-alimentacion/#alimentaci%C3%B3n-de-los-corales-marinos>

Madera, S. (2024). *Unos 4.600 corales trasplantados en Galápagos para restaurar arrecifes que devastó El Niño*. Obtenido de EFE: <https://efe.com/medio-ambiente/2024-05-01/unos-4-600-corales-trasplantados-en-galapagos-para-restaurar-arrecifes-que-devasto-el-nino/>

MarineBio. (s.f.). *Conservación de MarineBio*. Obtenido de Arrecifes artificiales: <https://www.marinebio.org/conservation/artificial-reefs/>

Martínez, F., & Rivera, P. (2014). *Guía de Corales y Octocorales de la Costa Continental de Ecuador*. Obtenido de Conservación Internacional (NAZCA): <https://institutonazca.org/es/tag/corales-de-ecuador/>

Merck, D., Petrik, C., Manfroy, A., & Muller, E. (March de 2022). *Optimizing seawater temperature conditions to increase the productivity of ex situ coral nurseries*. Obtenido de doi: 10.7717/peerj.13017

Nairobi. (2021). Obtenido de ONU : <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/el-mundo-perdio-14-de-sus-corales-desde-2009-por-aumento>

Nebicela, C., & Palma, L. (2024). *Determinación de las condiciones hidroquímicas en los arrecifes rocosos (Anconcito y San Lorenzo) provincia de Santa Elena*. Obtenido de Universidad de Guayaquil: <https://institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/Hidroquimica-Arrecifes-Sta-Elena-2022.pdf>

- New Heaven Reef Conservation Program*. (2016). Obtenido de Introduction to Coral Restoration: <https://newheavenreefconservation.org/learning-resources/explore-topics/reef-restoration-methods>
- Pickering, H., Whitmarsh, D., & Jensen, A. (December de 1999). *Artificial Reefs as a Tool to Aid Rehabilitation of Coastal Ecosystems: Investigating the Potential*. Obtenido de [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)00121-0](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)00121-0)
- Reina, J. (2015). *Diversidad y abundancia de corales en la zona submareal de la punta de Anconcito de la reserva de producción faunística marino costera Puntilla de Santa Elena REMACOPSE, durante el periodo diciembre 2014 – abril 2015*. Obtenido de Universidad Estatal Península de Santa Elena: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/2052R>
- Rinkevich, B. (2005). Conservation of Coral Reefs through Active Restoration Measures: Recent Approaches and Last Decade Progress. En *ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY* (págs. 4333-4342). Israel: DOI: 10.1021/es0482583.
- Robles, A., Reyes, H., & Cáceres, C. (2020). *Crecimiento y supervivencia de corales durante la fase inicial de cultivo en La Paz, Baja California Sur, México*. Obtenido de Revista mexicana de biodiversidad: <https://www.redalyc.org/journal/425/42571635077/html/>
- Romero, M., & Alberto, A. (2010). *Corales duros del Pacífico colombiano: guía visual de identificación*. Obtenido de ResearchGate:

https://www.researchgate.net/publication/276205590_Corales_duros_del_Pacifico_colombiano_guia_visual_de_identificacion

Shaish, L., Levy, G., Gomez, E., & Rinkevich, B. (April de 2008). *Fixed and suspended coral nurseries in the Philippines: Establishing the first step in the “gardening concept” of reef restoration*. Obtenido de DOI:10.1016/j.jembe.2008.01.024

Shively, B. (2024). *Top Shelf Aquatics*. Obtenido de Cultivando el futuro: El papel crucial de la acuicultura de coral en la conservación marina: <https://topshelfaqautics.com/blogs/news/cultivating-the-future-the-crucial-role-of-coral-aquaculture-in-marine-conservation?srsIid=AfmBOory5v0vabknwlATPcQj5wRF-olN47Oy9mH8sByVSIMEQJ54LAYr>

Soon, C., Zhen, S., & Ming, L. (2012). *DOES AN EX SITU CORAL NURSERY FACILITATE REEF RESTORATION IN SINGAPORE’S WATERS?* Obtenido de https://coralreef.nus.edu.sg/publications/Ng2012Contrib._Mar._Sci95.pdf?utm_source=chatgpt.com

Status of Coral Reefs of the World. (2020). Obtenido de <https://gcrmn.net/wp-content/uploads/2022/05/Status-of-Coral-Reefs-of-the-World-2020-Summary-for-Policymakers.pdf>

- Suggett, D., Goergen, E., Fraser, M., Hein, M., Hoot, W., McLeod, I., . . . Vardi., T. (2025). *A user's guide to coral reef restoration terminologies*. Obtenido de Coral Reefs: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00338-025-02619-8>
- Tapia, K. (2024). *Distribución potencial de corales del orden Scleractinia en el perfil costero de la provincia de Santa Elena, Ecuador*. Obtenido de Universidad Estatal Península de Santa Elena: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/11778>
- Torres, J., & Morell, N. (2018). *Cultivo "ex situ" para la restauración de arrecifes de coral del género Pocillopora (Bahía Culebra, Costa Rica)*. Obtenido de Universidad Católica de Valencia: <https://riucv.ucv.es/bitstream/handle/20.500.12466/56/Noelia%20Morell%20TFG.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Trujillo, M. (2017). *Evaluación de la tasa de crecimiento en corales ramificados del género Pocillopora (Anthozoa: Scleractinia) en dos fondos rocosos de la costa ecuatoriana*. Obtenido de Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí: https://www.researchgate.net/publication/297734406_Evaluacion_de_la_tasa_de_crecimiento_en_corales_ramificados_del_genero_Pocillopora_Anthozoa_Scleractinia_en_dos_fondos_rocosos_de_la_costa_ecuatoriana
- Valero, A. (2024). *Heymondo*. Obtenido de Los arrecifes de coral más impresionantes del mundo: <https://heymondo.es/blog/los-arrecifes-de-coral-mas-impresionantes-del-mundo/>

