

**RESTAURACIÓN ECOLÓGICA MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE GUARDERÍAS
DE CORAL DE LAS ESPECIES *Acropora cervicornis* Y *Acropora palmata*, EN EL
ACUARIO Y MUSEO DEL MAR EL RODADERO, SANTA MARTA – COLOMBIA**

LUISA FERNANDA PINEDA MARTÍNEZ

**Trabajo Profesionalizante
para optar el título de Biólogo Marino**

**Tutor
GUIOMAR AMINTA JÁUREGUI ROMERO
Bióloga Marina M. Sc. Ciencias Ambientales**

**Supervisor
INGRID ORTIZ PARRA
Bióloga Marina – ProCTMM**

**Asesor
ANTHONY COMBATT
Biólogo Marino – Acuario y Museo del Mar El Rodadero**

**UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIA
PROGRAMA DE BIOLOGÍA MARINA
SANTA MARTA
2021**

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia, agradezco a mi familia por su apoyo y compañía en cada etapa de mi vida. A mis hermanos por la ayuda prestada en el desarrollo del trabajo de grado.

A la profesora Aminta por guiarme tanto en mis últimas etapas de la carrera como en la elaboración del trabajo de grado.

A Anthony Combatt por su apoyo durante el proceso de pasantía y permitirme hacer parte del desarrollo de diferentes actividades en el Acuario.

Al Acuario y Museo del Mar El Rodadero y la empresa Taxi marino, por brindarme la oportunidad de desarrollar mi trabajo de grado con ellos y la ayuda incondicional a lo largo del proceso.

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN JUSTIFICADA	10
2. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE	13
2.1. MARCO CONCEPTUAL	13
2.1.1. Agentes causantes de deterioro coralino	13
2.1.3. Restauración ecológica	18
2.1.4. Biología de las especies de estudio - <i>Acropora cervicornis</i> y <i>Acropora palmata</i> 24	
2.2. ANTECEDENTES	31
3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS	36
3.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	36
3.2. OBJETIVOS	37
3.2.1. Objetivo general	37
3.2.2. Objetivos específicos	37
4. METODOLOGÍA	37
4.1. ÁREA DE ESTUDIO	37
4.2. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR PARA INSTALACIÓN DE LAS GUARDERÍAS	39
4.3. FASE DE CAMPO	40
4.3.1. Diagnóstico de las guarderías de coral	40
4.3.2. Mantenimiento de las estructuras	43
4.3.3. Propagación asexual de corales	44
4.3.4. Diseño de guarderías de coral	45
4.4. FASE DE GABINETE	52
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
5.1. ESTADO DE LAS GUARDERÍAS TIPO ARBOLITO	53
5.1.1. Supervivencia	56
5.1.2. Estado de salud de los corales	58
5.1.3. Crecimiento	61
5.2. INSTALACIÓN DE GUARDERÍAS	65
6. CONCLUSIONES	69
7. RECOMENDACIONES	70

8.	BIBLIOGRAFÍA	86
9.	OTRAS ACTIVIDADES	72
9.1.	AVISTAMIENTO DE MAMÍFEROS MARINOS	72
10.	ANEXOS	92

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Enfermedades en corales Acropóridos.....	16
Figura 2. Vivero de árbol.....	21
Figura 3. Vivero de línea o “tendedero”	22
Figura 4. Vivero tipo bloque	22
Figura 5. Vivero de marco en forma de A.....	23
Figura 6. Vivero mesa de cuerdas	24
Figura 7. Patrón de zonación de <i>A. palmata</i> y <i>A. cervicornis</i> en un arrecife	25
Figura 8. Distribución regional de <i>Acropora spp.</i>	27
Figura 9. Colonia de <i>A. cervicornis</i>	28
Figura 10. Variaciones morfológicas en el patrón de ramificación de <i>A. palmata</i>	30
Figura 11. Ubicación del Acuario y Museo del Mar El Rodadero.....	38
Figura 12. Acuario y Museo del Mar El Rodadero	38
Figura 13. Área delimitada para la instalación de viveros.....	40
Figura 14. Condiciones de estrés en los corales.....	41
Figura 15. Diagrama de la medida de crecimiento lineal (altura máxima) en fragmentos de vivero de <i>Acropora cervicornis</i>	42
Figura 16. Registro del crecimiento lineal de las colonias <i>Acropora cervicornis</i>	43
Figura 17. Limpieza de guardería tipo “arbolito”; a) Antes y b) Después.	44
Figura 18. Fragmentación manual de una colonia donadora de <i>Acropora cervicornis</i>	45
Figura 19. Guarderías piloto tipo arbolito presentes en el Acuario y Museo del Mar El Rodadero.....	47
Figura 20. Esquema de guarderías vertical flotante tipo arbolito	48
Figura 21. Montaje de fragmentos de colonias donadoras de <i>Acropora cervicornis</i> en un vivero tipo arbolito.....	49
Figura 22. Esquema de la guardería colgante tipo “tendedero” implementada en el Acuario y Museo del Mar el Rodadero.	50
Figura 23. Construcción de guardería tipo tendedero.	51
Figura 24. Montaje de fragmentos en los viveros tipo tendedero.	52
Figura 25. Presencia de afectaciones en los corales.	61
Figura 26. Guardería vertical flotante tipo “Arbolito” (A) y el sistema de anclaje (B).	66
Figura 27. Guardería vertical flotante tipo “Tendedero”.	67
Figura 28. Sistemas de flotación (A) y anclaje (B) implementados en la guardería vertical flotante tipo “Tendedero”.....	67
Figura 29. Formato de toma de datos.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 30. Lugares de avistamiento de delfines.	¡Error! Marcador no definido.
Figura 31. Delfín <i>T. truncatus</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 32. Delfín nariz de botella (<i>T. truncatus</i>)	¡Error! Marcador no definido.
Figura 33. Delfín <i>S. bredanensis</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 34. Delfín de dientes rugosos (<i>S. bredanensis</i>).....	¡Error! Marcador no definido.

- Figura 35.** Hábitos comportamentales de delfines *T. truncatus*. **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 36.** Dos individuos de la especie *T. truncatus* (Forma falcada de las aletas dorsales y el cuerpo robusto). **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 37.** Grupo de delfines durante actividad de alimentación frente al Morro de Santa Marta. **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 38.** Individuos adultos de la especie *S. bredanensis*. **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 39.** Individuo de la especie *S. bredanensis*, interactuando con la embarcación, girando el cuerpo al desplazarse cerca de esta. **¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 40.** Delfín *S. bredanensis* llevando una bolsa plástica sobre una aleta pectoral. **¡Error! Marcador no definido.**

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Lista de guarderías tipo arbolito con las especies <i>Acropora cervicornis</i> y <i>Acropora palmata</i> , presentes en el Acuario y Museo del Mar el Rodadero.	55
Tabla 2. Porcentaje de supervivencia de los corales <i>Acropora cervicornis</i> y <i>Acropora palmata</i> presentes en las guarderías tipo arbolito.	57
Tabla 3. Estado de salud expresado en la frecuencia de ocurrencia (FO) de cada condición.	59
Tabla 4. Medidas del crecimiento lineal (cm) de las colonias de <i>Acropora cervicornis</i> presentes en las guarderías tipo arbolito del Acuario.	64
Tabla 5. Medidas del crecimiento (cm ²) de las colonias de <i>Acropora palmata</i> presentes en las guarderías tipo arbolito del Acuario.	65
Tabla 6. Registro fotográfico de los avistamientos de delfines en el área de Santa Marta.	¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN

