

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR

ESCUELA DE RECURSOS MARINOS Y AMBIENTALES

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE DOS ESTRUCTURAS PARA JARDINES
DE CORAL DE LA ESPECIE *ACROPORA CERVICORNIS* EN EL PARQUE
NACIONAL PORTOBELLO.**

TRABAJO DE TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:

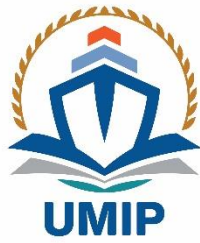
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA MARINA

Presentado por:

LUIS ENRIQUE BERNAL RIVERA

8-917-1162

FECHA: _____



HOJA DE APROBACIÓN

Aprobado por:

DECANO DE LA FACULTAD

Fecha:

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado la fuerza suficiente para seguir adelante y completar una de las etapas más importantes de mi vida. A mis padres por apoyarme día a día y enseñarme que, con esfuerzo, se puede alcanzar cualquier cosa que nos propongamos. A la profesora Yessenia por confiar en mí, por ayudarme a desenvolverme en el área de la Biología Marina, preparándome tanto en clase como en campo, ante las dudas y conflictos que tuviera, dándome consejos útiles. A mis amigos y compañeros Rodnyel Arosemena y Alexandra De León, por el gran apoyo incondicional que me brindaban día a día. Esto me ayudaba a enfocarme y motivarme en seguir adelante tanto fuera como dentro de la carrera.

AGRADECIMIENTO

A René Gómez por siempre brindarme el apoyo dentro del proyecto de Reef2Reef Restoration y enseñarme a desenvolverme profesionalmente en un futuro; a los estudiantes y compañeros voluntarios que me ayudaron en los monitoreos y limpiezas de las estructuras en cada salida. También quiero agradecer al profesor Juan Clarós por aconsejarme y siempre estar pendiente de cómo me iba en las salidas a campo, a la secretaria Madelaine Bethancourt y a la asistente administrativa Abigail Garay, por siempre estar pendientes en tener todo en orden con lo que necesitaba para realizar mis trabajos de campo. A la profesora Beatriz Medina por orientarme siempre en que era lo más viable para mí a la hora de realizar dicho estudio. A todo el personal de trabajo de la empresa Scuba Portobelo y sus “divemasters”, por su apoyo durante la elaboración de este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE CUADROS	vi
Pág.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT	ix
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS	1119
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	2
2.1 Área de estudio	12
2.2 Construcción de las estructuras	13
2.2.1 Descripción del tipo de estructuras de fragmentos de coral	15
2.3 Recolecta de fragmentos iniciales de <i>A. cervicornis</i>	17
2.4 Transplante de los fragmentos hacia las estructuras	18
2.5 Toma de datos del crecimiento de los fragmentos	19
2.6 Toma de datos de los parámetros fisicoquímicos en la zona de estudio.	20
CAPÍTULO III. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	12
3.1 Análisis del crecimiento lineal y extensión de tejido de los fragmentos.....	23
3.2 Análisis de los parámetros fisicoquímicos.	29
3.3 Estado de salud y observación de especies asociadas.....	3334
3.4 Comparación de la viabilidad entre las estructuras	36
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	4039
CAPÍTULO V. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA Y EL ANEXO	4443

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Cuadro del promedio de los parámetros fisicoquímicos que se tomaron en la zona entre el mes de mayo y diciembre del 2019.	30
Cuadro 2. Tabla de especies encontradas constantemente en las estructuras de corales a lo largo de los meses de estudio.....	34
Cuadro 3. Comparación de la viabilidad de las estructuras.	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio. El punto rojo señala la localización de la guardería de coral en la zona de Bahía de Huertas, dentro del Parque Nacional Portobelo.	12
Figura 2. Ubicación de las cuatro estructuras de jardines de coral dentro de Bahía Huertas.	14
Figura 3. Transporte de las estructuras hacia Bahía Huertas.	15
Figura 4. Estructura tipo tendedero.	16
Figura 5. Estructura tipo fijo.	17
Figura 6. Medidas de fragmentos de vivero, crecimiento lineal y extensión de tejido..	20
Figura 7. Gráfica y cuadro del crecimiento lineal de los fragmentos de <i>A. cervicornis</i> en ambos tipos de estructuras durante los meses de mayo hasta diciembre.	24
Figura 8. Gráfica y cuadro de la extensión del tejido de los fragmentos de <i>A. cervicornis</i> en ambos tipos de estructuras durante los meses de mayo hasta diciembre.	25
Figura 9. Promedio de crecimiento de los fragmentos de <i>A. cervicornis</i> de cada estructura por salida.	26
Figura 10. La imagen A muestra el sobrecrecimiento algal y la imagen B muestra el palidecimiento de los fragmentos de coral en las estructuras de tipo fijo.	27
Figura 11. Mortalidad de los fragmentos del área de Buenaventura y Pared de Huertas durante las salidas.	28
Figura 12. Algas incrustantes en los fragmentos de corales extraídos de Buenaventura.	29
Figura 13. Gráfica de los parámetros fisicoquímicos de la sexta a la undécima salida. Estas corresponden a los meses entre agosto y diciembre del 2019.	32

RESUMEN

Los arrecifes coralinos se distribuyen a lo largo de miles de kilómetros de la costa del Caribe, formando una parte integral de su tejido geográfico. Estos ecosistemas rebosantes de vida, proporcionan un hábitat para la mayoría de peces e invertebrados, que sirven como fuente de alimento a millones de personas. Al amortiguar el impacto de las olas, protegen el litoral de los estragos de las tormentas de gran intensidad. Los arrecifes coralinos constituyen los cimientos de la floreciente industria turística del Caribe, considerada el sector económico más importante de la región al suministrar la mayor parte de la arena que forma sus bellas playas y atraer a buceadores de todo el mundo, para explorar sus profundidades plenas de misterio y color. El deslumbrante despliegue de especies que habitan los arrecifes ha llamado también la atención de la industria farmacéutica como fuente potencial de medicamentos que sirven para salvar vidas. La degradación de los ecosistemas de arrecifes constituye una problemática, por tanto, una de las innovaciones técnicas para su conservación es la creación de guarderías de coral, en donde se les pueda aportar un ambiente propicio para su desarrollo y ubicarlos en zonas que necesiten de una intervención directa.

Este trabajo tiene como finalidad proporcionar información sobre qué metodología es la más viable para poder crear proyectos de guardería de corales en el área del caribe panameño utilizando la especie *Acropora cervicornis* y poder replicarla en otras áreas en donde sea necesaria una restauración de coral. Además, de concientizar a la población de la importancia que juegan estos organismos dentro del ecosistema, su equilibrio y su uso como recurso natural. Se colocaron cuatro estructuras con dos metodologías diferentes para comparar la eficiencia de cada una, para el desarrollo de los fragmentos de coral; midiendo el crecimiento, parámetros fisicoquímicos e identificando especies asociadas a los arrecifes que se encontraban en el área de estudio durante diez meses. Se estimó que la estructura de tipo tendedero fue la más eficiente en el crecimiento y cuidado de los fragmentos, con un crecimiento promedio de entre cinco a siete centímetros por salida y sin presentar tasa de mortalidad, en comparación con la estructura tipo fijo con un crecimiento promedio 2.8 cm por salida y con 18 fragmentos que sufrieron sobre crecimiento algal.

ABSTRACT

Coral reefs are distributed along thousands of kilometers of the Caribbean coast, forming an integral part of its geographic fabric. These ecosystems teeming of life provide a habitat for the most of the fish and invertebrates, which serve as a food source for millions of people. By cushioning the impact of the waves, they protect the coastline from the ravages of high intensity storms. Coral reefs form the foundation of the Caribbean's flourishing tourism industry, considered the most important economic sector in the region, supplying most of the sand that makes up its beautiful beaches and attracting divers from around the world to explore its full depths. of mystery and color. The dazzling array of reef-dwelling species has also drawn the attention of the pharmaceutical industry as a potential source of life-saving drugs. The degradation of reef ecosystems constitutes a problem, therefore, one of the technical innovations for their conservation is the creation of coral nurseries, where they can provide an environment conducive to their development and locate them in areas that need a direct intervention.

This work aims to provide information on which is the most viable methodology to create coral nursery projects in the Panamanian Caribbean area using the *Acropora cervicornis* species and to be able to replicate it in other areas where coral restoration is needed. In addition, to make the population aware of the importance that these organisms play within the ecosystem, their balance and their use as a natural resource. Four structures with two different methodologies were placed to compare the efficiency of each one for the development of coral fragments, measuring growth, physicochemical parameters and identifying species associated to the reefs that were in the study area during 10 months. It was estimated that the clothesline type structure was the most efficient in the growth and care of the fragments, with an average growth of between five and seven centimeters per exit and without presenting mortality rate, compared to the fixed type structure with an average growth of 2.8 cm per exit and with 18 fragments that suffered algal overgrowth.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La región del Caribe se extiende por alrededor de más de 2,754,000 km², en la que se encuentran entre 36 a 40 países y territorios políticamente independientes, cada uno con demandas de soberanía y estrategias de manejo y de conservación marina específicas, entre los que se encuentran los arrecifes de coral (Miloslavich y Klein 2005).

Con el surgimiento del Istmo de Panamá y el aislamiento del océano tropical americano en dos provincias, se produjeron cambios ambientales que dieron lugar al incremento en la divergencia evolutiva y radiación de especies viviendo hoy día en extensos arrecifes coralinos, manglares, lechos de pastos marinos, ecosistemas de plataforma profundos, cuencas profundas y trincheras parcialmente aisladas (Collins 1996, Miloslavich y Klein 2005).

Los arrecifes de coral ofrecen protección a las costas, son centros de alta biodiversidad y proveen hábitat esencial para una amplia gama de especies de peces e invertebrados de importancia comercial (Veron et al. 2009). A pesar de que representan solo un pequeño porcentaje (<1%) del medio marino, los arrecifes de coral son el hogar de un tercio de todas las especies marinas conocidas (Reaka-Kudla 1997, 2001). Las costas de más de 100 países están bordeadas por arrecifes de coral (Moberg y Folke 1999). Una gran parte de la disminución registrada en la abundancia de coral en la región del Caribe es debido a la dramática pérdida de los

Acropora. Las poblaciones de coral Acropóridos se han reducido en un 80-90% desde finales de 1980 (Bruckner 2002).