- Vallarino, R. (2021). *Los arrecifes artificiales contra el cambio climático*. Obtenido de Universidad Politécnica de Madrid: <https://blogs.upm.es/puma/2021/12/13/los-arrecifes-artificiales-contra-el-cambio-climatico/>
- Venn, A., Tambutté, E., Caminiti, N., Techer, N., Allemand, D., & Tambutté, S. (2019). *Effects of light and darkness on pH regulation in three coral species exposed to seawater acidification*. Obtenido de <https://www.nature.com/articles/s41598-018-38168-0#:~:text=de%20tama%C3%B1o%20completo-,En%20P.,%2C4%20y%207%2C2.>
- Veron, J. (2000). Corals of the world. *INTERNATIONAL JOURNAL OF TROPICAL BIOLOGY AND CONSERVATION*, Vols 1-3.
- Villalobos, T. (2021). *La Cultura del Agua*. Obtenido de Técnica pionera para restaurar los corales.: <https://laculturadelagua.com/tecnica-pionera-para-restaurar-los-corales/>
- Von, H., & Vargas, B. (1990). *Revista de Ciencias Universidad del Valle*. Obtenido de Tasa de crecimiento del coral *Pocillopora Damicornis* en un arrecife costero del pacífico colombiano: https://revistaciencias.univalle.edu.co/index.php/revista_de_ciencias/articloe/view/548/670
- Yus, J., Nixon, E., Li, J., Gimenez, N., Bennett, M., Flores, D., . . . Wagoner, A. (2024). *Sustratos compuestos para el asentamiento de larvas de coral y la*

restauración de arrecifes a base de cal hidráulica natural y compuestos inorgánicos de estroncio y magnesio. Obtenido de Science Direct:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857424000600>