Los ecosistemas de arrecifes de coral, son de gran importancia dada la productividad y diversidad que sostienen, al estar compuestos de una serie de biotopos y hábitats asociados, con elementos característicos de fauna y flora; a razón de esto, proveen diferentes bienes y servicios ambientales que benefician ciertos sectores económicos. Desafortunadamente, datos históricos han revelado un progresivo deterioro como consecuencia de tensiones naturales y antrópicas, que conllevan a la disminución de su cobertura, pérdida de capacidad de construcción, cambio de fase en la composición biológica con una proliferación y dominancia de algas, entre otros. En vista de esta problemática, se han diseñado e implementado medidas pasivas y activas para su recuperación, donde las últimas, implican una intervención directa como por ejemplo, a través de la inducción a la reproducción asexual, mediante fragmentación de colonias en buen estado, para la obtención de nuevas colonias con potencial para ser trasplantadas a formaciones coralinas degradadas en el marco de procesos de restauración ecológica. El presente estudio dio continuidad al mantenimiento de guarderías verticales tipo árbol y la construcción de viveros flotantes tipo tendedero, para la cría de fragmentos de coral de las especies *Acropora cervicornis* y *Acropora palmata* en el Acuario y Museo del Mar El Rodadero, obtenidos por propagación coralina mediante reproducción asexual (fragmentación) de colonias donadoras provenientes de corales de oportunidad, encontrados en las proximidades del área. A partir de los viveros tipo árbol, se realizó un diagnóstico inicial del estado de los corales, en términos de sobrevivencia, crecimiento y estado de salud, para posteriormente realizar los procesos de mantenimiento de las estructuras. Dadas las condiciones de deterioro en dos estructuras tipo árbol, se retiraron las colonias restantes y se volvieron a cultivar nuevos fragmentos de *A. cervicornis*, teniendo un total de 24 fragmentos en cada guardería; por otra parte, la construcción del vivero tipo tendedero brindó la posibilidad de realizar un cultivo masivo de fragmentos *A. cervicornis*, con una capacidad de 72 corales. Los resultados del diagnóstico de los viveros indicaron una alta sobrevivencia de las colonias, con un 80% en *A. cervicornis* y 90% en *A. palmata*, donde la mayor incidencia en la mortalidad y blanqueamiento, estuvieron atribuidos a la mortalidad por desprendimiento y recubrimiento de los corales por algas y demás competidores incrustantes, como respuesta a los eventos de mar de leva producidos por el huracán Iota en la región y a la falta de procedimientos o protocolos de mantenimiento de las estructuras. Se puede inferir del trabajo realizado, que la implementación de viveros verticales flotantes resultó ser una técnica eficiente para la propagación y crecimiento de corales, y como medida de bajo costo para su instalación en proyectos de restauración coralina.

PALABRAS CLAVE: coral, restauración coralina, fragmentación, guardería, porcentaje de sobrevivencia, crecimiento.

ABSTRACT

Coral reef ecosystems are of great importance given the productivity and diversity they sustain, as they are composed of a series of biotopes and habitats associated with characteristic elements of fauna and flora; Because of this and their physical structure, they provide different environmental goods and services that benefit certain economic sectors. Unfortunately, historical data have revealed a progressive deterioration as a consequence of natural and anthropic tensors, which will lead to a decrease in coral cover, loss of reef building capacity, phase change in the biological structure with proliferation and dominance of algae, among others. In view of this problem, passive and active measures have been designed and implemented for the recovery of these ecosystems, where the latter imply a direct intervention, such as through the induction of asexual reproduction through the fragmentation of colonies in good condition, to obtain new colonies with the potential to be transplanted to degraded reefs for restoration. The present study continued the maintenance of vertical tree-type nurseries and the construction of floating clothesline-type nurseries, for the breeding of coral fragments of the *Acropora cervicornis* and *Acropora palmata* species in the El Rodadero Sea Aquarium and Museum, obtained by coral propagation by asexual reproduction (fragmentation) of donor colonies from corals of opportunity. From the tree-type nurseries, an initial diagnosis of the state of the corals was made, in terms of survival, growth and health, to later carry out the maintenance processes of the structures. Given the deterioration conditions in two tree-like structures, the remaining colonies were removed and new fragments of *A. cervicornis* were grown again, with a total of 24 fragments in each nursery; On the other hand, the construction of the clothesline-type nursery offered the possibility of carrying out a massive culture of *A. cervicornis* fragments, with a capacity of 72 corals. The results of the diagnosis of the nurseries indicated a high survival of the colonies, with 80% in *A. cervicornis* and 90% in *A. palmata*, where the highest incidence in mortality and bleaching was attributed to mortality due to detachment and coating of corals due to algae and other encrusting competitors, in response to an event of high seas and the lack of maintenance of the structures. In conclusion, the implementation of floating vertical nurseries turned out to be an efficient technique for the propagation of corals, and as a low-cost measure for their installation in coral restoration projects.

KEY WORDS: coral, coral restoration, fragmentation, nursery, survival percentage, growth.

1. INTRODUCCIÓN JUSTIFICADA

Los arrecifes de coral son uno de los ecosistemas más diversos, productivos y complejos; aunque representan tan solo el 0.2% del área total de los océanos, logran albergar hasta 1/3 de las especies marinas conocidas, dentro de las que se encuentran peces, moluscos y crustáceos (Álvarez-Filip, 2015). Evidencian una configuración tridimensional construida por organismos vivos, como corales pétreos, duros o escleractíneos, y otros grupos biológicos también dominantes como algas, octocorales y esponjas (Franke-Ante *et al.*, 2014), los cuales brindan una serie de biotopos y hábitats asociados, con elementos característicos de fauna y flora, distribuidos en forma de mosaico, en respuesta a una serie de procesos geomorfológicos, hidrográficos y biológicos (Díaz *et al.*, 2000).

Este ecosistema provee diferentes bienes y servicios ambientales de gran importancia para sectores económicos como el pesquero, por albergar peces e invertebrados de gran valor comercial; el turismo, donde actualmente se ha aumentado el interés de los visitantes por conocer la diversidad y atractivo de los arrecifes de coral, favoreciendo así actividades como el buceo recreativo, entre otras; y el farmacéutico gracias a la capacidad de proporcionar materia prima con fines medicinales. Así mismo, funciona como un ecosistema costero fundamental para la protección de la erosión en la franja litoral marina al evitar el embate directo del oleaje, estructurándose como una barrera que reduce la fuerza y el efecto de la ola, disminuyendo así, desastres que puedan ocasionarse debido a tormentas, huracanes y demás. De igual manera, la diversidad biológica que sostiene, sirve como alimento de organismos superiores, siendo de gran relevancia en las redes alimentarias (Alva-Basurto y Arias-González, 2015).

A pesar de su valor, los arrecifes de coral han sufrido una degradación significativa debido a una combinación de factores naturales y antrópicos que han tenido grandes impactos a nivel espacial y temporal. Agentes como el cambio climático que han provocado un incremento en la frecuencia e intensidad de eventos ENOS (El niño Oscilación del Sur) y huracanes; la disminución en la concentración de pH y oxígeno disuelto, como aumentos en la temperatura, que limita significativamente la distribución de estos ecosistemas, en

combinación con aspectos antrópicos como el incremento del desarrollo costero, escorrentías con exceso de sedimentos o nutrientes (eutrofización), contaminación de aguas, actividades de buceo no responsable y la sobreexplotación pesquera, entre otras, las cuales propician la proliferación de algas y en consecuencia el desplazamiento de los corales en los arrecifes, junto al aumento en la cantidad de materia orgánica y bacterias provenientes de descargas residuales, que se relacionan ampliamente con enfermedades coralinas y pueden causar el blanqueamiento masivo de los corales y en casos severos, eventos de mortalidad (Mercado-Molina *et al.*, 2013).

A raíz de estos agentes desfavorables, se ha observado que históricamente los corales representaban cerca del 50% del sustrato en los arrecifes del mar Caribe, sin embargo, desde los años 70s, la cobertura de coral ha disminuido paulatinamente a valores entre 5 y 15%, inclusive el deterioro en las últimas décadas ha llegado a tal punto donde se considera que el 60% de estos ecosistemas en el mundo están amenazados, simbolizando una alta pérdida de su capacidad de construcción y por lo tanto, consecuencias negativas para las especies marinas asociadas; también se presenta una afectación en los bienes y servicios ecosistémicos, reflejado en los registros globales durante los últimos años a razón de las actividades antrópicas, por ejemplo, se ha advertido que la degradación arrecifal ha inducido a una rápida disminución en la abundancia de varias especies de peces, lo que se refleja en la pérdida de recursos pesqueros en las costas tropicales, afectando en consecuencia no solo la diversidad sino también el entorno económico y social (Álvarez-Filip, 2015; Alva-Basurto y Arias-González, 2015; Gómez-Cubillos *et al.*, 2015).

Con base a esta problemática y teniendo en cuenta la alta influencia que representan las zonas costeras en Colombia, por contar con 21 áreas coralinas de 3000 Km² en el Caribe, donde se alberga la mayor cantidad de especies de corales del país, y en el océano Pacífico con 15 km² (Díaz *et al.*, 2000); se adquirió el compromiso de rehabilitar y restaurar ecosistemas, mediante la formulación del Plan Nacional de Desarrollo - PND (2010 – 2014) y el Plan Nacional de Restauración – PNR, encaminado a priorizar áreas perturbadas para fines de restauración a nivel nacional, regional y local (Gómez-Cubillos *et al.*, 2015).