De acuerdo con Rinkevich (2005) los arrecifes coralinos son de los ecosistemas más productivos biológicamente en la tierra, estos se han estado degradando en las últimas 2-3 décadas a un ritmo alarmante a lo largo del mundo. Los corales hermatípicos son uno de los principales constructores de arrecife, estos forman parte de la base estructural de los ecosistemas de arrecifes tropicales, a su vez brindan protección y hábitats estables a un gran número de especies actuando así, como guarderías para las etapas juveniles de distintos Phylum marinos (Stewart et al. 2006). Dicha protección hace referencia a las tormentas, las inundaciones y la erosión al reducir la acción de la ola a lo largo de las costas tropicales. Esta protección ofrecida por los arrecifes de coral permite la formación de ecosistemas asociados al mismo, como lo son las praderas marinas y manglares, los cuales sostienen importantes recursos pesqueros que nos sirven como fuentes de alimento a los seres humanos generando miles de millones de dólares cada año. (Johnson et al. 2011).

Reportes realizados por Opel et al. (2017), nos indican que los bienes y servicios que proveen los arrecifes coralinos generan cerca de unos US\$30 billones de dólares al año a la economía mundial, incluyendo al turismo, pesquerías y protección costera. Estos mismos autores mencionan que debido a la tendencia

actual que existe en la degradación de arrecifes, los ingresos disminuirán, en muchos casos hasta el 75%, por tanto, se estima la pérdida de alrededor de US\$ 109.0 millones de dólares en el Caribe debido al incremento de la temperatura en la superficie del mar, aumento en el nivel del mar, pérdida de especies entre otros factores por efectos del cambio climático.

A nivel global los ingresos que aportan los arrecifes de coral, por tanto, las prácticas de restauración de los mismos en sitios degradados permiten revitalizar estos ecosistemas y preservar sus recursos, así como el turismo y los beneficios ecosistémicos que estos aportan. Los expertos mantienen que un tercio de todos los corales constructores de arrecifes están en riesgo de extinción (Carpenter et al. 2008). Por milenios, las comunidades arrecifales se adaptaron a muchas presiones naturales, tales como los huracanes, cuyos daños vienen seguidos por procesos de recuperación, pero ahora se han sumado una gran variedad de presiones humanas directas e indirectas. Según Burke y Maidens (2005), estas presiones pueden conducir al estrés agudo o crónico de los ecosistemas, lo que resulta en descomposición y pérdida de las comunidades de corales o en cambios más sutiles en la estructura de los ecosistemas.

Los arrecifes panameños, considerados como deteriorados, desde hace algunos años, requieren el monitoreo permanente de vastas regiones que involucren condiciones ecológicas diferentes y que de esta manera contemplen los hábitats

disponibles para las especies arrecifales, con el fin de determinar los cambios en su composición, así como los riesgos a la permanencia a los que son expuestos. (Guzmán et al. 2004). Un declive global significativo en la abundancia de coral se ha producido en las últimas décadas en respuesta a muchas perturbaciones antropogénicas y ambientales, tales como el desarrollo costero, sedimentación, especies invasoras, tormentas, altas temperaturas del mar, enfermedades, contaminación, pesca excesiva y la eutrofización (Hughes et al. 2003; Grimsditch y Salm 2006).

En Panamá, se está estableciendo una ley para la conservación, uso y manejo sostenible de arrecifes de coral y ecosistemas asociados, la cual al ser aprobada, tendrá como objetivo proteger, conservar, restaurar, prevenir la contaminación y rehabilitar los ecosistemas de arrecifes de coral, además de otras especies y ecosistemas asociados a los arrecifes, tales como humedales, pastos marinos, así como establecer todas las acciones y medidas necesarias para asegurar la conservación y resiliencia de los ecosistemas coralinos (CIAM, 2021).

El proceso de recuperación natural de estos ecosistemas es muy lento y difícil, especialmente en las condiciones ambientales y de estrés a los que están sometidos actualmente tales como: un aumento en la temperatura del mar, cambios en la acidez del agua de mar y presencia de muchos sedimentos que provocan eutrofización en el ecosistema. Las macroalgas y esponjas incrustantes han

recubierto casi todos los sectores muertos de los arrecifes, haciendo que el asentamiento de nuevas colonias de coral sea más difícil (Díaz-Pulido et al. 2004). Cuando los arrecifes son saludables y no están estresados, pueden a menudo recuperarse rápidamente, algunas veces entre cinco a diez años (Edward & Gómez 2007). Dichos autores describen estos arrecifes como “resilientes”, en cuanto a que “regresan” a un estado similar al estado pre-disturbio después del impacto. A diferencia, los arrecifes que ya se encuentran perturbados por las actividades humanas, a menudo muestran una pobre habilidad para recuperarse (por ejemplo, carecen de resiliencia).

En aguas tropicales someras, esqueletos de carbonatos de calcio de corales pétreos contribuyen a la formación de arrecifes coralinos que alberga uno de los ecosistemas más diversos de nuestros océanos (Alvarez-Filip et al., 2009; Spalding et al. 2001), sin embargo, están siendo impactados mundialmente por una combinación de estresores locales y globales, incluyendo la sobrepesca, el cambio climático que ha llevado a blanqueamientos coralinos, eutrofización y enfermedades (Alvarez-Filip et al. 2009; Hugues et al. 2003). Los arrecifes de coral caribeños representan sólo el 7 % del área total de los arrecifes de coral a nivel mundial (Burke et al., 2005).

A finales de los años 1970's hasta principios de los 1980's en el Caribe, la enfermedad de banda blanca afectó a las especies *Acropora cervicornis* y *Acropora*

palmeta; disminuyendo un 95% de la cobertura de estas poblaciones, siendo éstas los mayores formadores de arrecifes (Schutte et al. 2010; Aronson y Precht, 2001; Thomas et al. 1998). En 1999, éstas especies aun no recuperaban su previa abundancia (Kojis y Quinn, 2001). En 2006, ambas especies fueron catalogadas como especies en peligro de extinción en el marco de la Ley de Especies Amenazadas de EE.UU.; luego en el 2008 éstas mismas se catalogaron en peligro crítico en la lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN, 2008).

Según Kojis y Quinn (2001) la degradación de arrecifes coralinos a nivel mundial ha promovido el desarrollo de varios métodos de restauración de corales, los cuales están siendo propuestos para promover su recuperación incluyendo las técnicas de inmersión de estructuras artificiales de diferentes tipos y materiales. Actualmente, las guarderías de corales “in situ” donde colonias de corales crecen (coral gardening) y luego son trasplantadas a arrecifes degradados es una de las técnicas de propagación y restauración de corales que se han venido realizando en los últimos años. (Epstein y Bak, 2016; Rinkevich, 2005; Soong y Chen, 2003; Rinkevich y Shafir, 1998).

Países como: Belice, Islas Vírgenes Británicas, Curazao, República Dominicana, Guadalupe, Honduras, Jamaica, México, Puerto Rico, Islas Turcas y Caicos, Cayos de Florida en Estados Unidos han revelado éxito en está actividades relacionadas

a la restauración de arrecifes coralinos con especies del género *Acropora spp*, (Young et al. 2012).

La mitigación para la degradación de los arrecifes coralinos en el Caribe ha llevado al desarrollo de conceptos y técnicas para su rehabilitación y restauración, incluyendo las técnicas de inmersión de estructuras artificiales de diferentes tipos y materiales (Nedimyer et al. 2011; Jensen, 2002; Pickering et al. 1998). La metodología de “jardinería de coral” se ha aplicado con éxito a diferentes escalas a lo largo del Caribe, esta consiste en que las colonias de coral o fragmentos se cultivan en viveros bajo el agua que luego son trasplantados a arrecifes degradados (O'Donnell et al. 2017; Young et al. 2012; Lirman et al. 2010; Bowden-kerby, 2001). Según Young et al. 2012, USA, México y otros 10 países del Caribe, actualmente están desarrollando estas metodologías exitosamente.

La especie más utilizada en esta práctica es *Acropora cervicornis* (coral cuerno de ciervo), debido a que estas especies son propensas a la fragmentación, tienen una tasa de crecimiento rápida y muestran la habilidad de crecer en sustratos inestables (Young et al. 2012; Johnson et al. 2011; Shafir et al. 2006; Bowden-Kerby, 2001). Según Jackson (1992) El género de coral *Acropora* es un importante componente de los arrecifes someros de Florida y el Caribe. En la década de 1980, estos corales de rápido crecimiento formaban densos parches tridimensionales entre los 5-20 m de profundidad, contribuyendo de manera significativa al crecimiento de los

arrecifes, formación de islas, protección de la costa, y al hábitat pesquero (Shinn 1966; Bruckner 2002).

La tridimensionalidad que brinda *A. cervicornis* provee un hábitat importante que sirve como refugio para los peces y otras especies de invertebrados (Young et al. 2012). Para la creación de las guarderías, se utilizan fragmentos donantes silvestres de manera que rápidamente producen nuevas colonias, luego para el restablecimiento se extraen fragmentos que provienen de estas mismas guarderías ya establecidas (O'Donnell et al. 2017; Johnson et al. 2011; Lirman et al., 2010; Bowden-Kerby, 2001). Reportes de O'Donnell et al. (2017), Drury y Lirman (2017) y Rinkevich (2014), hablan del éxito y crecimiento de las guarderías y restauración de las colonias de *A. cervicornis*. A su vez otros estudios realizados por Opel et al. (2017) hablan de cómo esta actividad está ayudando a restaurar la comunidad de peces arrecifales.

En Panamá, desde la perspectiva de conservación de corales, se han estado realizando proyectos como los de Smithsonian Tropical Research Institute utilizando la metodología de “Biorock Reef” para restaurar arrecifes y que también tiene como objetivo restaurar pasto marino y manglares en la zona de los laboratorios marinos de Punta Galeta (Goreau, 2017), por lo demás, la aplicación de la tecnología de jardines de coral se trabajó por primera vez a partir de esta investigación y en

específico con la especie *Acropora cervicornis* utilizando como base estudios en otros países en la región.

OBJETIVOS

Objetivo General

Comparar la eficiencia de dos estructuras de jardín de corales en el crecimiento de la especie *Acropora Cervicornis* en Bahía de Huertas, Parque Nacional Portobelo, Colón Panamá.

Objetivos Específicos

- Determinar la eficiencia de dos tipos de estructura de jardín de coral en el crecimiento de fragmentos con la especie *A. cervicornis*.
- Evaluar la tasa de crecimiento de la especie *A. cervicornis* en ambas estructuras a través de la medición del crecimiento lineal y extensión del tejido.
- Establecer la influencia producida por los factores físico-químico en la tasa de crecimiento y ramificación de *A. cervicornis*.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Área Geográfica de estudio

El área de estudio se encuentra localizada en el distrito de Portobelo, provincia de Colón, República de Panamá. La provincia de Colón limita al norte con el Mar Caribe, al sur con las provincias de Panamá y Coclé, al este con la Comarca Guna Yala y al oeste con la provincia de Veraguas. El proyecto se llevará a cabo específicamente en el área conocida como Bahía de Huertas, cuyas coordenadas geográficas son N 9° 33' 40.414" y W 79° 41' 4.67", en el distrito de Portobelo, dentro del área marina del Parque Nacional Portobelo (ver figura 1).