13. ANEXOS:

Anexo 1: Preparación de los sustratos



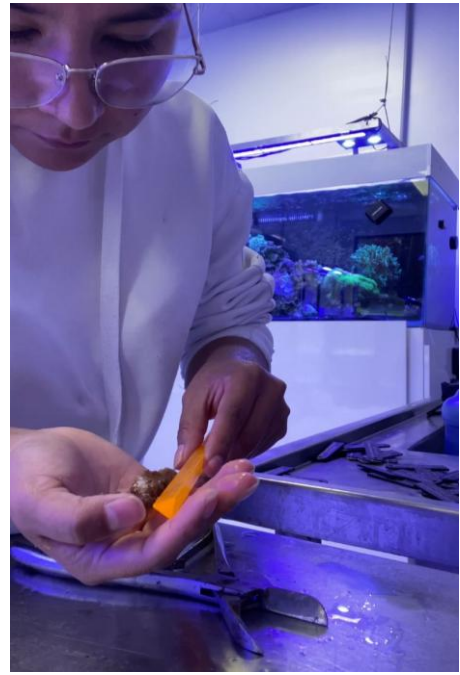
Anexo 2: Preparación de los viveros



Anexo 3: Recolección de las colonias coralinas



Anexo 4: Fragmentación de las colonias coralinas



Anexo 5: Movilización de los fragmentos de coral a los viveros

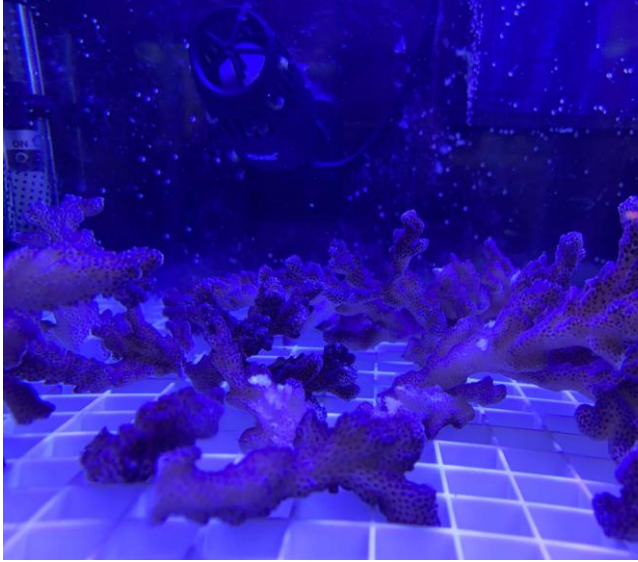
In Situ





Ex Situ





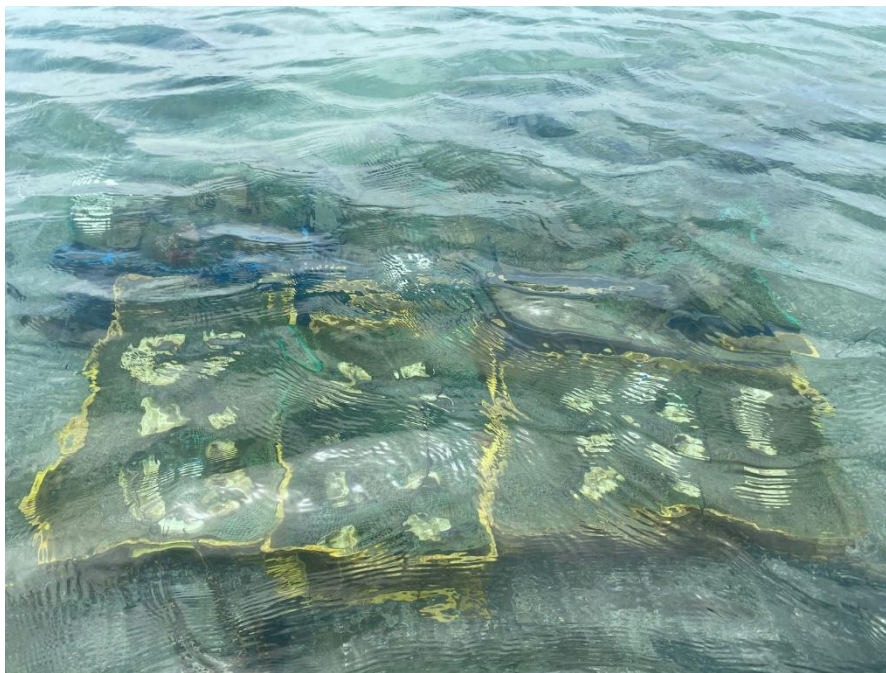
Anexo 6: Adherencia del coral a la galleta