De acuerdo a esto, la restauración ecológica de los arrecifes de coral surge como una estrategia de manejo para mitigar parte de los impactos, así como ayudar a rehabilitar las funciones y servicios que proveen (Edwards y Gomez, 2007). Específicamente en la región del Caribe, las técnicas de restauración, cultivo y propagación de corales se implementaron por primera vez a inicios de los años 90s como respuesta a la continua y drástica degradación observada en arrecifes coralinos, debido a eventos de mortalidad masiva como fue el caso del erizo negro (*Diadema antillarum*) y de los corales acropóridos (*Acropora palmata* y *Acropora cervicornis*) hacia las décadas de 1970 y 1980, posterior a esto, los efectos negativos se siguieron presentado, evidenciando una disminución en la cobertura del género *Acropora* en un 90% aproximadamente, como resultado de múltiples agentes adversos, de manera tal, que varios sistemas arrecifales muestran un cambio de fase en las especies dominantes, pasando de los corales constructores de arrecife coralino a macroalgas, lo que conlleva a la pérdida de la estructura y complejidad del ecosistema (Galván *et al.*, 2019); por esta razón, el esfuerzo de restauración en el Caribe se ha centrado en este género específicamente las especies de coral *Acropora cervicornis* y *Acropora palmata*, dada su importancia como constructores en la parte somera del arrecife, y donde su alta tasa de crecimiento ha permitido la acumulación de esqueletos a través del tiempo, favoreciendo la formación de la estructura geológica (Franke-Ante *et al.*, 2014), además, presentan una fuerte asociación con los peces arrecifales, de manera que su reducción puede generar la pérdida de la función y estructura del ecosistema (Lirman, 1999), por consiguiente, se consideran objetivos clave para su conservación y en acciones de repoblamiento.

De esta forma, el presente estudio pretende dar continuidad al mantenimiento y construcción de guarderías de coral de las especies *Acropora cervicornis* y *Acropora palmata*, en el Acuario y Museo del Mar El Rodadero, las cuales actualmente no han tenido un monitoreo y mantenimiento continuo debido al evento de mar de leva presentado el año anterior (2020) que generó afectaciones en las guarderías construidas; esto con el fin de realizar la restauración ecológica del ecosistema coralino en la bahía Inca Inca y como parte de una iniciativa a largo plazo denominada *Banco de Biodiversidad Marina de la Bahía de Inca Inca*; a través de la propagación coralina por reproducción asexual (fragmentación de

colonias donadoras). El proyecto se llevará a cabo como Práctica Profesionalizante – Pasantía, requisito para optar al título de Bióloga Marina de la Universidad Jorge Tadeo Lozano, en el marco del Programa de Conservación de Tortugas y Mamíferos Marinos (ProCTMM).

2. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1. MARCO CONCEPTUAL

Ecología poblacional de organismos modulares: Los corales son organismos modulares, debido a que se conforman de módulos repetidos derivados por crecimiento vegetativo, que pueden variar tanto funcional como morfológicamente; en lo referente a la sobrevivencia y crecimiento, tienen la capacidad de sobrevivir en pequeños grupos cuando están aislados del resto de la colonia; desde el ámbito reproductivo, también se diferencian por presentar variación en el tamaño de edad de madurez sexual, el número de progenie por cada evento reproductivo y la proporción de sexos (Bérmudez, 2016), además de esto, puede reasignar sus recursos de manera rápida y eficiente, para destinarlos a las actividades que requieren y a la región de la colonia que lo necesita (SEMARNAT, 2018).

Arrecifes coralinos: Un arrecife coralino es un sistema de gran importancia ecológica debido a las interacciones que desarrolla y la alta productividad que sostiene. Los organismos que lo conforman son invertebrados marinos compuestos por colonias de pólipos de coral de diferentes especies, que por su capacidad de producir y acumular exoesqueletos de carbonato cálcico a través del tiempo, reciben el nombre de corales hermatípicos, y constituyen el elemento primario para la construcción de la estructura del arrecife, contribuyendo así al proceso de acreción y a la forma de la estructura geológica. Esta condición se debe a las altas tasas de calcificación asociadas a la relación mutualista con algas dinoflageladas (Romero-Hernández, 2018; SEMARNAT, 2018).

2.1.1. Agentes causantes de deterioro coralino

Los arrecifes coralinos son ecosistemas muy frágiles y vulnerables a agentes perturbadores externos, por lo que presentan múltiples alteraciones tanto de origen natural como antropogénico, entre estos se encuentran las tormentas y huracanes que afectan los

corales principalmente por daños físicos en las colonias, eventos como el fenómeno del Niño, contaminación, alta sedimentación y sobrepesca, entre otros, los cuales han generado la disminución de la salud coralina en las últimas décadas (Romero-Hernández, 2018), acá se describen algunas de estos factores negativos.

2.1.1.1. Tensores de origen natural

Descripción de algunos de los factores de origen natural que inciden sobre la salud de los corales duros:

Mar de leva: Tiene lugar por la progresión de frentes fríos de orientación Nor-Noreste, los cuales son frecuentes en periodo seco y particularmente de noviembre a finales de febrero, entran al mar Caribe y generan un oleaje de fuerte amplitud según los vientos que lo levantan, este puede inducir disturbios en los corales provocando daños físicos, aumento de la turbidez del agua, que obstruye los procesos de alimentación de los corales, entre otros (Lerma *et al.*, 2008).

Enfermedades:

- **Enfermedad de la Banda Negra (EBN):** es transmitida por la cianobacteria *Phormidium coralycticum* y otras cianobacterias de los géneros *Oscillatoria* y *Trichodesmium*, se presenta globalmente y en el Caribe afecta 19 especies de corales pétreos, observándose como una porción de esqueleto de coral desnudo, blanco y rodeado por una banda oscura de 5 a 30 mm que delimita el tejido sano (Gil Agudelo *et al.*, 2009).
- **Enfermedad de la Banda Blanca (EBB):** Actualmente es desconocido el patógeno que la causa, pero se tiene como posible agente a *Vibrio harveyi*, está presente en el Caribe y afecta exclusivamente a las especies de *Acropora palmata* y *Acropora cervicornis*. Fue descrita inicialmente por Gladfelter, se caracteriza por la presencia de una banda blanca de esqueleto despojado del tejido vivo y adyacente a un frente necrótico de tejido de aspecto normal, esta banda blanca suele originarse en la base de las ramas y progresa hacia la parte superior de la colonia en forma concéntrica, cuenta con una tasa de aumento de 2 cm/día (Figura 1A). La incidencia de esta enfermedad en los arrecifes coralinos del mar Caribe ha estado asociada con la muerte de aproximadamente el 99% de las poblaciones de corales del género

Acropora en algunos arrecifes, y se atribuye a esta enfermedad, la mortalidad masiva de estos corales en el Caribe y el posterior cambio en las comunidades ecológicas de arrecifes someros a lo largo de toda la región (Gil Agudelo *et al.*, 2009).

- **Reacción de Muerte Súbita o Shut-Down Reaction (RMS):** Se encuentra a lo largo del Caribe y en el mar Rojo, es un síndrome que provoca la muerte rápida de corales que se encuentran bajo condiciones de estrés, principalmente por condiciones ambientales extremas como la temperatura y sedimentación, comienza a partir de cualquier parte de la colonia y se difunde despojando el tejido vivo a una tasa de 10 cm/hora, adicionalmente la enfermedad es contagiosa, dado que se ha evidenciado el paso de la enfermedad a otros corales que presenten condiciones de estrés, debido a contacto por la columna de agua (Gil Agudelo *et al.*, 2009).
- **Aspergilosis (ASP):** Es causada por el hongo filamentoso *Aspergillus sydowii*, ataca octocorales, especialmente *Gorgonia ventalina* y *Gorgonia flabellum*, presente en el Caribe y posiblemente en el Pacífico americano, y causa una regresión de la corteza y eventual exposición del esqueleto axial interno (Gil Agudelo *et al.*, 2009).
- **Enfermedad de la Plaga Blanca (EPB):** presenta tres variantes o tipos de la enfermedad, Tipo I, fue descrita inicialmente para los géneros *Colipophyllia* y *Mycetophyllia* pero actualmente se han encontrado registros en 17 especies de corales duros, el agente patógeno que la causa es desconocido; Tipo II, afecta únicamente a *Dichocoenia stokesi*; Tipo III, afecta a *Colpophyllia natans* y *Montastraea annularis*, el agente patógeno es desconocido (Gil Agudelo *et al.*, 2009).
- **Enfermedad de la Banda Amarilla (EBA):** Se encuentra presente en el Caribe y afecta principalmente a las especies *Montastraea spp.*, *Colipophyllia natans*, *Diploria spp.*, *Agaricia agaricites*, *Favia fragum* y *Porites astreoides*, observándose parches circulares o irregulares de tejido color amarillo traslúcido (Gil Agudelo *et al.*, 2009).
- **Serriatosis de Acróporas (SAC):** Fue observada por primera vez en los cayos de la Florida, actualmente presente en el Caribe y afecta específicamente a la especie *Acropora palmata*, es ocasionada por el agente *Serratia marcescens*, las lesiones generadas se distinguen como parches blancos irregulares debido a la exposición

del esqueleto, rodeados de tejido necrótico con aspecto normal (Figura 1B). Se ha registrado un aumento en la ocurrencia de la enfermedad durante las épocas de aguas cálidas y de lluvias abundantes (Gil Agudelo *et al.*, 2009).