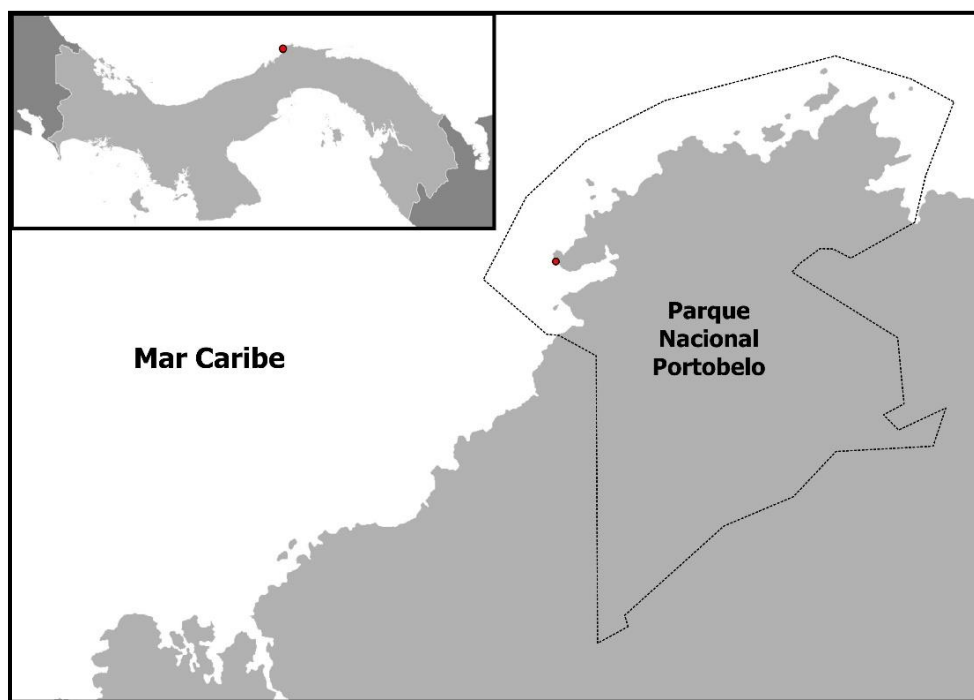


Figura 1. Área de estudio. El punto rojo señala la localización de la guardería de coral en la zona de Bahía de Huertas, dentro del Parque Nacional Portobelo.

El estudio se llevó a cabo dentro del Parque Nacional Portobelo, creado en el año 1976 bajo el decreto 91 del 22 de diciembre, siendo el primer Parque Nacional del litoral del Caribe. Está ubicado al noroeste de la ciudad de Colón, en el distrito de Portobelo y es un área destinada a la protección de la naturaleza y de los monumentos históricos de interés cultural y turístico que comprende una amplia gama de ecosistemas, tanto dentro del medio marino, como del terrestre. Este abarca territorios de los corregimientos de Cacique, Garrote o Puerto Lindo, Isla Grande y el corregimiento cabecero de Portobelo (Panamá América, 2000).

2.2 Construcción de las estructuras

En total se construyeron cuatro estructuras para guarderías, que equivalen a dos unidades para el crecimiento de las colonias; dos estructuras son de tipo tendedero horizontal (Estructura C, Estructura D) (Mercado M. A. et al. 2013) y dos de tipo vivero fijo (Estructura A, Estructura B (Johnson, M. et al. 2011) (Ruiz. H.J. et al., 2012). Cada una de estas guarderías tienen una separación al menos de dos metros entre ellas (Mercado M. A. et al., 2013), con 20 fragmentos de *Acropora cervicornis*, cada una, dando un total de 80 fragmentos que se cultivaron. Para ambas metodologías, las estructuras fueron construidas con tubos de PVC, lo que les brinda mayor durabilidad a la estructura y reduce la interacción de los corales con los depredadores así como el riesgo a adquirir enfermedades (Edwards, 2010), ya que el material tiene un periodo de vida más largo que la de los metales, que son

corroídos por el agua salada. Ambos tipos de estructuras se colocaron en el lado derecho de la Bahía Huertas (ver figura 2).



Figura 2. Ubicación de las cuatro estructuras de jardines de coral dentro de Bahía Huertas.

La construcción de las estructuras se ejecutó fuera del agua y el traslado de estas se llevó a cabo mediante el uso de una embarcación de 25-27 pies con motores fuera de borda, caballaje de 45-80 (ver figura 3).



Figura 3. Transporte de las estructuras hacia Bahía Huertas.

2.2.1 Descripción del tipo de estructuras de fragmentos de coral:

- Tipo tendadero horizontal: consiste en una estructura de PVC de 1 ½", con cuatro tubos de soporte del mismo material enclavados en el fondo arenoso y apoyadas a bloques de concretos (6" x 18"). Cada unidad mide en total 200 cm de largo x 110 cm de ancho, con forma de rectángulo, elevado sobre el fondo a 50 cm (ver Figura 3). En su interior posee cinco filas de hilo de nylon, que están separadas a una distancia de 40 cm, cada una de estas, sujetando de forma colgada cuatro fragmentos con separación de 27.5 cm (ver Figura 3), para evitar que las corrientes empujen los corales y choquen unos con otros, como también minimizar los posibles efectos de contacto como lo son la abrasión y la re-fragmentación de los fragmentos (Mercado M. A. *et al.*, 2013).

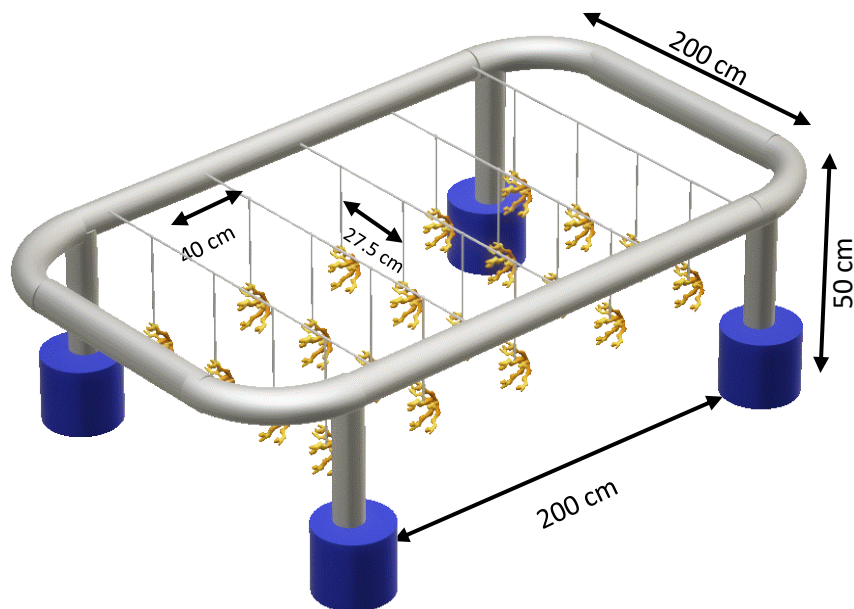


Figura 4. Estructura tipo tendedero.

- Tipo de vivero fijo: cada una de las estructuras miden en total 200 cm de largo x 110 cm de ancho, están conformadas por cinco filas de tubos de PVC de 2" separadas 40 cm una de otra, además de una columna la cual conecta las filas de tubos para evitar que se puedan caer en "efecto dominó"; están elevadas sobre el fondo a 50 cm y apoyadas a bloques de concreto (ver Figura 4). Cada una de estas filas poseen cuatro agujeros con una distancia de 27.5 cm donde están insertadas piezas de tubos de PVC de 1 x 3/4" en forma vertical, los cuales sostienen pequeñas bases de concreto como una imagen de pedestales, amarrados mediante hilos de nylon, donde permanecen fijados los fragmentos de los corales, debido a que según Edwards et al. (2010), es uno de los sustratos más económicos y viables para la fijación y supervivencia de corales duros con diferentes tipos de crecimiento en guarderías a media agua. (Ver Figura 5)

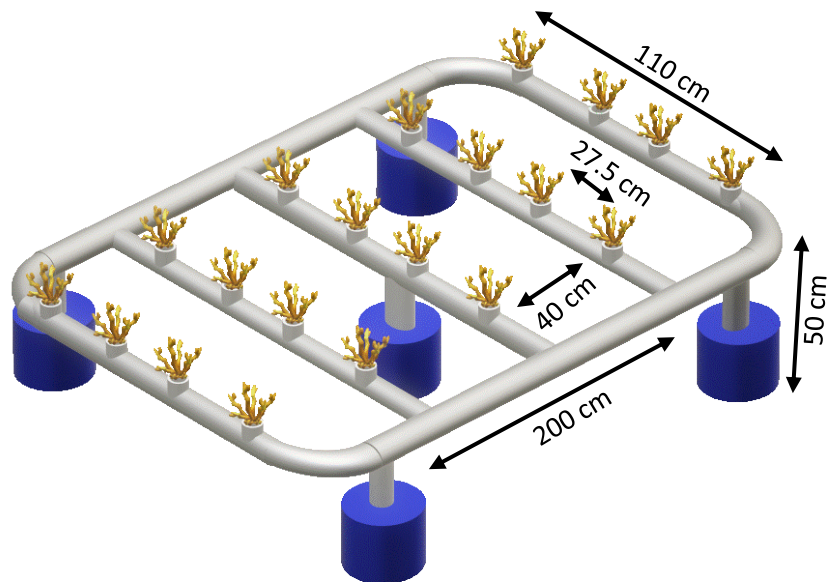


Figura 5. Estructura tipo fijo.

2.3 Recolecta de fragmentos iniciales de *A. cervicornis*.

Los fragmentos se escogieron de dos zonas con características geomorfológicas diferentes; una colonia en la zona de Pared de Huertas en donde el arrecife tiene forma de canal y otra en la zona de Buenaventura, en donde la colonia se encontró al borde de una pared arrecifal. En ambas zonas se tomó en cuenta que fueran colonias saludables en el ambiente natural con características como lo abundancia, tamaño, color y grosor (Mercado M. A. et al. 2013), además de la condición de tejido adecuada, la ausencia de blanqueamiento y la ausencia de competidores como algas, esponjas, corales y/o mileporidos. (Zárate et al. 2019).

Las actividades de colecta y siembra fueron realizadas por un grupo de cuatro personas, cada uno utilizando un equipo de buceo autónomo. Se realizó la extracción procurando producir el menor impacto en la colonia parental y en el fragmento a colectar, se utilizaron colonias de corales que tenían ramificaciones de alrededor de unos 40 centímetros (o más) de largo desde la base hasta la punta, a esta se le extrajeron la cantidad de fragmentos que sean correspondientes dependiendo de su tamaño, el corte se hizo en la coyuntura de la rama principal y el fragmento deseado, utilizando de manera manual una pinza común. Los fragmentos colectados tienen una longitud de entre cinco a 10 centímetros (Johnson, M. et al. 2011).