Anexo 7: Proceso de etiquetado

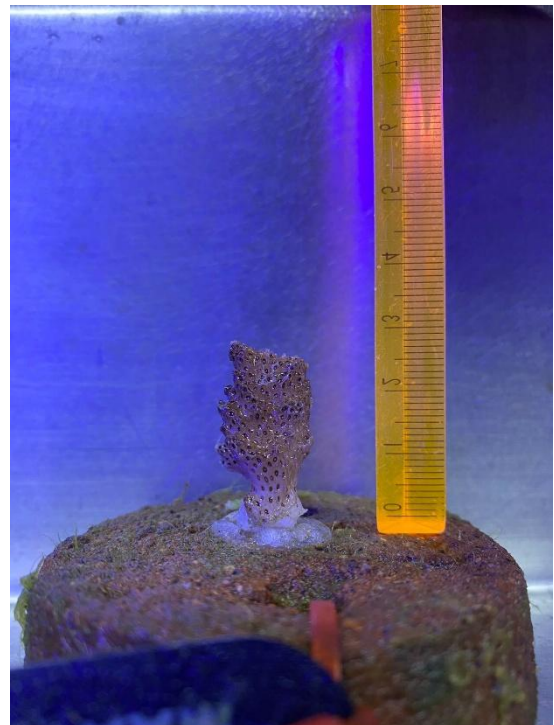


Anexo 8: Viveros instalados





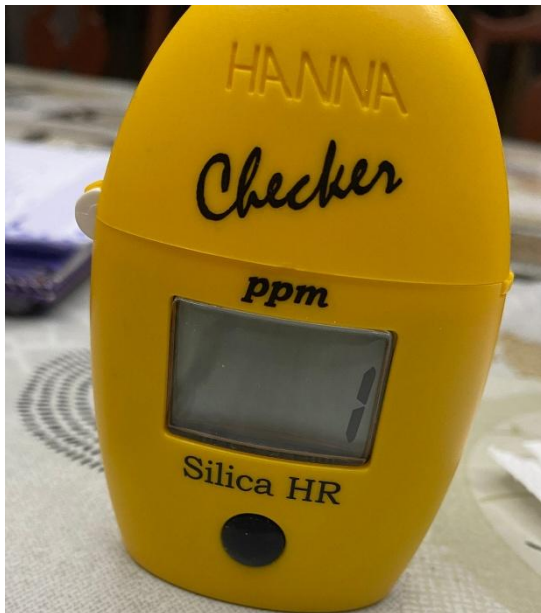
Anexo 9: Toma de datos del crecimiento

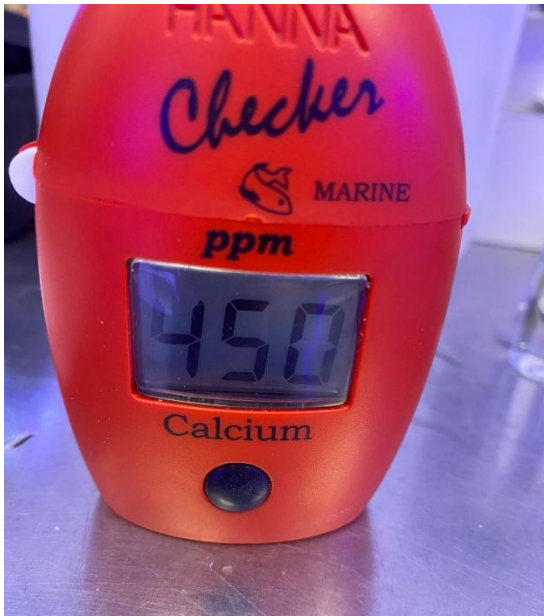


Anexo 10: Limpieza de los viveros



Anexo 11: Toma de los parámetros

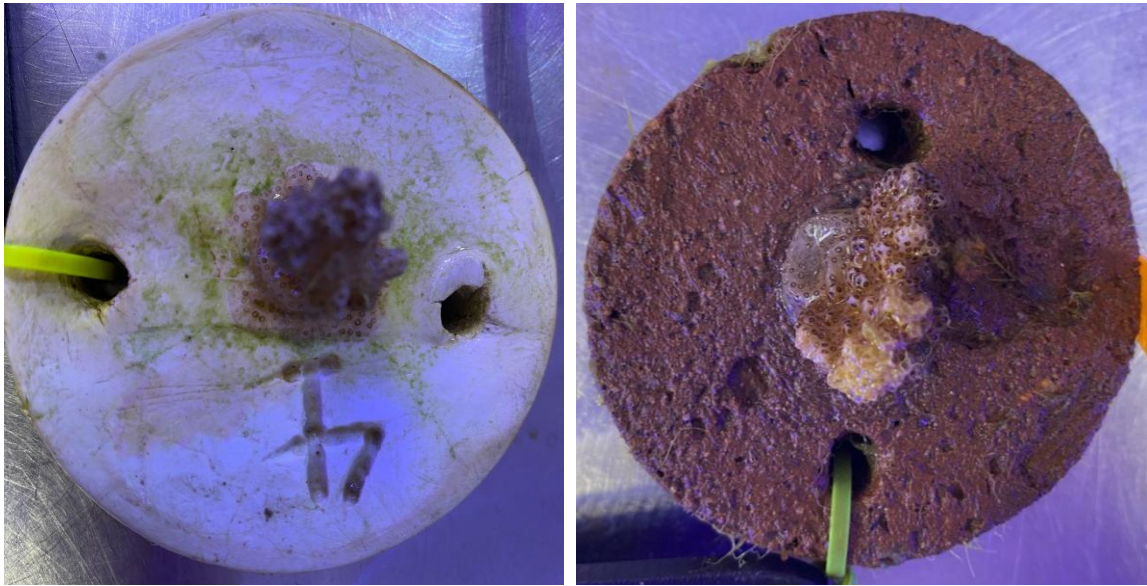




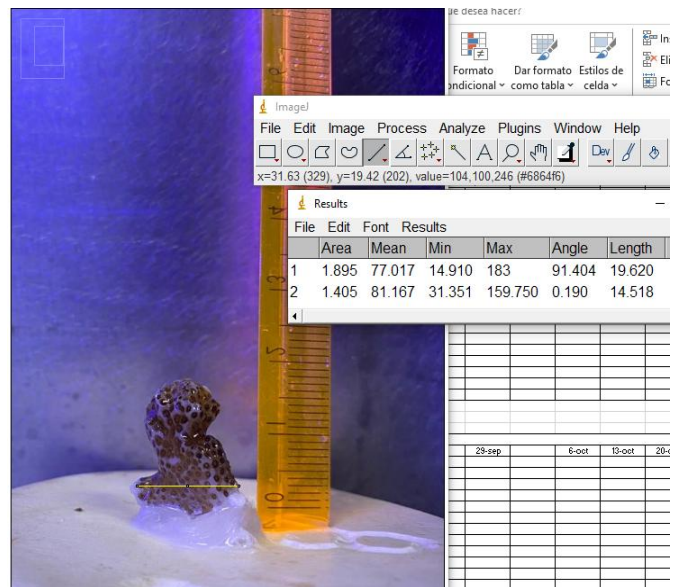
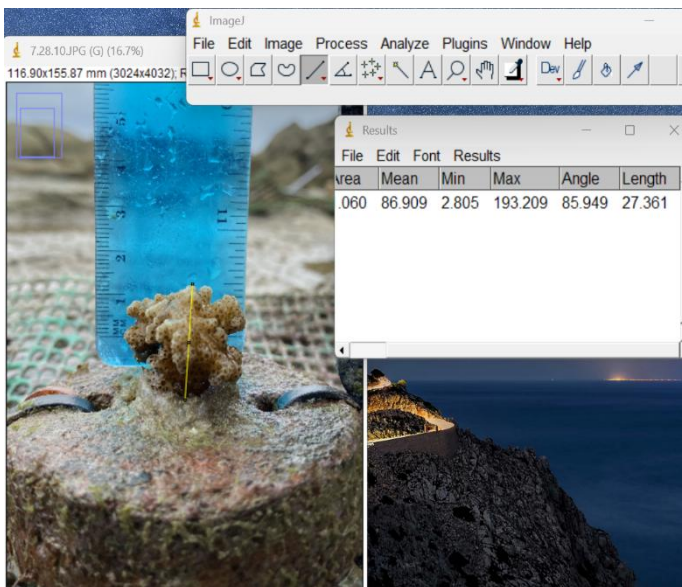
Anexo 12: Reactivos utilizados