- **Enfermedad de los Lunares Oscuros (ELO):** Se encuentra en el Caribe y afecta cerca de 10 especies de corales pétreos, ente estas, *M. annularis*, *Siderastrea siderea* y *Stephanocoenia intercepta* (Gil Agudelo *et al.*, 2009).

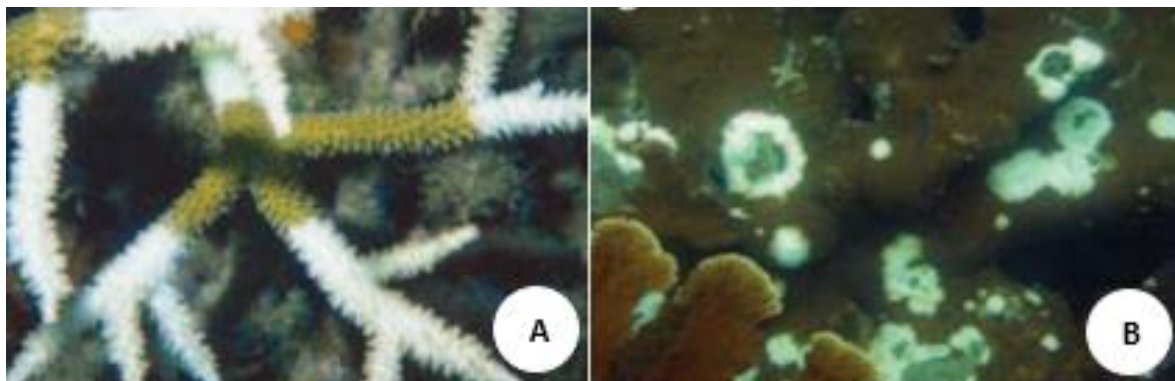


Figura 1. Enfermedades en corales Acropóridos. A) Enfermedad de la Banda Blanca EBB en *Acropora cervicornis*; B) Serratiois de Acropóridos (SAC) en *Acropora palmata*. (Tomado de: Gil Agudelo *et al.*, 2009).

Depredadores: Los organismos coralívoros o depredadores se clasifican en tres grupos según la forma en que se alimentan y el efecto sobre las colonias, el primer grupo comprende a los depredadores que pasan levemente sobre las colonias y se alimentan del tejido vivo sin causar daño en el esqueleto, en el segundo grupo se presentan los que raspan o muerden las colonias al momento de alimentarse y en el tercer grupo se reúnen los individuos que parten o separan fragmentos de las colonias. Dentro de los principales grupos de coralívoros se encuentran, gusanos poliquetos como el gusano de fuego (*Hermodice carunculata*), gastrópodos prosobranquios y nudibranquios, erizos y estrellas de mar, cangrejos braquiuros y ermitaños, y diferentes familias de peces (Guzmán, 1988).

2.1.1.2. Tensores de origen antropogénico

A continuación, se describen algunos de los agentes de origen antropogénico que afectan a los corales duros:

Contaminación por residuos: La generación de desechos sólidos y líquidos que llegan al mar a través de aguas residuales, generan en detrimento de la calidad del agua por las

elevadas concentraciones de nitrógeno y turbidez del agua, esto simboliza un posible aumento en el crecimiento de macroalgas y la afectación directa de los corales ante la falta de luz solar, necesaria para la fotosíntesis de las zooxantelas asociadas a los corales y como tal para la alimentación del coral (V. Botello *et al.*, 2005).

Sedimentación: Es producida por actividades terrestres, como la construcción, proveniente de erosión de tierras por deforestación y generados por prácticas agrícolas, los cuales depositan sedimentos y nutrientes en las aguas costeras, a través de ríos, canales y arroyos, provocando la asfixia de los corales y contribuyendo al recubrimiento de estos por algas, lo que convierte este factor, en uno de los principales actores perturbadores del desarrollo de los ecosistemas coralinos. Básicamente, la incidencia de este factor sobre los corales se relaciona con el desarrollo, dado que inicialmente inhiben el desarrollo al obstruir el paso de la luz solar y por consiguiente disminuyen el proceso de fotosíntesis, además de esto, retardan el crecimiento al cubrir los pólipos de los corales, de tal forma que se impide la alimentación y expulsión de desechos (Romero-Hernández, 2018).

Desarrollo costero: Constituye una fuente de perturbación cuando se lleva a cabo sin una planeación adecuada, generando impacto en las zonas costeras a nivel de cambios en el uso del suelo, sobre recursos marinos y forestales y la extracción de vida silvestre, los cuales se relacionan de manera directa e indirecta con el deterioro y la fragmentación de los ecosistemas interconectados con los ecosistemas arrecifales coralinos, como los manglares, dunas y selvas, lo que lleva al detrimento del arrecife (SEMARNAT, 2018).

Encallamientos: Es un factor de perturbación relacionado con la navegación, tiene lugar por el incremento del tránsito portuario y la falta de señalamiento de las zonas arrecifales, presenta incidencia sobre la parte somera de los arrecifes, lugar donde se ubican las especies del género *Acropora*, generando daños físicos a nivel de las colonias y en la estructura del arrecife (SEMARNAT, 2018).

Actividades pesqueras: Esta actividad económica representa afectación sobre los ecosistemas arrecifales coralinos cuando es llevada a cabo en las áreas arrecifales, y se genera cuando ocurre contacto directo del pescador y sus artes de pesca como pueden ser redes, palangres, líneas de mano, ganchos, arpón e incluso recolección manual, provocando de manera accidental, daños mecánicos en las colonias de corales. Por otra parte, también se genera influencia de esta actividad ante la sobrepesca de recursos,

provocando un desequilibrio trófico del ecosistema arrecifal, por ejemplo, la disminución de especies de hábitos herbívoros como el pez loro, ocasionando el incremento de la población algal y en consecuencia, generando una mayor competencia por espacio con los corales, finalizando en un aumento en la mortalidad de estos (SEMARNAT, 2018).

2.1.2. Consecuencias de los tensesores

Dentro de las consecuencias que acarrea la presencia de agentes estresantes en los corales duros, se encuentra la mortalidad parcial y total, el blanqueamiento de los corales y la proliferación algal:

Blanqueamiento coralino: Se produce como resultado de la afectación de la relación simbiótica entre corales hermatípicos y zooxantelas, produciendo la expulsión de estas y dejando expuesto el esqueleto blanco del coral, como consecuencia hay una pérdida de pigmentos fotosintéticos, incremento en la tasa de respiración y disminución de la calcificación (Romero-Rodríguez *et al.*, 2014). La alteración de la relación simbiótica tiene varias causas, la principal corresponde a la temperatura superficial del mar, dado que los corales presentan un límite de tolerancia térmica, por lo que una variación en la temperatura genera su deterioro (Wilkinson y Souter, 2008); además de esta causa también se presenta cambios en la salinidad por modificación de la función metabólica de los corales y sus algas simbiotas, y el exceso de nutrientes, por generar el crecimiento acelerado de macroalgas que recubren los corales y por lo tanto inducen al blanqueamiento (True, 2012). Por otra parte, se ha encontrado que la nubosidad disminuye la radiación solar y la surgencia ayuda a retardar el recalentamiento y permitir la recuperación luego del blanqueamiento (Mumby *et al.*, 2001).