2.4 Trasplante de los fragmentos hacia las estructuras

El transporte de los fragmentos se realizó fuera del agua evitando no sobrepasar los 30 minutos de traslado del lugar de la colonia parental hacia las guarderías. Los fragmentos se colocaron en cajas de plástico caladas, permitiendo la aireación y evitando que quedasen unos encima de otros, para que no ocurra efectos de abrasión y re-fragmentación. Fueron rociados con agua de mar en intervalos de 1-2 minutos y se colocaron en un lugar dentro del bote donde no estuvieran expuestos a la radiación solar de forma directa (Mercado M. A. et al. 2013).

2.5 Toma de datos del crecimiento de los fragmentos

Cada fragmento se etiquetó con una marca de plástico, con el número de individuo y de igual manera cada estructura estuvo marcada con un número específico para facilitar la colecta de los datos y el análisis de estos (Mercado M. A. et al. 2013). La toma de datos sobre el crecimiento se realizó 17 días luego de la colocación de los fragmentos de coral en las estructuras, posteriormente cada 15 días se procedió con el mantenimiento de las mismas, siguiendo el protocolo descrito por Edwards y Gómez (2007) donde mencionan que, en el esfuerzo y la inversión económica de la restauración coralina, las limpiezas periódicas funcionan como estrategia para maximizar las probabilidades de supervivencia de los fragmentos. El kit de limpieza consistía en cepillos de hebras gruesas para los tubos de PVC y cepillos de dientes para los fragmentos, removiendo algas, invertebrados pequeños, organismos coralívoros y sedimento acumulado, que deterioran la calidad del agua circundante o afectan el tejido vivo de los fragmentos de coral (Shafir et al. 2006).

Para la toma de datos de crecimiento y ramificación de los fragmentos se siguió el método implementado por Lirman (2016) que permite realizar una sumatoria total de tejido vivo por cada fragmento (ver Figura 6). Esta consistió en la toma de medidas del crecimiento lineal, la cual es la medida de la rama principal del fragmento y la extensión del tejido, esta es la medida de las ramificaciones que se generan a partir de la rama principal del fragmento, cada uno enumerados con etiquetas plásticas desde el inicio del estudio, (Johnson, 2011; Mercado et al., 2013).

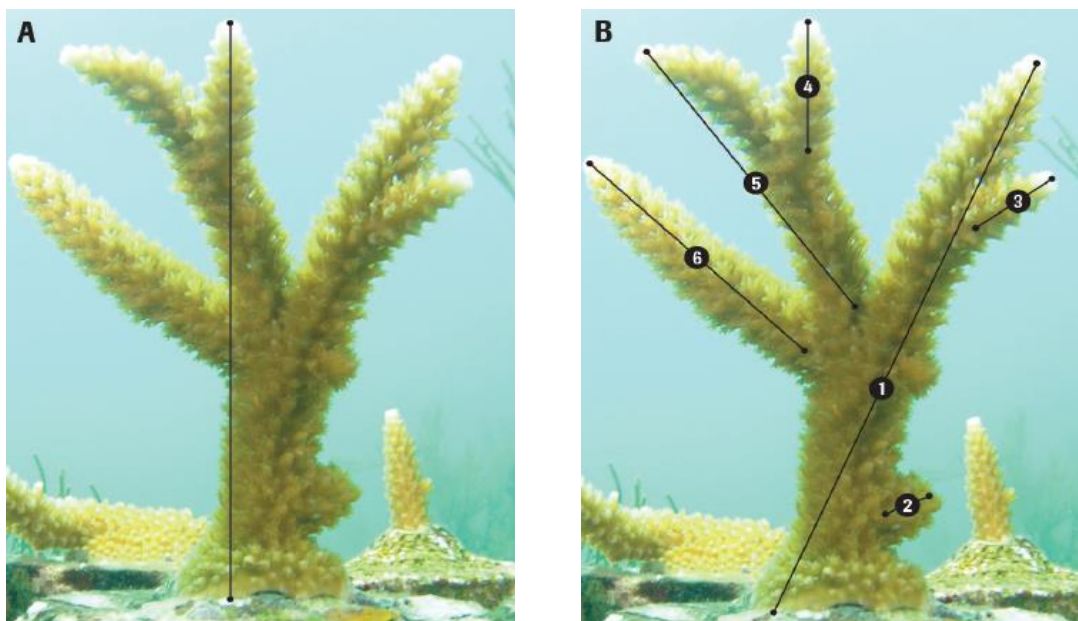


Figura 6. Medidas de fragmentos de vivero, crecimiento lineal y extensión de tejido. La imagen A está diagramando la medida de crecimiento lineal (altura máxima). La imagen B está diagramando la medida de extensión total de tejido, todas las medidas 1-6 fueron sumadas para obtener un total de tejido vivo para el fragmento (Lirman, 2016).

2.6 Toma de datos de los parámetros físico-químicos en la zona de estudio.

Para la toma de los parámetros físico-químicos se empleó una sonda multiparamétrica YSI Pro Plus Meter que mide los parámetros de temperatura, salinidad, conductividad, TDS, porcentaje de oxígeno y pH. Además de un profundímetro para la determinación de la profundidad de las estructuras y el aumento del nivel del mar por temporada para obtener información sobre si durante

el tiempo de estudio, los fragmentos se desenvuelven en un ambiente estándar a los arrecifes de la zona, aun con los cambios en los niveles de profundidad.

2.7 Observación de especies asociadas a los arrecifes de corales en las estructuras.

La observación de las especies asociadas a las estructuras de guardería de corales se realizó mediante registros fotográficos y posterior identificación de claves taxonómicas de las especies, utilizando el Registro Mundial de Especies Marinas (WORMS), esto nos permite determinar si estas especies asociadas resultan beneficiosas o dañinas para el desarrollo y crecimiento de los fragmentos de coral en las estructuras, como los caracoles coralívoros, gusanos de fuego y peces damisela (Zárate et al. 2019).

CAPÍTULO III. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 Análisis del crecimiento lineal y extensión de tejido de los fragmentos.

Se sembraron un total de 80 fragmentos de coral, lo que representa un estimado de 9.71 metros de coral en Bahía Huertas. Posterior a los 9 meses de estudio se estimó un total de 15.3 metros de coral totalmente nuevo (1525.6 cm), lo que nos da a entender que probablemente la zona escogida para las guarderías de corales presenta condiciones óptimas para este tipo de actividad llevada hacia una posterior restauración de arrecifes de coral. (Ver figura 7). Nuestros datos concuerdan con el estudio realizado por Zárate et al. (2019) en Colombia, donde el mayor crecimiento de fragmentos en promedio fue de 13 cm, tal como lo presenta por un fragmento de coral proveniente de Pared de Huertas, en la estructura tipo tendadero.

Como se puede ver en la figura 7 y 8, los fragmentos de la estructura de tipo tendadero tuvieron un crecimiento constante, ascendiente y muy diferencial a lo largo de los meses en comparación con los fragmentos de tipo fijo. Cabe resaltar que de los 15.3 metros de coral totalmente nuevo que se desarrolló dentro de las estructuras con el pasar del tiempo, tan solo el 4.6 % pertenecían a los fragmentos de la estructura tipo fijo, mientras que el 95.4 % pertenecían a la estructura tipo tendadero.

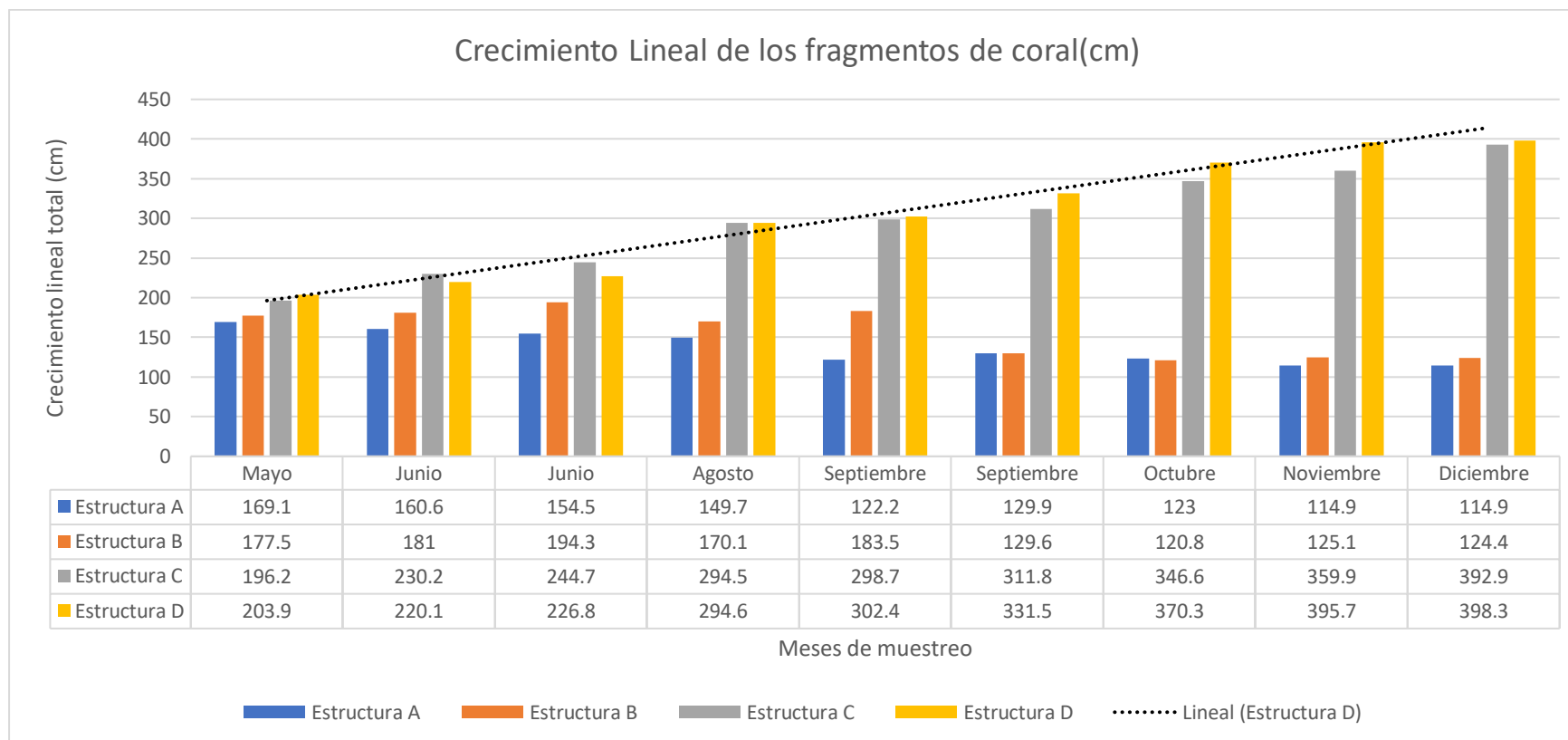


Figura 7. Crecimiento lineal total de fragmentos de *A. cervicornis* en ambos tipos de estructuras durante los meses de mayo hasta diciembre del año 2021. Las estructuras A y B son del tipo fijo, mientras que las estructuras C y D son del tipo tendadero. En el cuadro de los meses de muestreo se representa la sumatoria del crecimiento lineal de dicha salida.