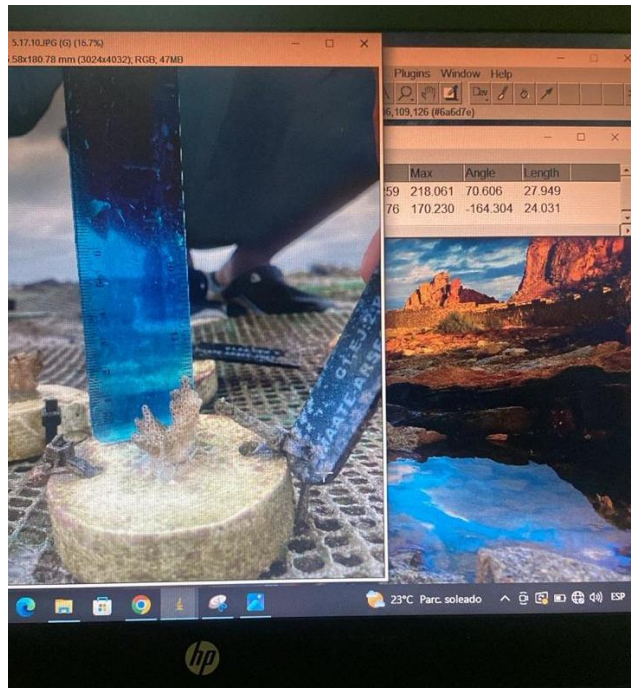
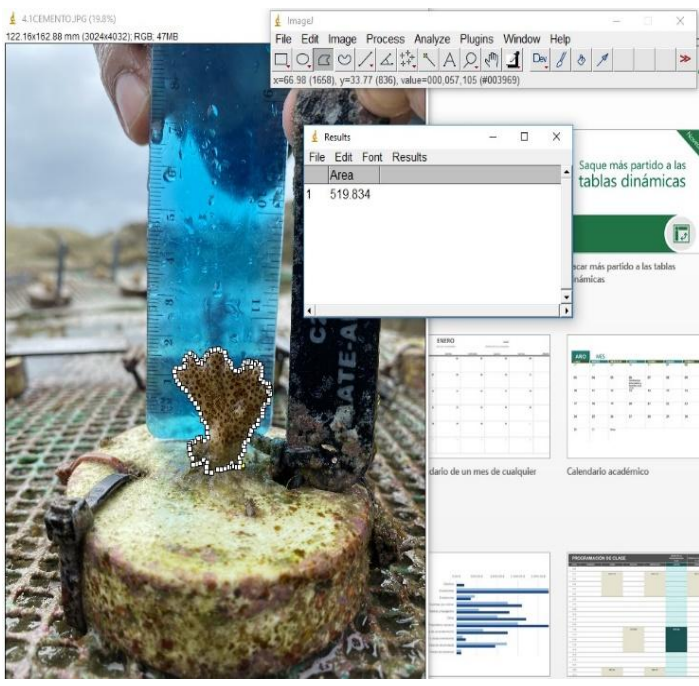


Anexo 13: Adherencia del coral



Anexo 14: Análisis en Software Alto – Ancho – Área





Anexo 15: Visita de mis tutores a los sitios de estudio



Anexo 16: Carta de Intención UIIDE



Quito, 28 de abril de 2025

Ing. Jimmy Villón, M.Sc.
Director de la Carrera de Biología
Facultad de Ciencias del Mar
Universidad Estatal Península de Santa Elena

Presente.-

De mi consideración:

Por medio de la presente, yo, **Mvt. Matteo Andrés Espinosa**, especialista en corales, peces y macroinvertebrados marinos y dulceacuícolas, en calidad de Director del Laboratorio Acquolab de la Universidad Internacional del Ecuador, sede Quito, remito esta **CARTA DE INTENCIÓN DE COLABORACIÓN INTERINSTITUCIONAL** con la finalidad de brindar las facilidades correspondientes en el uso de las instalaciones, equipos, infraestructura, insumos y apoyo técnico del mencionado laboratorio para el **desarrollo del componente ex situ** del trabajo de integración curricular titulado "**Evaluación del Crecimiento de Pocillopora damicornis in situ y ex situ, Santa Elena - Ecuador**", a cargo de la estudiante **Catherin Salomé Herrera Betancourt**, bajo la tutoría de la MSc. Ana Gabriela Balseca (UPSE). Esta colaboración incluirá la provisión gratuita de laboratorio, materiales, equipos, reactivos y todo lo necesario para la adecuada **monitorización del crecimiento de los corales**.

El apoyo brindado será efectivo **de forma inmediata**, a partir del momento en que la estudiante cuente con el **permiso correspondiente emitido por la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE)**, y se extenderá **hasta la finalización del trabajo en el mes de noviembre de 2025**.

El Laboratorio Acquolab está completamente equipado con tecnología especializada que permite imitar de manera casi exacta el hábitat natural de los corales, mediante el control automatizado de parámetros físico-químicos, simulación de mareas y otras condiciones ambientales, a través de aplicaciones computarizadas de última generación. Gracias a esta tecnología, la estudiante podrá realizar el **monitoreo diario** de las condiciones de los corales **de forma remota** desde Santa Elena. Dado que los corales para esta investigación solo necesitan de luz especializada y no requieren alimentación continua (pellets o dieta líquida) ni recambios de agua constantes, será suficiente que la estudiante asista **presencialmente cada quince (15) días** al laboratorio para llevar a cabo la limpieza de peceras, el mantenimiento de los sistemas y el seguimiento presencial de los ejemplares, actividades que estarán bajo su entera responsabilidad.

Adicionalmente, manifiesto mi interés y disposición para participar como **co-tutor** del trabajo de integración curricular de la estudiante.

Asimismo, la Universidad Internacional del Ecuador expresa su disposición para suscribir un **convenio marco** de colaboración interinstitucional que permita formalizar no solo el apoyo a este trabajo, sino también futuras iniciativas conjuntas que fortalezcan la investigación científica y la conservación de nuestros ecosistemas.