2.1.3. Restauración ecológica

La restauración ecológica es el proceso de ayudar o asistir a la recuperación de un ecosistema perturbado, degradado o destruido, donde el objetivo en específico es la regeneración en términos de estructura de la comunidad y función ecológica, lo más cercanamente posible a su condición previa al disturbio, cabe resaltar que los proyectos de restauración de arrecifes coralinos pueden variar de este esquema central, por ejemplo, puede que no se parta de un área deteriorada, sino que el objetivo sea la construcción de

parches de arrecife o jardines de corales, bien sea con fines turísticos, educativos, para sensibilización del público y/o ayudar a reforestar con especies de corales que se han visto reducidas en arrecifes coralinos aledaños (Edwards y Gomez, 2007). Para llevar a cabo la restauración se pueden realizar una serie de intervenciones guiadas a ayudar a los procesos de recuperación natural, es decir, que si los procesos naturales se ven afectados no se va a poder llevar a cabo la restauración y entonces deberán utilizarse otros métodos de manejo. Las intervenciones pueden ser de tipo directas (activas), e indirectas (pasivas), en el caso de las medidas pasivas, se involucra un mejoramiento de las prácticas antropogénicas que están afectando el ecosistema y dificultan los procesos naturales, como la capacidad que tienen los corales de resistir y recuperarse de una perturbación, proceso conocido como resiliencia del sistema, sin embargo en los casos donde la resiliencia es baja se requieren de las intervenciones activas, que pueden implicar métodos como, el uso de fragmentos de coral por propagación asexual de corales escleractíneos, a partir de los cuales se puede hacer trasplante de fragmentos de arrecifes sanos a degradados, construcción de guarderías de coral, entre otros, y también el uso de gametos por propagación sexual de corales escleractíneos, para construcción de arrecifes artificiales o introducción de larvas en arrecifes degradados (Pizarro *et al.*, 2014).

2.1.3.1. Métodos de restauración ecológica

Para el proceso de restauración ecológica, como estrategia de conservación y rehabilitación, la propagación coralina vía reproducción sexual y asexual es fundamental.

- **Propagación sexual de corales:** El método de restauración coralina por propagación sexual que se está implementando actualmente, implica la obtención de larvas por colecta de gametos y larvas in situ, y su posterior cría por dos vías, una es la introducción de grandes cantidades de larvas a un arrecife degradado para que recluten naturalmente, y la otra forma es por la cría de embriones y larvas en acuarios ex situ para su reclutamiento sobre sustratos artificiales, una vez alcanzan la talla de juveniles son trasplantados al medio natural. Si bien esta técnica no se ha implementado en gran medida, los resultados de su implementación hasta el momento han sido positivos, dado que ofrece diferentes ventajas como, beneficiar a especies cuya diversidad genética está disminuyendo, selección de especies de fecundidad alta, maximiza el reclutamiento y causa poco daño sobre el arrecife

existente, dado que al ser recolectados los gametos directamente del medio marino, el impacto sobre los corales es casi nulo, además de esto, como una ventaja relevante, es el incremento de la variabilidad genética que potencia la obtención de genotipos más resistentes al cambio global (Edwards A. J., 2010).

- **Propagación asexual de corales:** El método de restauración coralina por propagación asexual de corales implica la obtención de partes o fragmentos de los corales ya sea por búsqueda de fragmentos de oportunidad, es decir, aquellos fragmentos que fueron desprendidos de colonias coralinas, debido a eventos extremos como huracanes, tormentas, mares de leva, encallamientos, y demás agentes que impliquen la afectación física de los corales y provoquen el fraccionamiento de las ramas (Shafir *et al.*, 2010); o también pueden obtenerse por remoción de fragmentos de colonias donadoras, posterior a la obtención de los fragmentos, la restauración se lleva a cabo por dos vías, una consta del trasplante de los fragmentos de arrecifes sanos a degradados y la otra vía es la cría de estos fragmentos en guarderías in situ o ex situ, para su posterior trasplante luego de alcanzar un tamaño adecuado para su sobrevivencia, a las áreas arrecifales degradadas (Rinkevich, 2000; Shafir *et al.*, 2010).

Guarderías de corales: Las guarderías o viveros de coral se plantean con el fin de reducir los costos ecológicos que se pueden evidenciar si los fragmentos son trasplantados directamente a arrecifes degradados, dado que son muy susceptibles a condiciones ambientales estresantes y se ha evidenciado una sobrevivencia menor en ausencia de la cría de los fragmentos previa al trasplante, puesto que las guarderías permiten una aclimatación a las condiciones oceanográficas y además, proveen las condiciones óptimas para su sobrevivencia y crecimiento ante la proporción de un medio bajo medidas de control, como es la remoción de organismos competidores, depredadores y demás, y la producción masiva de corales de un tamaño adecuado para su sobrevivencia (Pizarro *et al.*, 2014). Básicamente, la construcción de fincas o guarderías se realiza para el cultivo de fragmentos de corales, con el fin de proporcionar las condiciones físicas y ecológicas necesarias para la sobrevivencia de los corales, en ausencia de factores estresantes, para que luego de obtener el crecimiento adecuado, según la especie, se realice el trasplante de las colonias a arrecifes coralinos deteriorados y que se encuentren cerca de las fincas donde se

mantengan las condiciones oceanográficas y así continuar con su crecimiento (Mercado-Molina *et al.*, 2013).

Tipos de guarderías

Existen dos modelos de guarderías in situ, fijas y flotantes, cada uno ofrece diferentes beneficios, acorde con los objetivos de la restauración y las condiciones ambientales donde se instale (Johnson *et al.*, 2011).

- **Viveros flotantes:** Permiten cultivar masivamente colonias de coral, dado que son las de mayor capacidad de fragmentos por vivero, son de tipo líneas cuando se construyen con cuerdas, o de tipo marcos suspendidos a media agua (Pizarro *et al.*, 2014).

Línea en media columna:

Arboles: Se construyen a partir de marcos de PCV con forma de árbol, es decir, con un tubo central vertical de soporte y los tubos horizontales de los cuales suspenden los corales fijados con monofilamento o alambre. Se anclan con sistemas de pico de pato y se mantienen suspendidos por boyas, estos pueden moverse hacia arriba y debajo en la columna de agua, graduando la longitud de la correa o cuerda de sujeción (Figura 2) (Johnson *et al.*, 2011).



Figura 2. Vivero de árbol. (Tomado de Johnson *et al.*, 2011).

Viveros de línea o tendedores: Este vivero se compone de cuatro partes, el dispositivo de anclaje, en el que se pueden usar tornillos de anclaje o un peso pesado, el dispositivo de flotación, como flotadores de espuma de poliestireno o botellas de plástico amarradas por cuerdas a la estructura, líneas horizontales, que

se conectan con las líneas verticales ancladas y pueden ser de monofilamento o soga de nylon, estos se disponen espaciados verticalmente para permitir el crecimiento de los fragmentos, y dispositivos de fijación de corales, como líneas de cables o nylon, estos se disponen dejando espacio entre sí para el crecimiento de los corales (Figura 3) (Johnson *et al.*, 2011).



Figura 3. Vivero de línea o "tendedero". (Tomado de: Johnson *et al.*, 2011).

- **Viveros fijos:** Se presentan de dos tipos, los viveros de bloque y viveros de marcos.
Viveros de bloques: implica el uso de bloques de hormigón o cemento para anclaje en el fondo.
Bloques de cemento: Se compone de una plataforma modular, como bloques de concreto o de hormigón que permite la replicación de los corales dispuestos sobre la estructura en discos de cemento, conos o pirámide con cinchos de plástico, alambre, cemento o resina epoxi, y están anclados al fondo por la misma estructura de soporte, este tipo de vivero funciona bien en fondos arenosos (Figura 4) (Johnson *et al.*, 2011).



Figura 4. Vivero tipo bloque. (Tomado de: Johnson *et al.*, 2011).

Vivero de marcos: Implica el uso de marcos de malla de metal o de plástico y estructuras en PVC que se fijan al fondo por anclajes.

Marco en forma de A: Se construyen a partir de una estructura rígida o semi-rígida que mantiene los fragmentos alejados del sustrato y proporciona el espacio para la unión del fragmento y el crecimiento, la forma de la estructura puede variar a rectangulares o cuadradas, entre otras, generalmente se recubren los marcos de metal con resina epoxi para limitar el crecimiento de algas y retrasar la degradación del marco. Los marcos se fijan al sustrato por barras de metal, pesos de cemento o bloques de hormigón y los corales se fijan a los marcos por alambre (Figura 5) (Johnson *et al.*, 2011).



Figura 5. Vivero de marco en forma de A. (Tomado de: Johnson *et al.*, 2011).