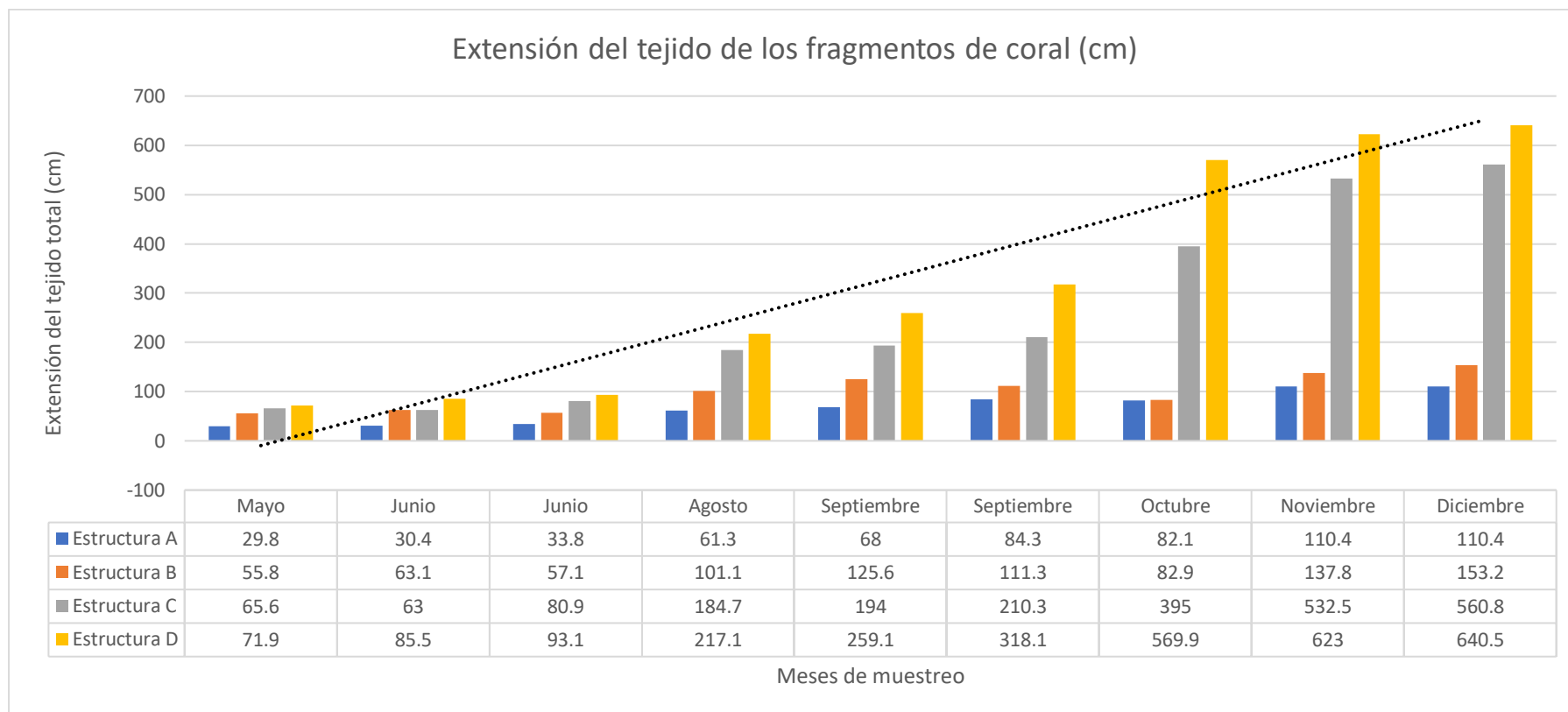


Figura 8. Extensión del tejido total de los fragmentos de *A. cervicornis* en ambos tipos de estructuras durante los meses de mayo hasta diciembre del año 2021. Las estructuras A y B son del tipo fijo, mientras que las estructuras C y D son del tipo tendadero. En el cuadro de los meses de muestreo se representa la sumatoria de la extensión del tejido de dicha salida.

El promedio de crecimiento de los fragmentos de *A. cervicornis* en la estructura tipo fijo fue de 3.1 cm por salida, mientras que el tipo tendadero tuvo un promedio de 12.1 cm por salida. (ver Figura 9).

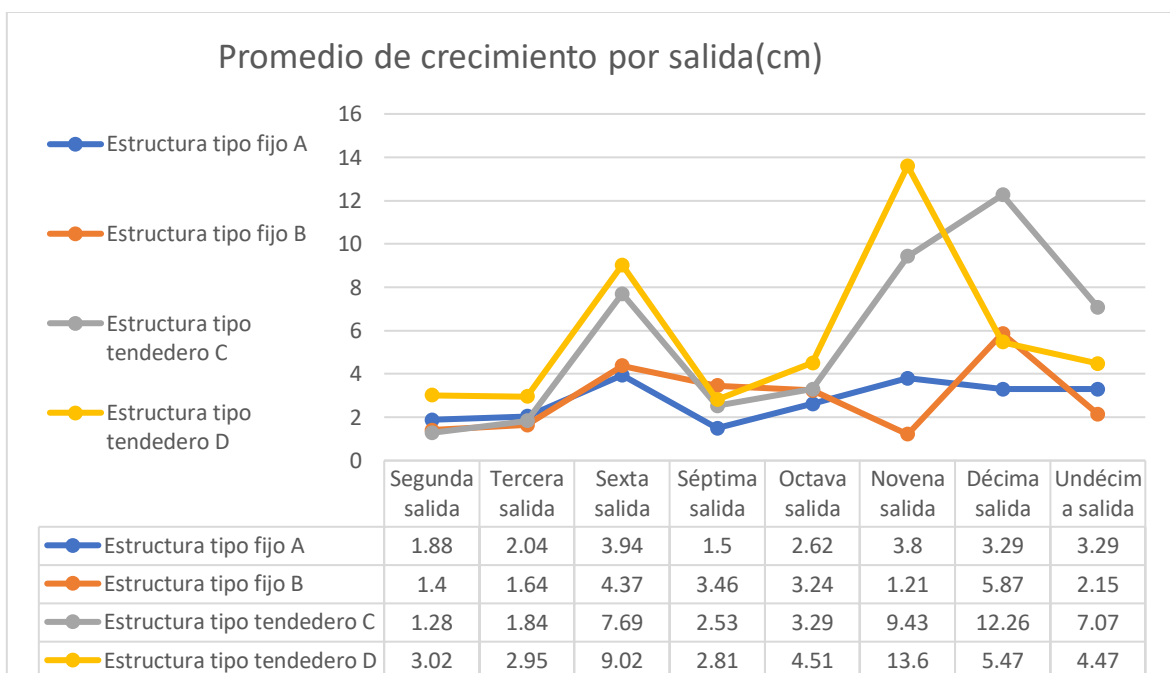


Figura 9. Promedio de crecimiento de los fragmentos de *A. cervicornis* de cada estructura por salida.

De los 78 fragmentos en total, se estimaron 18 fragmentos con palidez o blanqueamiento que los llevaron posteriormente a sobrecrecimiento de algas y muerte de estos (ver Figura 10), cabe resaltar que 8 de estos fragmentos fueron tomados del arrecife de la zona de Pared de Huertas, los otros 10 pertenecían a la zona de Buenaventura (ver Figura 11).

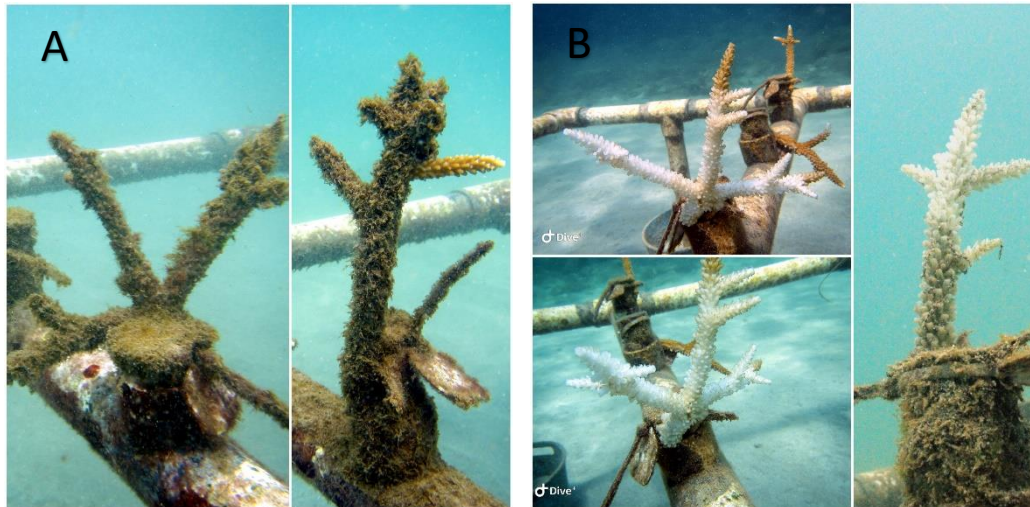


Figura 10. Imagen A muestra el sobrecrecimiento algal. Imagen B muestra palidez de los fragmentos de coral con crecimiento en las estructuras de tipo fijo.

Todos estos fragmentos con palidez y sobrecrecimiento algal se encontraban ubicados en las estructuras de tipo fijo. En comparación con la estructura de tipo tendadero, en donde no se presentó pérdida de ningún fragmento de coral con palidez o sobrecrecimiento de algas. Independientemente del tipo de estructura, la presencia de palidez y sobrecrecimiento algal que lleva consigo al blanqueamiento de los fragmentos de coral, representó un 14% de todos los fragmentos sembrados.