Sin otro particular, reitero mi total disposición y quedo atento a cualquier requerimiento adicional que permita contribuir al éxito de esta actividad académica.

Atentamente,



Mvt. Matteo Andrés Espinosa
Especialista en Corales, Peces y Macroinvertebrados Marinos y Dulceacuícolas
Director Laboratorio Acquolab
Correo electrónico: maespinosa@uide.edu.ec

Anexo 17: Permiso del MAATE



Ministerio del Ambiente, Agua
y Transición Ecológica

**AUTORIZACIÓN DE RECOLECCION DE ESPECIMENES DE ESPECIES DE LA DIVERSIDAD
BIOLÓGICA No. 292**

ESTUDIANTES E INVESTIGADORES (SIN FINES COMERCIALES)

**1.- AUTORIZACIÓN DE RECOLECTA DE ESPECÍMENES DE ESPECIES LA DIVERSIDAD
BIOLÓGICA**

2.- CÓDIGO

MAATE-ARSFC-2025-0292

3.- DURACIÓN DEL PROYECTO

FECHA INICIO	FECHA FIN
2025-05-01	2025-11-01

4.- COMPONENTE A RECOLECTAR

Animal

El Ministerio del Ambiente y Agua, en uso de las atribuciones que le confiere la Codificación a la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre autoriza a:

**5.- INVESTIGADORES /TÉCNICOS QUE INTERVENDRÁN EN LAS ACTIVIDADES DE
RECOLECCION**

Nº de C./Pasaporte	Nombres y Apellidos	Nacionalidad	Nº REGISTRO SENESCYT	EXPERIENCIA	GRUPO BIOLÓGICO
1726319823	HERRERA BETANCOURT CATHERIN SALOME	Ecuatoriana	05516527	Estudiante de Biología	Anthozoa
0706306560	TOALA MONCADA STEDYN EDU	Ecuatoriana	05596201	Estudiante de Biología	Anthozoa
1850273408	CASTRO VILLACRES SANDY ANABELLA	Ecuatoriana	05381395	Estudiante de Biología	Anthozoa
1717053308	BALSECA VACA ANA GABRIELA	Ecuatoriana	8041634	Docente Investigadora	Anthozoa

6.- PARA QUE LLEVEN A CABO LA RECOLECCION DE ESPECIMENES DE ESPECIES LA

Dirección: Calle Madrid 156 y Andalucía
Código postal: 170525 / Quito-Ecuador
Teléfono: +593-2 398 7600
www.ambiente.gob.ec



1 / 5

DIVERSIDAD BIOLÓGICA:

Nombre del Proyecto: EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE POCILLOPORA DAMICORNIS IN SITU Y EX SITU SANTA ELENA - ECUADOR.

7.- SE AUTORIZA LA RECOLECCIÓN CON EL PROPOSITO DE:

Evaluar el crecimiento de Pocillopora damicornis mediante pruebas en viveros estableciendo el sustrato con mayor porcentaje de desarrollo biológico y su relación con los parámetros ambientales en la provincia de Santa Elena - Ecuador.
Analizar la tasa de crecimiento de los fragmentos de coral en viveros marinos y terrestres con diferentes sustratos.
Determinar el sustrato que presenta las mejores condiciones para el crecimiento favorable de fragmentos de coral, mediante pruebas en viveros.
Establecer la influencia de los factores ambientales en las tasas de crecimiento (desarrollo biológico).

8.- ÁREA GEOGRÁFICA QUE CUBRE LA RECOLECCIÓN DE LAS ESPECIES O ESPECÍMENES:

PROVINCIAS	SNAP	BOSQUE PROTECTOR
SANTA ELENA	RESERVA DE PRODUCCION DE FAUNA PUNTILLA DE SANTA ELENA	NA

9.- INFORMACIÓN DE LAS ESPECIES A RECOLECTAR

CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO	ESPECIE	TIPO MUESTRA	Nº MUESTRA	Nº LOTE
Anthozoa	Scleractinia	Pocilloporidae	Pocillopora	Pocillopora damicornis	Fragmentos vivos	48	

10.- METODOLOGÍA APLICADA EN CAMPO

FASE DE RECOLECCIÓN:	Se realizará una recolección de fragmentos de oportunidad que se encuentran de forma natural en el lecho marino de la especie Pocillopora damicornis en Anconito, es importante tener en cuenta que los fragmentos recogidos tengan similares medidas para que no exista gran variación, además es necesario obtener colonias sanas sin signos de blanqueamiento.
FASE DE PRESERVACIÓN:	Una vez obtenidos los fragmentos necesarios para esta investigación, se colocan en una gaveta con agua proveniente del medio en el que se encontraron, manteniendo una aireación constante, luego, se trasladan a la zona de estudio, donde se procede a fijar los fragmentos, aclimatarlos y, finalmente, devolverlos al medio correspondiente, ya sea marino o terrestre. Se utilizará una composición de diferentes materiales para preparar la mezcla, se los pone en moldes con un sujetador de plástico en el medio, se deja reposar y se retira del molde, estas galletas tienen una medida de 2 cm de alto.