Mesa de cuerdas: Se construye con líneas de polipropileno colgadas a líneas externas ajustadas entre secciones de 3 m de barras de metal de 1.6 cm de ancho, clavados en la arena, los fragmentos se enhebran dentro de la línea (Figura 6) (Johnson *et al.*, 2011).

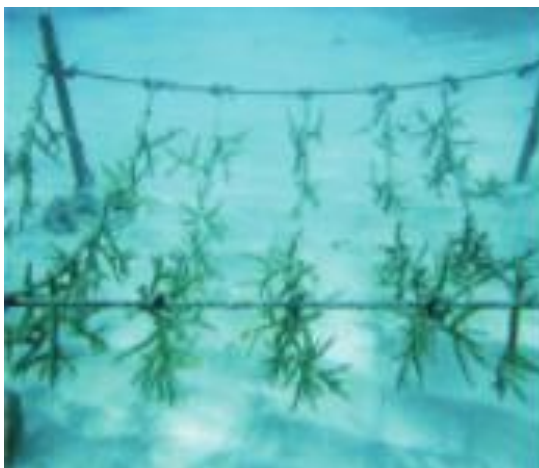


Figura 6. Vivero mesa de cuerdas. (Tomado de: Johnson *et al.*, 2011).

2.1.4. Biología de las especies de estudio - *Acropora cervicornis* y *Acropora palmata*

Los corales *Acropora palmata* y *Acropora cervicornis* son considerados unas de las principales especies de corales hermatípicos, están presentes en las partes someras de los arrecifes, por lo que su función como constructores de arrecifes determina la formación de la cresta arrecifal (Figura 7). Son altamente sensibles a las condiciones ambientales circundantes, por ejemplo, requieren de agua clara y buena circulación, pues para su alimentación necesitan altas tasas de energía proveniente de luz solar en comparación con otras especies de corales, de manea que son sensibles ante el aumento de turbidez del agua; en cuanto a la temperatura, presentan un rango óptimo entre 25 y 29°C por lo que fuera de este rango son susceptibles al blanqueamiento (SEMARNAT, 2018).

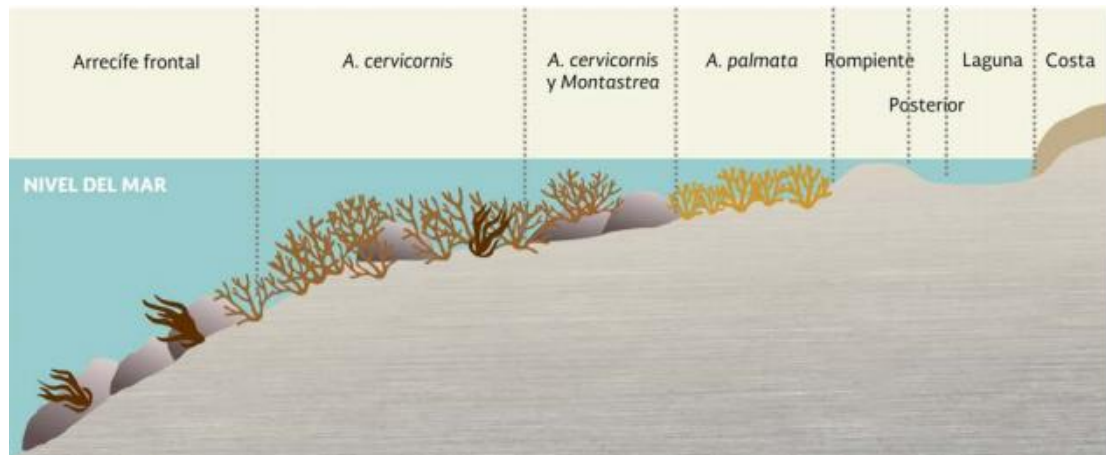


Figura 7. Patrón de zonación de *A. palmata* y *A. cervicornis* en un arrecife (Tomado de: SEMARNAT, 2018).

En la reproducción sexual, las especies del género *Acropora* son hermafroditas simultáneas con un ciclo anual de gametogénesis, en el caso de las especies de estudio, su reproducción sexual no varía, ambas presentan liberación de gametos masculinos y femeninos de manera simultánea a la columna de agua donde es llevada a cabo la fertilización (Szmant, 1985), generalmente en las especies de *Acropora* se presentan dos eventos reproductivos al año, uno entre julio y agosto y otro hacia el mes de septiembre, y exactamente, la liberación tiene lugar unos días después de luna llena. Las tasas de fecundación se encuentran relacionadas con el tamaño, por lo que colonias de mayor tamaño tienden a tener una mayor fecundidad. Adicionalmente, presentan un mecanismo de inhibición de la fertilización entre gametos de un mismo padre, lo cual favorece la variabilidad genética (Harrison, 2011). Posterior a la fecundación, el desarrollo de la larva plánula ocurre en el medio donde su dispersión y asentamiento están determinados principalmente por las corrientes, a medida que crece se adhieren las zooxantelas, las cuales ingresan por el ectodermo cerca del poro oral, al término de 3 a 7 días de la fertilización, la larva inicia la búsqueda del lugar para fijación, momento en el cual el nado es demersal hasta encontrar el sitio adecuado para el asentamiento, por lo que, ante condiciones óptimas como la presencia de un sustrato duro y consolidado, la plánula se fija al sustrato y ocurre metamorfosis dando lugar al primer pólipo, sin embargo, el estadio de plánula en los corales presenta una alta mortalidad, de hasta el 90% por depredación y mortalidad natural, y añadido a esto, durante el crecimiento, presentan mortalidad por sobrecrecimiento algal, depredación por forrajeo de organismos herbívoros, enterramiento

por sedimentación, entre otros, aspectos que se reducen al alcanzar cierta talla, aproximadamente 1 cm de diámetro (SEMARNAT, 2018).

Por otra parte, al igual que otras especies de coral, los acropóridos tienen reproducción asexual, que involucra el proceso de fragmentación de ramas de las colonias por desprendimiento y su posterior fijación en una nueva colonia, la cual tiene lugar ya sea porque el tejido vivo del fragmento logra crecer o a través de organismos incrustantes que se asientan en las áreas muertas del tejido y lo adhieren al sustrato (Highsmith *et al.*, 1980). Este proceso de fragmentación implica la replicación de múltiples colonias genéticamente idénticas, de manera que, si bien la reproducción asexual implica un aumento de biomasa, no contribuye a la variabilidad genética, a diferencia de la reproducción sexual, sin embargo, en *A. cervicornis* y *A. palmata*, la fragmentación es el medio más común de reproducción, dado que en muchos casos el reclutamiento sexual es limitado, además, los fragmentos desprendidos de una colonia presentan ciertas ventajas como, un mayor porcentaje de sobrevivencia que las larvas plánulas (Jackson J. B., 1977), pueden producirse a lo largo del año mientras que la reproducción sexual se limita a dos eventos únicamente y significa un medio para la dispersión de la especie (SEMARNAT, 2018).

De esta forma, los dos tipos de reproducción son necesarios para el mantenimiento de las especies, dado que, en el caso de la reproducción asexual, funciona para el aumento de la biomasa y la dispersión, aspectos necesarios para la sobrevivencia y mantenimiento de la especie, por otra parte, la reproducción sexual es fuente de variabilidad genética, vital para la adaptación de las especies a procesos evolutivos.

- **Distribución**

Tanto *A. palmata* como *A. cervicornis*, tienen su distribución en los arrecifes a lo largo del Caribe, incluyendo golfo de México, Costas del Caribe mexicano, centro y Sudamérica, archipiélago de las Bahamas y las Antillas mayores y menores (Figura 8). Su área de distribución geográfica en el Atlántico occidental se ha mantenido en el tiempo sin cambios (Sian Ka'an, 2013).



Figura 8. Distribución regional de *Acropora* spp. (Tomado de: SEMARNAT, 2018).