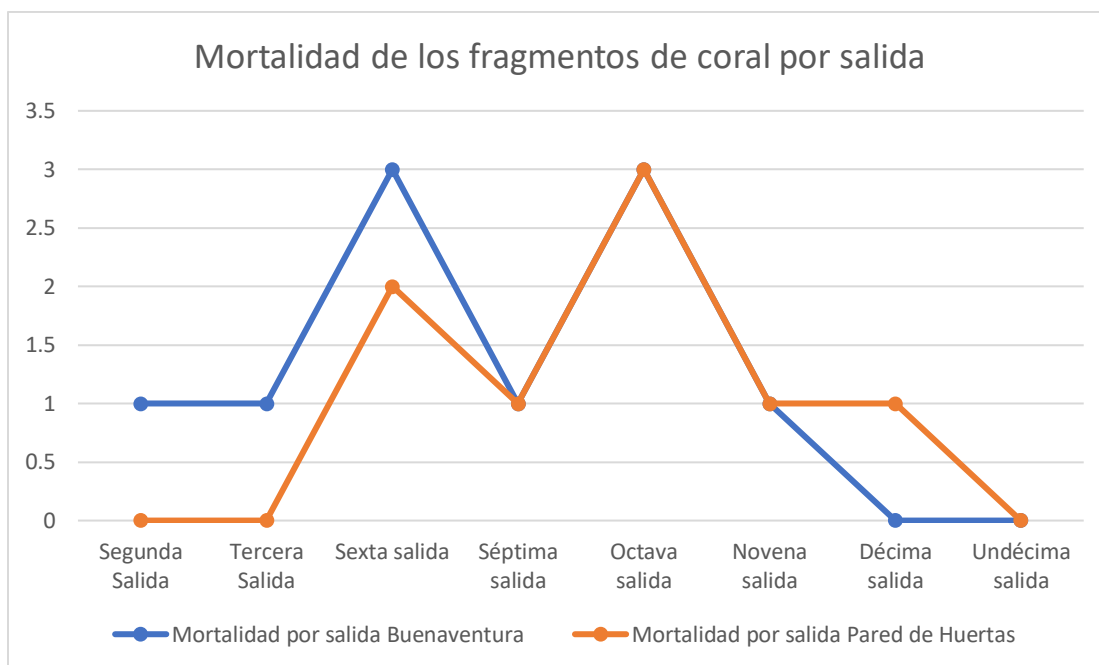


Figura 11. Mortalidad de los fragmentos del área de Buenaventura y Pared de Huertas durante las salidas.

En los fragmentos de coral provenientes del arrecife de Buenaventura se encontraron algas incrustantes del género *Porolithon* la cual se creen o se supone están asociadas de una manera simbiótica al acropora cervicornis y se mantuvieron con los fragmentos durante el transporte desde su lugar de origen hacia las estructuras, provocando una posterior afectación en algunos fragmentos de coral (ver Figura 12). Esta observación encontrada, se compara con lo mencionado por Rinkevich (2000), quien sostuvo que el crecimiento no depende únicamente de cambios en el ambiente, sino también de características genéticas, por lo que en un futuro deben hacerse un estudio con más enfoque en el área genética y morfológica de estos fragmentos, además de un estudio en el volumen ecológico, puesto que ofrece mayor información sobre las colonias.



Figura 12. Algas incrustantes en los fragmentos de corales extraídos de Buenaventura.

3.2 Análisis de los parámetros fisicoquímicos.

En la zona de estudio se determinaron 7 parámetros fisicoquímicos que nos permiten conocer el estado de la columna de agua en donde se colocaron las estructuras de estudio. Dentro de los factores fisicoquímicos no se obtuvieron cambios drásticos en la columna de agua asociados a estos parámetros fisicoquímicos. En cuanto a la temperatura se registró una temperatura promedio de 29°C, la cual está considerada dentro del rango óptimo en la que la especie crece y se reproduce. Esta temperatura promedio concuerda con los datos obtenidos según las fichas de especies prioritarias de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2011). (ver Figura 13).

Para el parámetro de oxígeno disuelto, su promedio fue de 4.5 mg/l el cual fue considerado adecuado para el desarrollo de los arrecifes de coral. El rango adecuado está entre los 6 a 9 mg/l lo que no concuerda con nuestros resultados ya que se encuentra un poco por debajo de lo determinado por Herlan y Lirman (2008). La salinidad promedio de nuestro estudio fue de 36 ppm y es considerada un valor normal para la zona del caribe y adecuada para el desarrollo de los corales. (Ver Cuadro 1).

Valores promedios de los parámetros oceanográficos	
Temperatura (°C)	29.23666667
Conductividad (mS/cm)	55.15333333
TDS(g/l)	34.015
Salinidad	36.305
DO%	67.00666667
DO (mg/l)	4.456666667
pH	7.583333333

Cuadro 1. Valores promedios de los parámetros oceanográficos que se tomaron en la zona entre el mes de mayo y diciembre de 2019.

Cabe destacar que el mayor promedio de crecimiento que alcanzó un fragmento durante el estudio fue de 13.6 cm por salida en la estructura de tipo tendedero en el mes de octubre (ver figura 9), lo que probablemente esté relacionado con la conductividad y totales de sólidos disueltos en dicha columna de agua. En ese

monitoreo se alcanzó el mayor valor de conductividad que fue de 60.1 mS/cm y de sólidos totales disueltos que fue de 35.08 g/l. Se piensa que dicha cantidad de nutrientes y el comportamiento de la conductividad en este mes fueron los más óptimos para el desarrollo en el crecimiento de los fragmentos de coral. (Ver cuadro 1).

Para la temperatura, a pesar de que no se observaron cambios drásticos durante los monitoreos, si se mantuvo al límite más alto que se sugieren en otros estudios, pero que aun así, se encuentra entre los rangos óptimos en los que la especie puede sobrevivir, crecer y reproducirse. (Zárate et al. 2019)

En este estudio no se consideró la toma de datos de los rayos UVR, sin embargo, en la mayor parte de las salidas de campo se mantuvo un clima con una intensidad de luz aceptable y aguas transparentes, dando a entender que los fragmentos recibían calidad de rayos UVR. Torres, Armstrong, Corredor y Gilbes (2007) en un estudio realizado en La Perguera (Puerto Rico) mencionan que el crecimiento de los fragmentos se ve afectado por la intensidad UVR, ya que estos producen una disminución en la concentración de pigmentos fotosensibles y en el crecimiento, por lo cual es necesario que futuros trabajos lleven a cabo la evaluación de esta variable.

Las aguas del Mar Caribe dependen de estos parámetros oceanográficos en donde existen múltiples interacciones entre ellos, sin embargo, los más influyentes para el desarrollo de los corales fueron la salinidad, la temperatura y el oxígeno disuelto, por lo que se hizo énfasis en estos factores.

Durante la salida entre los meses de agosto y septiembre hubo una disminución en el porcentaje de oxígeno disuelto y un aumento en la salinidad, a diferencia de los meses anteriores y posteriores (ver Figura 13).

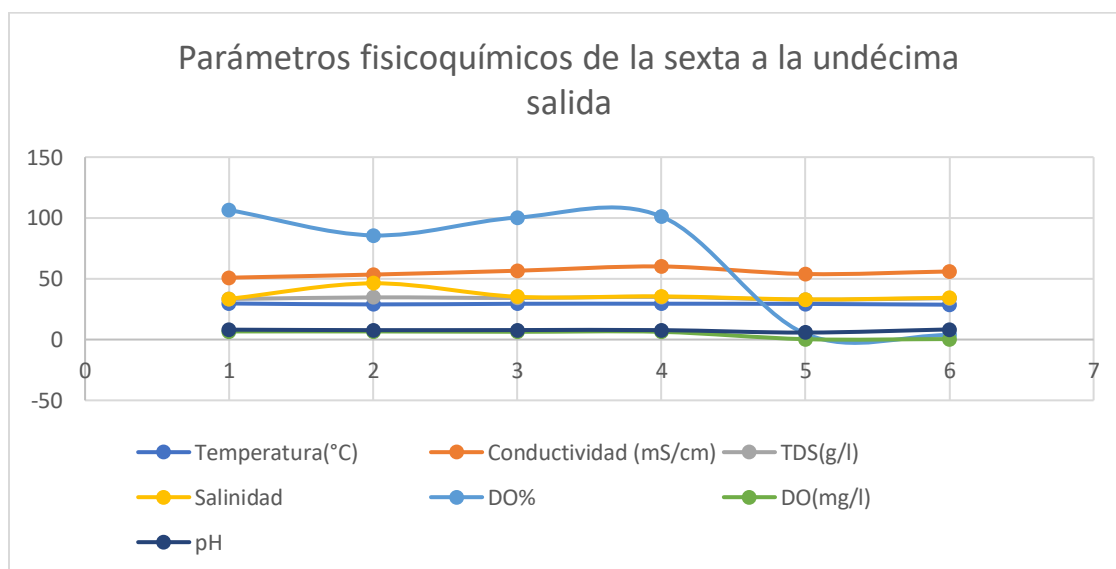


Figura 13. Gráfica de los parámetros fisicoquímicos de la sexta a la undécima salida. Estas corresponden a los meses entre agosto y diciembre de 2019.

Dicha disminución de oxígeno disuelto y aumento en la salinidad pudo haber afectado el crecimiento de los fragmentos de coral para ambos tipos de estructuras en el mes de septiembre, no obstante, para los meses de octubre y noviembre se

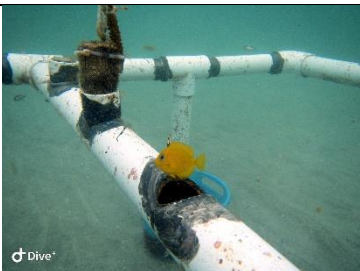
determinó una disminución abrupta del porcentaje de oxígeno disuelto en el área de estudio en un valor de DO 3.6 %, el cual pudo solo haber afectado a una de las estructuras de tipo tendadero, que pasó de un promedio de crecimiento de 13.6 cm a uno de 8.13 cm mensual (ver Figura 9), pero también, hay otros factores que no se tomaron en consideración en este estudio que pudieron haber afectado solo a esta estructura en ese momento, como lo son las corrientes y el grado de exposición al sol, como bien lo mencionan Zárate et al. (2019), son factores que inciden en el crecimiento de los fragmentos.

3.3 Estado y observación de especies asociadas.

El sobrecrecimiento algal detectado sobre ambos tipos de estructuras en estudio (tipo tendadero y tipo fijo) se observó luego de 15 días de colocar las estructuras en la zona de estudio, al igual que en el estudio realizado por Zárate et al. (2019) en Colombia. Se presentó en mayor cantidad en la estructura de tipo fijo y por tanto también sobre los fragmentos de coral en estas estructuras, llevando consigo a presentar una palidez en los tejidos y probable blanqueamiento en algunos casos. Este proceso de crecimiento algal nos permitió determinar que las estructuras debían limpiarse cada 15 días, al igual que los fragmentos, lo que permitía la recuperación natural de los mismos y su crecimiento continuo.