11. METODOLOGÍA APLICADA EN LABORATORIO

<p>MÉTODOS EMPLEADOS EN EL LABORATORIO:</p>	<p>El sistema de cultivo terrestre se llevará a cabo en Salinas - Ecuador, en cuatro acuarios cuadrados. Las galletas con los corales se fijarán a una malla dentro de los acuarios, separando los sustratos de cemento y yeso en dos acuarios para cada tipo. Para posicionar los corales, se instalará una estructura de tubos de PVC que mantendrá la malla en el centro, asegurando que las galletas y los fragmentos de coral queden sujetos, los viveros se ubicarán sobre una repisa metálica. En el sistema de cultivo marino se implementará en la plataforma rocosa de las positas de Anconcito, utilizando cuatro gavetas plásticas de 40 x 60 cm, con capacidad de 60 litros y un peso de 35 kg. Estas gavetas se fijarán al suelo mediante el peso de rocas, y se les unirá una red con seguros plásticos de manera templada. En ellas se colocarán las galletas con fragmentos de coral previamente adheridos, se utilizarán gavetas de dos colores diferentes para distinguir los tipos de sustratos: cemento (amarillo) y yeso (verde).</p>
--	---

12.- SE AUTORIZA LA UTILIZACIÓN DE LOS SIGUIENTES MATERIALES Y/O EQUIPOS PARA LA REALIZACIÓN DE ESTA RECOLECCION.

Grupo Biológico a Recolectar	Descripción	Tipo de Equipamiento
Anthozoa	MULTIPARÁMETRO, GPS, CÁMARA GOPRO	Equipo en Campo
Anthozoa	SNORKEL (EQUIPO COMPLETO) , GAVETAS PLÁSTICAS, 24 GALLETAS, SGUROS DE PLÁSTICO, MALLA VERDE, CARBONATO DE CALCIO, BITÁCORA DE APUNTES	Material en Campo
Anthozoa	ESTEREOSCOPIO, ESPECTOFOTÓMETRO, MULTIPARÁMETRO, CÁMARA FOOGRÁFICA	Equipo en Laboratorio
Anthozoa	ACUARIOS, BOMBAS DE OXÍGENO, MALLA VERDE, SEGUROS PLÁSTICOS, BITÁCORA DE APUNTES, TUBOS PVC, CARBONATO DE CALCIO, BRUJITA, 24 GALLETAS	Material en Laboratorio

13.- COLECCIONES NACIONALES DEPOSITARIAS DEL MATERIAL BIOLÓGICO

Anthozoa	Museo Zoología-Universidad Central del Ecuador
----------	--

14.- RESULTADOS ESPERADOS

Se espera un crecimiento significativo en ambos sustratos, con la hipótesis de que Pocillopora mostrará una mejor adhesión en las galletas de cemento. Se anticipa un crecimiento de hasta 2 mm en el vivero marino y hasta 1 mm en el vivero terrestre. Además, los factores ambientales como la temperatura, salinidad, intensidad de luz, pH, conductividad y concentración de nutrientes influirán en la tasa de crecimiento del coral, lo que reflejará la relación entre estos parámetros y el desarrollo biológico del organismo, desde su medición hasta las posibles adaptaciones y respuestas frente a estas condiciones.

15.- CONTRIBUCIÓN DEL ESTUDIO PARA LA TOMA DE DECISIONES A LA ESTRATEGIA NACIONAL DE BIODIVERSIDAD 2011-2020.

METAS	DESCRIPCIÓN
Resultado04.19El Ecuador, bajo la coordinación del Instituto de Investigaciones de la Biodiversidad, impulsa la investigación científica aplicada y la gestión del conocimiento sobre el patrimonio natural y desarrolla procesos tecnológicos innovadores que sustentan el cambio de la matriz productiva	Este estudio aportará al Ecuador valiosa información sobre las mejores prácticas para la restauración de corales, especialmente Pocillopora damicornis, al comparar la efectividad de los viveros marinos y terrestres y los tipos de sustrato utilizados en su cultivo. Proporcionará datos específicos sobre el manejo adecuado de los corales en el contexto ecuatoriano, lo que permitirá optimizar las técnicas de restauración en arrecifes degradados, además, contribuirá a la conservación de los ecosistemas marinos, fomentando el desarrollo de proyectos sostenibles que apoyen a las comunidades pesqueras y turísticas, y fortalecerá la educación ambiental e investigación científica en el país.

DE ACUERDO A LAS SIGUIENTES ESPECIFICACIONES

1. Solicitud de: **HERRERA BETANCOURT CATHERIN SALOME**
2. Institución Nacional Científica : **UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA**
3. Fecha de entrega del informe final o preliminar: **2025/10/17**
4. Valoración técnica del proyecto: **LUJE ASIMBAYA LUCIA ELISA**
5. Esta Autorización **NO HABILITA LA MOVILIZACIÓN DE FLORA, FAUNA, MICROORGANISMOS Y HONGOS.**
6. Esta Autorización **NO HABILITA EXPORTACIÓN DE FLORA, FAUNA, MICROORGANISMOS Y HONGOS**, sin la correspondiente autorización del Ministerio del Ambiente y Agua.
7. Los especímenes o muestras recolectadas no podrán ser utilizadas en actividades de **BIOPROSPECCIÓN, NI ACCESO AL RECURSO GENÉTICO.**
8. Los resultados que se desprendan de la investigación, no podrán ser utilizados para estudios posteriores de Acceso a Recurso Genéticos sin la previa autorización del Ministerio del Ambiente y Agua.

OBLIGACIONES DEL/ LOS INVESTIGADOR/ES.

9. Ingresar al sistema electrónico de recolecta de especímenes de especies la diversidad biológica del ministerio del ambiente y agua, el o los informes parciales o finales en formato PDF, en el formato establecido.