- **Taxonomía**

Reino: Animalia

Phylum: Cnidaria (Hatschek, 1888)

Clase: Anthozoa (Ehrenberg, 1834)

Subclase: Hexacorallia (Heackel, 1896)

Orden: Scleractinia (Bourne, 1900)

Suborden: Astrocoeniia (Vaughan y Wells, 1943)

Familia: Acroporidae (Verrill, 1902)

Género: *Acropora* (Oken, 1915)

2.1.4.1. *Acropora cervicornis* (Cuerno de ciervo) (Lamarck, 1816)

- **Morfología**

Las colonias tienen un crecimiento ramificado, con una base estrecha por la cual se fijan al sustrato, característica por la cual recibe el nombre de cuerno, presenta una ramificación delgada, cilíndrica y recta o ligeramente curvada, formando colonias arborescentes (Figura 9), con algunas modificaciones morfológicas como, el crecimiento de ramas más largas, delgadas y una menor cantidad de ramas secundarias en las colonias que se encuentran a mayor profundidad, mientras que las colonias someras, presentan generalmente un diámetro de las ramas mayor, entre 1 y 4 cm, hay un gran número de ramas secundarias, las cuales crecen de las ramas principales manteniendo un ángulo entre 30 y 90°. La coloración de las colonias presenta tonalidades entre amarillo a café claro, con los ápices de las ramas de color más claro a blanco y con forma aguzada. Entre las características a resaltar de esta especie, es el hecho de no estar fijas firmemente al sustrato duro, generalmente, las ramas tienen la capacidad de fusionarse con ramas adyacentes (anastomosis) (SEMARNAT, 2018; Jaap, 2002).



Figura 9. Colonia de *A. cervicornis* (Tomado de: SEMARNAT, 2018).

- **Crecimiento**

Las colonias más grandes y gruesas alcanzan tamaños de 2 a 3 m de alto y 30 m de largo (Jaap, 2002), presentan tasas de crecimiento lineal de sus ramas entre 3 y 11.5 cm por año, en el Caribe (SEMARNAT, 2018).

- **Hábitat**

Crece generalmente en aguas poco profundas y protegidas, donde hay una mayor penetración de luz debido a la relación simbiótica con la zooxantela, la cual necesita abundante luz para llevar a cabo el proceso de fotosíntesis, se encuentran en un rango de profundidad de 5 a 30 metros (Sian Ka'an, 2013).

- **Estado actual**

Su distribución geográfica se mantiene según los datos históricos pero su densidad ha disminuido y actualmente presenta una abundancia rara a escasa en los sitios donde era dominante (Lang, 2003), razón por la cual, en Colombia se registra esta especie como Críticamente Amenazada o Peligro Crítico según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza - UICN. Añadido a esto, se ha encontrado que entre las afectaciones que provocan su descenso, está el aumento de macroalgas ante la disminución de peces herbívoros, y también agresiones por organismos móviles, donde se resalta la presencia de depredación por el caracol *Coralliphila abbreviata*, entre otros factores, que en consecuencia, han generado su disminución a tal punto que actualmente las poblaciones de acropóridos, principalmente de *A. cervicornis*, más significativas del Caribe continental colombiano, en cuanto a extensión y cobertura, se encuentren reunidas en el Parque Nacional Natural Tayrona (Moreno y Valderrama, 2002).

2.1.4.2. *Acropora palmata* (Cuerno de alce) (Lamarck, 1816)

- **Morfología**

Presentan un crecimiento ramificado, con ramas extendidas aplanadas en forma de frondas que pueden llegar a medir más de 50 cm de ancho y un grueso entre 2 y 10 cm que disminuye hacia la parte apical de las ramas, este tipo de ramificación es considerada como una adaptación morfológica para soportar la energía del oleaje debido a su ubicación somera en los arrecifes, por lo que se observa que el crecimiento de las ramas es paralelo al flujo de agua, de modo que las condiciones ambientales como acción del oleaje, corrientes, profundidad e intensidad lumínica determinan el patrón de ramificación e incluso la altura de la colonia (Figura 10). La coloración de las colonias es ocre y hacia los ápices de crecimiento de las ramas se observan tonos claros a blancos (SEMARNAT, 2018; Schuhmacher y Pelwka, 1981)



Figura 10. Variaciones morfológicas en el patrón de ramificación de *A. palmata* (Tomado de: SEMARNAT, 2018).

- **Crecimiento**

Es caracterizada por ser de las especies cuyas colonias alcanzan grandes tamaños, midiendo hasta 2 m de altura y 4 m de diámetro, y un ancho de la base de 40 cm de diámetro. Presentan tasas de crecimiento lineal de las ramificaciones entre 4 y 11 cm anuales (SEMARNAT, 2018), y según un estudio realizado en Puerto Morelos, Quintana Roo se determinó un crecimiento lineal anual de 6.8 cm, extensión basal de 2.3 mm al mes y un incremento de tejido vivo promedio de 200 cm² por mes (Padilla y Lara, 1996). En el caso de los fragmentos desprendidos de colonias, se ha observado una alta sobrevivencia y elevadas tasas de crecimiento, formando rápidamente una base de fijación (Padilla y Lara, 1996), razón por la cual, *A. palmata* es una de las especies más rápidas y eficientes para la regeneración de tejido perdido ante lesiones generadas por abrasión, depredación o enfermedad (Bak, 1983).

- **Hábitat**

Crece en aguas someras y con alta intensidad de oleaje, observándose su mayor abundancia en la pendiente expuesta de los arrecifes, se encuentra entre las profundidades de 1 a 5 metros (Sian Ka'an, 2013).

- **Estado actual**

Su distribución se ha mantenido a lo largo del tiempo, sin embargo, la densidad ha disminuido, presentando actualmente una abundancia baja a moderada (Lang, 2003), razón por la cual en Colombia se registra esta especie como En Peligro, según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza – UICN. Por otra parte, según un estudio realizado por Moreno y Valderrama (2002) sobre el estado actual de *A. palmata* y *A. cervicornis* en el PNN Tayrona, se encontraron diferentes afectaciones según su ubicación en los arrecifes, que están provocando la disminución de los corales, por ejemplo, hacia los costados protegidos, se presentan principalmente invasión por algas, lunares de sedimento, peces coralívoros, fragmentación, banda blanca y muerte reciente, y hacia costados expuestos, invasión por otros organismos y rayones, adicional a esto, también se ha evidenciado la enfermedad de Serriatosis en esta especie (Pardo Ochoa, 2013). Todos estos factores, han generado que el panorama de las formaciones coralinas, sea la presencia de corales en un segundo plano luego de las algas (Moreno y Valderrama, 2002).

2.2. ANTECEDENTES

La pérdida de los ecosistemas arrecifales, ha generado un crecimiento en el interés por el conocimiento y el diseño e implementación de medidas de mitigación, control y conservación de las áreas deterioradas. En las estrategias desarrolladas a escala mundial se encuentran una serie de tratados, convenios, acuerdos, protocolos, leyes, entre otros, dentro de los cuales se encuentra en sus inicios la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro en 1992, en la cual se establecen 27 principios ambientales aplicables a la protección de todos los recursos naturales, su uso sostenible y aprovechamiento consciente y responsable, se resaltan los principios 2, 4 y 11, donde se establece que los estados tienen el derecho de aprovechar sus propios recursos siempre y cuando las actividades realizadas no causen daños al medio

ambiente, se determina que la protección del medio debe constituir parte integral del proceso de desarrollo y además, se deben generar normas y objetivos de ordenación en pro al medio ambiente (Cover-Ruiz y Vargas-Calderón, 2013), posterior a esta cumbre, y como parte de normativa vinculante, se ratificó el Convenio Internacional sobre Diversidad Biológica – CBD y el Convenio Internacional sobre Cambio Climático.

El Convenio de Diversidad Biológica constituido en 1994, enfatiza en la conservación de especies, hábitats y la genética, se resaltan dos artículos principales, el artículo 7 donde se busca identificar los componentes de la diversidad biológica que sean importantes para su conservación y utilización sostenible, realizando un seguimiento de las actividades que representen efectos perjudiciales sobre los ecosistemas objeto de conservación, y el artículo 8 que promueve la protección de ecosistemas y hábitats naturales, la rehabilitación y restauración de ecosistemas degradados, impulsando además la recuperación de especies amenazadas (Cover-Ruiz y Vargas-Calderón, 2013).

De acuerdo con estas estrategias, los estudios sobre el ambiente coralino se han intensificado, creando nuevos programas de monitoreo, redes de investigación y sociedades e iniciativas, entre los que se resalta, la Red de Monitoreo Global de Arrecifes de Coral (GCRMN), la red de monitoreo global Reef Check, programa iniciado en 1997 con el objetivo de promover la difusión del valor y la problemática de los arrecifes de coral, la Iniciativa Internacional de Arrecifes de Coral (ICRI) y la Sociedad Internacional de Arrecifes Coralinos (ISRS). También entre las redes regionales a resaltar se encuentra un programa internacional de monitoreo llamado Caribbean Coastal Marine Productivity (CARICOMP), vigente desde 1992, con cerca de 25 instituciones de 16 países del Caribe, incluyendo a Colombia (Díaz *et al.*, 2000).