Cabe destacar que previo a la colocación de las estructuras en la zona de estudio no se observaron especies asociadas ni en ictiofauna ni en invertebrados marinos. A los 15 días de instaladas las estructuras, se pudo identificar algunas especies en etapas juveniles asociadas a los fragmentos de coral. Esto nos permite indicar que los fragmentos colocados en las estructuras pueden ser un indicador del estado de conservación o de salud de una zona, ya que a medida que transcurrían los meses se observaba una mayor cantidad de individuos de diferentes especies de ictiofauna y de invertebrados marinos, como por ejemplo el camarón limpiador bandeado *Stenopus hispidus* (Olivier, 1811) los cuales son utilizados como “estaciones de limpieza” por otros peces para limpiarlos de parásitos y tejido muerto. A su vez, se encontraron navajones azules *Acanthurus coeruleus* (Bloch & Schneider, 1801) en estado juvenil, el cual pasan la mayor parte del tiempo en los arrecifes de coral (ver Figura 13).

Dentro de toda la literatura utilizada, no se considera el estudio de la ictiofauna asociada a los arrecifes en procesos de guarderías de coral, por lo tanto, la información derivada de este estudio es importante para evaluar que los procesos de restauración de guarderías de coral aportan la llegada de nuevas especies asociadas que contribuyen al incremento de peces en la zona.

Nombre común	Nombre científico	Foto
Camarón limpiador bandeado	<i>Stenopus hispidus</i>	 A cleaner shrimp with a red and white striped pattern is cleaning a diver's leg. The diver is wearing a yellow and black wetsuit. The background shows a sandy seabed and some coral.
Navajón azul juvenil	<i>Acanthurus coeruleus</i>	 A juvenile blue tang with a yellow head and a blue body is swimming near a white pipe. The background shows a sandy seabed and some coral.
Lenguado lunado	<i>Bothus maculiferus</i>	 A moon flatfish with a white body and a dark spot on its head is resting on the seabed. The background shows a sandy seabed and some coral.
Caballito de mar	<i>Hippocampus reidi</i>	 A seahorse with a dark body and a long, thin tail is swimming near a coral reef. The background shows a sandy seabed and some coral.
Mojarra trompetera	<i>Gerres cinereus</i>	 A trumpetfish with a silver body and a long, thin tail is swimming near a sandy seabed. The background shows a sandy seabed and some coral.

Cangrejo de coral cuerno de alce	<i>Domecia acanthophora</i>	
Pez Cirujano	<i>Acanthurus bahianus</i>	

Cuadro 2. Tabla de especies encontradas constantemente en las estructuras de corales a lo largo de los meses de estudio.

3.4 Comparación de la viabilidad entre las estructuras

Para comparar la viabilidad de las estructuras estudiadas se consideraron diferentes parámetros los cuales son: la depredación, el bajo costo y fácil acceso de configuración, la tasa de crecimiento, la acumulación de algas, su mantenimiento, su durabilidad con el pasar del tiempo y su facilidad de anclaje. Tomando en consideración estos parámetros podemos mencionar que, desde el punto de vista económico, la estructura tipo tendedero resultó ser la más viable en comparación a la estructura de tipo fijo, ya que se necesitaron menos materiales para su construcción y su posterior mantenimiento, concordando con el manual de Lirman (2016) donde se plantea la viabilidad más presente en las estructuras de tipo tendedero pro su bajo costo y acceso a los materiales.

Desde el punto de vista técnico o de manejo de las estructuras, la estructura de tipo fijo resultó ser un poco más cómoda a la hora de realizar la limpieza a los fragmentos, ya que al tener un sustrato fijo, la manipulación al fragmento era más sencilla en comparación con la del tipo tendadero, se debía tener en cuenta que estos fragmentos estaban suspendidos a un hilo de nylon el cual puede cortar, si no se tiene el cuidado adecuado.

Sin embargo, en la estructura de tipo tendadero observamos menos sobrecrecimiento algal que en la de tipo fijo, esto puede deberse a lo mencionado por Quinn y Kojis (2006) que en la estructura de tendadero utilizaba menos cantidad de PVC y ofrece un área mínima para la colonización algal.

Las líneas de nylon que sostenían los fragmentos, no daban tanto margen para que las algas pudieran asentarse sobre estas; en cambio en la estructura tipo se podía notar como el alga se esparcía alrededor de las bases de concreto en donde se colocaban los fragmentos de coral y necesitaban de un mantenimiento más constante. Además de eso, desde el punto de vista de la funcionabilidad de las estructuras, que es la de crecimiento de los fragmentos, la estructura tipo tendadero resultó ser la que mejor manejaba esta función, esta adquirió un promedio de crecimiento de 5.7 cm de tejido nuevo por salida y donde se obtuvo un porcentaje de supervivencia del 100%, en comparación con la estructura de tipo fijo, que fue

de 2.8 cm de tejido nuevo por salida y tuvo un porcentaje de supervivencia del 55%, representando una similitud a las observaciones obtenidos por Zárate et al. (2019) con sus estructuras flotantes con hilos de nylon, las cuales representan un incremento de manera significativa en la supervivencia y el crecimiento de los fragmentos, reduciendo la mortalidad ocasionada por la competencia de espacio y la depredación y/o colonización de organismos epibiontes.

Tipo de estructura	Estructura Tendedero	Estructura Fija
Depredación	Baja	Alta
Bajo costo y fácil de configurar	Sí	No
Tasa de Crecimiento	Mayor	Menor
Acumulación de macroalgas	Menor	Mayor
Mantenimiento	Bajo	Alto
De larga duración	Sí	Sí
Facilidad de anclaje	Mayor	Menor

Cuadro 3. Comparación de la viabilidad de las estructuras.

En relación con la viabilidad económica de cada estructura, las de tipo tendedero fueron más accesibles al igual que las estructuras de Zárate et al. (2019). Cabe

señalar que ambas estructuras utilizadas para este estudio fueron modificadas y no son originales de los autores mencionados anteriormente, aun así, no hubo tanta diferencia en comparación con la estructura de tipo fijo con respecto a los materiales que se necesitaban para su construcción y mantenimiento, ya que, además de conseguir estos materiales, también estaba el tema de la adhesión de los fragmentos a las estructuras, utilizando la mezcla del cemento hidráulico con sus respectivos materiales.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La estructura tipo tendedero fue la estructura más eficiente y viable dentro del estudio, con mejor tasa de supervivencia y crecimiento en comparación con la estructura de tipo fijo, donde sí presentó una mortalidad del 45%. En cambio, en la estructura tipo tendedero hubo una supervivencia del 100%, teniendo un mejor grado de efectividad para realizar proyectos de guarderías de coral en esta área.
- Las estructuras artificiales que se utilizaron generaron un impacto positivo en el área ya que atrajeron especies asociadas a los arrecifes y proporcionaron un área de interés turístico, debido a que las diferentes personas que realizaban inmersiones con Scuba Portobelo, también pudieron apreciar estas estructuras y presentar su interés por saber de ellas.
- El área de Bahía Huertas se consideró como óptima para realizar proyectos de guarderías de coral, ya que hubo una gran supervivencia de los fragmentos de coral, accesibilidad y zonas de arrecifes cercanas en donde pueden ser recuperados en caso de que sufran algún tipo de degradación en un futuro, por los impactos naturales o antropogénicos.
- Independientemente de que los parámetros oceanográficos se mantuvieron constantes a lo largo de los meses de trabajo, si se observó algunas relaciones significativas entre demanda de oxígeno disuelto, salinidad y

temperatura que probablemente sean factores que incidieron en el desarrollo máximo del crecimiento de los corales.

- La utilización de las guarderías de corales permite evitar la obtención de las colonias originales, dentro de los propios arrecifes, para restaurar otras zonas en particular, ya que, a partir de esas colonias, se pueden obtener la duplicidad de nuevos fragmentos fortalecidos que sí colaboren con el tema de restauración.

RECOMENDACIONES

- Realizar más estudios a lo largo de la costa del Parque Nacional Portobelo, para establecer un conocimiento sobre el estado de los arrecifes de coral y el estado de los ecosistemas que permitan realizar guarderías de corales en diversos puntos, considerando que es una zona óptima para su rendimiento.
- Enfatizar más acciones en educación ambiental, para concientizar a la población aledaña a la zona y a comunidades que dependen del Parque Nacional Portobelo y del ecosistema de arrecife de coral, en la parte socioeconómico-cultural y conservación de la zona, ya que hubo inconvenientes a la hora de que las personas iban y dañaban las estructuras sin saber la importancia que esto representa.
- Mejorar el diseño de las estructuras, para que se permita manejar una mayor cantidad de fragmentos y con ello un mayor rendimiento en el tema de obtener fragmentos para restaurar, ya que en enero del 2020 sufrieron un percance con una tormenta que las derribó y algunos de los corales quedaron dentro de la arena, haciendo que hubiera pérdida del tejido.
- Promover el trabajo colaborativo junto a entidades del estado que permitan la seguridad, no solamente del personal de investigación sino también a sus proyectos realizados en diferentes zonas establecidas de estudio.

CAPÍTULO V. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA Y EL ANEXO

BIBLIOGRAFÍA

- **Alvarez-Filip, L., Alvarez-Filip, L., Dulvy, N. K., Dulvy, N. K., Gill, J. a, Gill, J. a, ... Watkinson, A. R. (2009).** Flattening of Caribbean coral reefs: region-wide declines in architectural complexity. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1669), 3019–3025.
- **Aronson, R. B., & Precht, W. F. (2001).** White band diseases and the changing face of Caribbean coral reefs. *Hydrobiologia*, 460, 25–38.
- **Bowden-kerby, A. (2001).** Low-tech coral reef restoration methods modeled after fragmentation process. *Bulletin of Marine Science*, 69(April), 915–931.
- **Bruckner, A.W. (2002).** Taller de Procedimientos de la Acropora del Caribe: Aplicación Potencial de la Ley de Especies en Peligro de Extinción de EE.UU. como una estrategia de conservación. Memorando Técnico NOAA NMFS-OPR-24, Silver Spring, MD.
- **Burke, L y Maidens, J. (2005).** Arrecifes en Peligro del Caribe. Washinton D.C.: World Resources Institute.

- **Carpenter, K., M. Abrar, G. Aeby, et al. (2008).** Un tercio de los corales formadores de arrecifes enfrentan elevados riesgos de extinción por el cambio climático y los impactos locales. *Ciencia* 321:560-63.
- **CIAM (2021).** Anteproyecto de ley 196 “Protección integral de los ecosistemas de arrecifes coralinos, ecosistemas asociados asociados y especies asociadas”.
- **CONABIO (2011).** Fichas de especies prioritarias. Coral Cuerno de Alce y Coral Cuerno de Ciervo. México d. f.: conabio.
- **Collins, L.S. (1996).** Environmental changes in Caribbean shallow waters relative to the closing of the Central American Isthmus. In: J.B.C. Jackson, A.G. Budd and A.G. Coates (eds.) *Evolution and Environment in Tropical America*. pp. 130–167. The University of Chicago Press, Chicago.
- **Díaz-Pulido, G., J. Sánchez, S. Zea, J. Díaz y J. Garzón- Ferreira. (2004).** Esquemas de distribución espacial en la comunidad bentónica de arrecifes coralinos continentales y oceánicos del Caribe colombiano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias* 28 (108): 337-347.
- **Drury, C., & Lirman, D. (2017).** Making biodiversity work for coral reef restoration. *Biodiversity*, 18(1), 23–25.