Con los siguientes anexos:

- Escaneado de el o los certificados originales del depósito o recibo de las muestras, emitidas

por las Colecciones Científicas Ecuatorianas como Internacionales depositarias de material biológico.

- Escaneado de las publicaciones realizadas o elaboradas en base al material biológico recolectado.
- Escaneado de material fotográfico que considere el investigador pueda ser utilizados para difusión. (se mantendrá los derechos de autor).

10. Citar en las publicaciones científicas, Tesis o informes técnicos el número de Autorización de Recolección otorgada por el Ministerio del Ambiente y Agua, con el que se recolecto el material biológico.

11. Depositar los holotipos en una institución científica depositaria de material biológico.

12. Los holotipos solo podrán salir del país en calidad de préstamo por un periodo no más de un año.

13. Las muestras biológicas a ser depositadas deberán ingresar a las colecciones respectivas siguiendo los protocolos emitidos por el Curador/a custodio de los especímenes.

14. Las muestras deberán ser preservadas, curadas y depositadas de lo contrario, se deberán sufragar los gastos que demanden la preparación del material para su ingreso a la colección correspondiente.

Del incumplimiento de las obligaciones dispuestas en los numerales, 9, 10, 11, 12, 13 y 14 se responsabiliza a **HERRERA BETANCOURT CATHERIN SALOME**.

DIRECTOR DE BIODIVERSIDAD
ALAVA CASTILLO JOEL FERNANDO
2025-04-17



Anexo 18: Guía de movilización de especies



Ministerio del Ambiente, Agua
y Transición Ecológica

AUTORIZACION DE MOVILIZACIÓN DE ESPECÍMENES DE ESPECIES DE LA DIVE
AUTORIZACION DE RECOLECTA



GUÍA N°. 03554
CÓDIGO: MAATE-ARSFC-2025-0292

DATOS DEL SOLICITANTE

N. Identificación: 1726319823
Nombres: HERRERA BETANCOURT CATHERIN SALOME

DATOS DEL RESPONSABLE DE LAS MUESTRAS O ESPECÍMENES A TRANSPORTAR

Nº de C.I / Pasaporte	Nombres y Apellidos	Nacionalidad	Transportista
1726319823	HERRERA BETANCOURT CATHERIN SALOME	Ecuatoriana	Si
0706306560	TOALA MONCADA STEDYN EDU	Ecuatoriana	No

ORIGEN

Provincia
SANTA ELENA

Tipo de Transporte: Terrestre

DESTINO

Provincia	Cantón	Parroquia
PICHINCHA	DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO	QUITO

Centro de Tenencia: Museo Zoología-Universidad Central del Ecuador


FECHA DE MOVILIZACIÓN

Desde: 2025-08-07	Hasta: 2025-08-09
-------------------	-------------------

MATERIAL BIOLÓGICO A MOVILIZAR

Especie	Tipo de Muestra	Número Muestra	Lote Muestra
Animal-Cnidaria-Anthozoa- Scleractinia-Pocilloporidae- Pocillopora-Pocillopora damicornis	Fragmentos vivos	48	N/A

Anexo 19: Certificado de compilatio




CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

Herrera Betancout, Caherin Final

4%

Textos sospechosos



< 1% Similitudes

- 0 % similitudes entre comillas
- 0 % entre las fuentes mencionadas

1% Idiomas no reconocidos

2% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: Herrera Betancout, Caherin Final.docx

ID del documento: ea3157a61136dfe74b42816e5f80fdafb7938f05

Tamaño del documento original: 125,51 kB

Depositante: ANA GABRIELA BALSECA VACA

Fecha de depósito: 10/11/2025


Tipo de carga: interface

fecha de fin de análisis: 10/11/2025


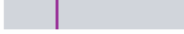



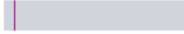



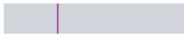
Número de palabras: 13.335

Número de caracteres: 85.432

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 Documento de otro usuario #be2ee7 Viene de de otro grupo	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
2	 132.248.9.195 Estructura comunitaria de moluscos opistobranquios en dos arre... http://132.248.9.195/ptd2016/enero/0739431/index.html	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (12 palabras)
3	 Tesis Erik Ortiz.docx Tesis Erik Ortiz #0bb3ff Viene de de mi biblioteca	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)
4	 Kevin Tapia Compilatio.docx Kevin Tapia Compilatio #fe9fcb Viene de de mi biblioteca	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)
5	 Documento de otro usuario #11c681 Viene de de otro grupo	< 1%		🔗 Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)

Anexo 20: Validación de especie

Santa Elena, 10 de noviembre del 2025

A QUIEN CORRESPONDA

Yo, Mvt. Matteo Andrés Espinosa Cardellino con C.I. 1717417479, por medio de la presente, dejo constancia de haber revisado y validado la identificación taxonómica de la especie utilizada en el trabajo de titulación de la alumna Catherin Salomé Herrera Betancourt titulado **“EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO DE *Pocillopora damicornis* IN SITU Y EX SITU, ECUADOR”**.

Por lo tanto, certifico que la determinación de la especie *Pocillopora damicornis*, se realizó mediante el análisis de características morfológicas externas, de acuerdo con los criterios taxonómicos de esta especie. Esta validación se fundamenta exclusivamente en la observación morfológica directa de los especímenes utilizados.



Atentamente,