- **Edwards, A. y E. Gómez. (2007).** Reef restoration: concepts and guidelines. Coral Reef Targeted Research & Capacity Building For Management, Santa Lucía, Australia. 38 p.
- **Edwards, A. (2010).** Reef rehabilitation manual. Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management. Santa Lucía, Australia. 166 p.
- **Epstein, N., & Bak, R. P. M. (2016).** Strategies for Gardening Denuded Coral Reef Areas: The Applicability of Using Different Types of Coral Material for Reef ... Strategies for Gardening Denuded Coral Reef Areas : The Applicability of Using Different Types of Coral Material for Reef Restoration, 9(November), 432–442.
- **Froese, R. and D. Pauly. Editors. (2021).** FishBase. *Acanthurus bahianus* Castelnau, 1855. Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=159578> on 2021-10-24
- **Froese, R. and D. Pauly. Editors. (2021).** FishBase. *Acanthurus coeruleus* Bloch & Schneider, 1801. Accessed through: World Register of Marine Species at:

<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=159581> on 2021-10-24

- **Froese, R. and D. Pauly. Editors. (2021).** FishBase. *Bothus maculiferus* (Poey, 1860). Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=274188> on 2021-10-24.
- **Froese, R. and D. Pauly. Editors. (2021).** FishBase. *Gerres cinereus* (Walbaum, 1792). Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=276954> on 2021-10-24.
- **Froese, R. and D. Pauly. Editors. (2021).** FishBase. *Hippocampus reidi* Ginsburg, 1933. Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=159446> on 2021-10-24.
- **Goreau-Arango. T. (2017).** Global Coral Reef Alliance. Recuperado de: <http://www.globalcoral.org/author/tgoreau/page/2/>.
- **Grimsditch, G.D. y R.V. Salm. (2006).** Resiliencia de los Arrecifes de Coral y resistencia al blanqueamiento. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, Gland, Suiza.

- **Guzman, H. M., Guevara, C. A. & Breedy, O., (2004).** Distribution, diversity, and conservation of coral reefs and coral communities in the largest marine protected area of Pacific Panama (Coiba Island). *Environmental Conservation*. 31, 111-121.
- **Hugues, T. P., Baird, H., Bellwood, D. R., Card, M., Connolly, S. R., Folke, C., ... Roughgarden, J. (2003).** Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs, 301(5634), 929–933.
- **Johnson, M.E., Lustic, C., Bartels, E., Baums, I., Gilliam, D.S., Larson, L. y Lirman, D... Schopmeyer, S. (2011).** Guía de Restauración de Acropora del Caribe. The Nature Conservancy.
- **Kojis, B. L., & Quinn, N. J. (2001).** The importance of regional differences in hard coral recruitment rates for determining the need for coral restoration. *Bulletin of Marine Science*, 69(2), 967–974.
- **Lirman, D., Thyberg, T., Herlan, J., Hill, C., Young-Lahiff, C., Schopmeyer, S., ... Drury, C. (2010).** Propagation of the threatened staghorn coral *Acropora cervicornis*: Methods to minimize the impacts of fragment collection and maximize production. *Coral Reefs*, 29(3), 729–735.

- **Lirman, Diego. (2016).** Manual de Restauración de Acropora. 10.13140/RG.2.1.3636.5680.
- **Miloslavich, P. y Klein, E. (2005).** Linking marine biodiversity research and conservation in the Caribbean, p. 3-18. *In* P. Miloslavich and E. Klein (eds.). Caribbean Marine Biodiversity: The Known and the Unknown. DEStech, Lancaster, Pennsylvania, U.S.A.
- **Moberg, F. y C. Folke. (1999).** Bienes y servicios ecológicos de los ecosistemas de arrecifes de coral. *Economía Ecológica* 29:215-33.
- **O'Donnell, K. E., Lohr, K. E., Bartels, E., & Patterson, J. T. (2017).** Evaluation of staghorn coral (*Acropora cervicornis*, Lamarck 1816) production techniques in an ocean-based nursery with consideration of coral genotype. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 487, 53–58.
- **Opel, A. H., Cavanaugh, C. M., Rotjan, R. D., & Nelson, J. P. (2017).** The effect of coral restoration on Caribbean reef fish communities. *Marine Biology*, 164(12).
- **Panamá América. (2000).** Portobelo riqueza natural y testimonio de glorias pasadas. <http://www.panamaamerica.com.pa/content/portobelo-riqueza-natural-y-testimonio-de-glorias-pasadas>.

- **Quinn, N. y B. Kojis. (2006).** Evaluating the potential of natural reproduction and artificial techniques to increase *Acropora cervicornis* populations at Discovery Bay, Jamaica. *Rev. Biol. Trop.*, 54: 105-116.
- **Reaka-Kudla, M.L. (1997).** Biodiversidad mundial de los arrecifes de coral: Una comparación con las selvas tropicales. In Reaka-Kudla, M.L., y D.E. Wilson, eds. *Biodiversidad II: La comprensión y la protección de nuestros recursos biológicos*. Joseph Henry Press.
- **Reaka-Kudla, M.L. (2001).** Biodiversidad conocida y desconocida, el riesgo de extinción y estrategia de conservación en el mar. *Aguas en peligro*, 19-33.
- **Rinkevich, B., & Shafir, S. (1998).** Ex situ culture of colonial marine ornamental invertebrates: Concepts for domestication. *Aquarium Sciences and Conservation*, 2(4), 237–250.
- **Rinkevich, B. (2000).** Steps towards the evaluation of coral reef restoration by using a small Branch fragments. *Marine Biology*, 136, 807-812.
- **Rinkevich, B. (2005).** Conservation of Coral Reefs through Active Restoration Measures: Recent Approaches and Last Decade Progress. *Environmental Science and Technology*, 39(12), 4333–4342.

- **Schutte, V. G. W., Selig, E. R., & Bruno, J. F. (2010).** Regional spatio-temporal trends in Caribbean coral reef benthic communities. *Marine Ecology Progress Series*, 402, 115–122.
- **Shafir, S., J. van Rijn y B. Rinkevich. (2006).** Steps in the construction of underwater coral nursery, an essential component in reef restoration acts. *Mar. Biol.*, 149: 679-687.
- **Soong, K., & Chen, T. an. (2003).** Coral transplantation: Regeneration and growth of *Acropora* fragments in a nursery. *Restoration Ecology*, 11(1), 62–71.
- **Spalding, M. D., Ravilious, C., & Green, E. P. (2001).** *World Atlas of Coral Reefs*. World (Vol. 44).
- **Stewart, H. L., Holbrook, S. J., Schmitt, R. J., & Brooks, A. J. (2006).** Symbiotic crabs maintain coral health by clearing sediments. *Coral Reefs*, 25(4), 609–615.

- **Thomas, J. G., James, C., Maya, G., Raymond, H., & Al, E. (1998).** Rapid Spread of Diseases in Caribbean Coral Reefs.pdf. Revista De Biología Tropical.
- **Veron, J.E., et al. (2009).** La crisis de los arrecifes de coral: La importancia crítica de <350ppm de CO₂. Boletín de Contaminación Marina 58:1428-36.
- **WoRMS (2021).** *Domecia acanthophora* (Desbonne in Desbonne & Schramm, 1867). Accessed at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=107424> on 2021-10-24.
- **WoRMS (2021).** *Stenopus hispidus* (Olivier, 1811). Accessed at: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=210370> on 2021-10-24.
- **Young, C., Schopmeyer, S., & Lirman, D. (2012).** A REVIEW OF REEF RESTORATION AND CORAL PROPAGATION USING THE THREATENED GENUS ACROPORA IN THE CARIBBEAN AND WESTERN ATLANTIC. Bulletin of Marine Science, 88(4), 1075–1098.
- **Zárate Arévalo J. C., Jáuregui Romero G. A., & Rojas Ruíz J. A. (2019).** Evaluación de morfotipos de coral *Acropora cervicornis* en guarderías

colgantes para restauración. Revista Mutis, 9(1), 9-19.

<https://doi.org/10.21789/22561498.1452>.

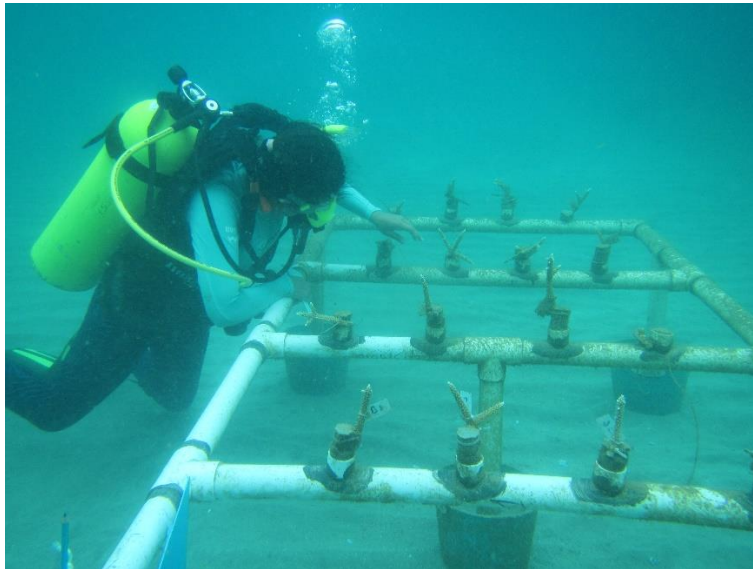
ANEXO



Anexo 1. Ensamblaje de las estructuras, días previos a la instalación bajo el agua.



Anexo 2. Estructura tipo tendedero instalada en el área de estudio



Anexo 3. Estructura tipo fijo instalada en el área de estudio



Anexo 4. Etiquetas de plástico colocadas en los fragmentos de coral de la estructura de tendedero.



Anexo 5. Etiquetas de plástico colocadas en los fragmentos de coral de la estructura tipo fijo.



Anexo 6. Toma de datos utilizando hojas impermeables.



Anexo 7. Limpieza de las estructuras utilizando cepillo con hebras gruesas.



Anexo 87. Limpieza de los fragmentos utilizando cepillos de dientes.



Anexo 98. Participación y/o capacitación a estudiantes voluntarios de la Universidad Marítima Internacional de Panamá durante los monitoreos.



Anexo 109. Comparación de la estructura de tipo tendedero en un año de crecimiento.