En el caso de Colombia, las directrices para la conservación de los arrecifes coralinos fueron impulsadas por la Ley 99 de 1993, con la cual se creó el Sistema Nacional Ambiental – SINA, dentro del cual se incluye la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales – UAESPNN, y el Ministerio del Medio Ambiente, adicionalmente, hacia 1997 se constituyó la Sociedad Colombiana para el Estudio y Conservación de los

Arrecifes Coralinos – SCCAR y más recientemente la estructuración del Sistema Nacional de Monitoreo de Arrecifes Coralinos en Colombia – SIMAC, el cual ha establecido estaciones permanentes en varias áreas coralinas del país (Díaz *et al.*, 2000).

En seguimiento a esto, desde una escala regional y local, se han implementado planes de acción pasivos y activos, los pasivos promueven la recuperación natural de los arrecifes de coral sin intervención directa, dentro de estas se encuentra el establecimiento de todas las especies de coral catalogadas como “amenazadas” dentro de la lista de la Comisión Internacional Sobre el Tráfico de Especies Amenazadas (CITES), y la mayoría de especies consideradas “vulnerables” según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), esto con el fin de permitir un mayor control sobre los impactos que están generando efectos negativos en las áreas coralinas; como otra medida pasiva, se encuentra la disposición de reservas marinas y/o las Áreas Marinas Protegidas (AMP), que buscan reducir la presión de factores antrópicos directos sobre los ecosistemas marinos y contribuir a incrementar la resiliencia de los mismos. En Colombia existen 6 parques nacionales que involucran arrecifes coralinos dentro de sus áreas protegidas, dentro de las cuales son prohibidas todas las actividades diferentes a las de conservación, investigación, educación, cultura, recuperación y control, estos son: Parque Nacional Natural Tayrona, Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo, Parque Nacional Natural Old Providence and Mc Bean Lagoon, Parque Nacional Natural Isla Gorgona, Parque Nacional Natural Ensenada de Utría y el Parque Nacional Natural Malpelo (Díaz *et al.*, 2000).

Sin embargo, a pesar de ser áreas protegidas, las formaciones coralinas colombianas no están exentas de perturbaciones inducidas por actividades antrópicas, por lo cual, se aplican las medidas activas, guiadas a la intervención del ecosistema deteriorado con fines de restauración, rehabilitación, remediación y mitigación (Pizarro *et al.*, 2014).

La cría de pequeños fragmentos de coral en guarderías o jardinerías ha sido ampliamente utilizada para la restauración de los arrecifes de coral, dado que la propagación coralina vía reproducción asexual (fragmentación) en viveros in situ ha resultado ser una técnica que promueve una mayor sobrevivencia y rápido crecimiento de los fragmentos en comparación

con el medio natural (Edwards, 2010). Se ha registrado la jardinería de coral en 53 países, principalmente de la región Caribe debido al nivel de degradación que presentan los ecosistemas arrecifales (Pizarro *et al.*, 2014), dentro de los estudios desarrollados, se encuentran los descritos por Johnson *et al.* (2011), uno realizado en Punta Cana, República Dominicana, donde se implementaron estructuras tipo marcos en forma de A, línea en media columna y mesa de sogas, con el objetivo de propagar genotipos de *Acropora cervicornis* en arrecifes degradados en Punta Cana, partiendo de 25 fragmentos de colonias y obteniendo un éxito en el trasplante de las colonias para repoblación del 85%, otro es el caso del proyecto realizado en los Cayos del Alto Florida, cuyo objetivo era ayudar en la recuperación de *A. cervicornis* mejorando la producción de coral por modificación de diversos diseños de viveros, resaltando diseños como las líneas en media columna, arboles de corales y bloques de cemento, partiendo de fragmentos recolectados de 95 colonias donantes, con el fin de priorizar en la diversidad genética del vivero, alcanzando una sobrevivencia del 80% y en los corales trasplantados del 70% para un resultado final de más de 1500 corales trasplantados con éxito a 31 sitios en 10 arrecifes cercanos; tal como se aprecia en los resultados de estos estudio, se puede determinar que los viveros de coral in situ tienen la capacidad de cumplir con las metas de restauración coralina, como son, aumento en la cobertura de coral, rápido crecimiento, dispersión y servir como reservorio de biodiversidad al mantener la variabilidad genética (Edwards, 2010). En seguimiento a esto, los diferentes diseños de guarderías implementados en el Caribe han sido exitosos, sin embargo, su funcionamiento es dependiente de las características locales específicas, es decir, las condiciones ambientales y de los objetivos del proyecto de restauración, dado que pueden estar enfocados en la recuperación de la biodiversidad, algunos con fines educativos, otros en el turismo y recreación, etc., (Johnson *et al.*, 2011).

De acuerdo a esto, se han resaltado diferencias entre diseños fijos al sustrato y flotantes, asociadas a su uso, como se especifica en el estudio realizado por Pizarro *et al.* (2014), donde se identifican ciertas ventajas en las guarderías flotantes, como por ejemplo, un bajo mantenimiento si la calidad y circulación del agua es buena, menor depredación, régimen de luz ajustable y menor cantidad de sedimentos resuspendidos, mientras que en las guarderías fijas, se pueden presentar mayor cantidad de sedimentos, el régimen de luz,

según las condiciones donde se encuentre el vivero pueden ser bajas, la depredación y por tanto el mantenimiento son mayores.

Como seguimiento al rendimiento de los diferentes diseños de viveros, el trabajo de Franke-Ante *et al.* (2014) brinda una evaluación sobre la viabilidad en los ensayos de repoblamiento con el uso de guarderías de coral, como estrategia de manejo para la restauración de arrecifes coralinos de Colombia, pertenecientes a los Parques Nacionales Naturales Tayrona, Old Providence y Corales del Rosario, para los cuales, en el caso de PNN Old Providence se realizó una prueba piloto con dos guarderías tipo “tendedero” para cada especie de *Acropora*, ubicadas en la laguna arrecifal frente a la punta Maracaibo, se mantuvieron 50 fragmentos de ambas especies hasta alcanzar una talla de 4.5 cm² en el caso de *A. palmata* y de 13 cm en el caso de *A. cervicornis*, registrando un porcentaje de sobrevivencia del 98% y 92%, respectivamente, para el posterior trasplante de las colonias; en el PNN Tayrona, se ubicó una guardería en bahía Neguanje y otra en la bahía de Gayraca, en esta última se utilizaron viveros de cuatro bandejas a media agua para las mismas especies, con profundidad de 12 m, instalando 144 fragmentos en total, los cuales como resultado, tuvieron una supervivencia del 90% en ambas especies y se procedió al trasplante de 58 colonias sobre sustrato coralino muerto (García-Rueda, 2010). Por último, en el PNN Corales del Rosario y San Bernardo, se montaron guarderías tipo “tendedero” y “arbolito”, en los tendederos se ubicaron 48 fragmentos de *Acropora cervicornis* durante un año y cuatro meses, hasta alcanzar la longitud de 36.8 cm con supervivencia del 100%. A través de estos ensayos se puede verificar el rápido crecimiento de los fragmentos en las guarderías in situ, con una alta supervivencia a pesar de que las condiciones de la calidad del agua no varían, además, como análisis comparativo entre los diferentes métodos, se registra que las estructuras con mayores ventajas para su implementación en proyectos de guarderías han sido los tipo “tendedero” y “arbolito”, por aspectos como el requerimiento de un menor espacio para su establecimiento, la facilidad de montaje y mantenimiento, el alto crecimiento y baja mortalidad que se presenta y en el número de fragmentos, donde las guarderías tipo tendedero predominan, por tener una mayor capacidad según el dispositivo (Franke-Ante *et al.*, 2014).

En consecuencia, la disposición de viveros adecuados según las condiciones del medio y

en concordancia con aspectos clave como la disminución de presiones antrópicas, van a permitir llevar a cabo los procesos de repoblamiento que contribuyen a la conservación de los ecosistemas coralinos.

3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS

3.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Dada la problemática de disminución global producida en la cobertura de coral vivo, como respuesta a diferentes perturbaciones antropogénicas como el desarrollo costero, contaminación, sobrepesca, eutrofización, entre otros; y ambientales como factores asociados al cambio climático, implicando un estrés térmico, acidificación de los océanos, aumento de ciclones, tormentas, y demás. Así como la afectación observada en el Caribe, ante la pérdida de corales acropóridos que han disminuido entre un 80 y 90% en todo el Caribe y Atlántico occidental desde finales de la década de 1980, ante la presencia de amenazas como enfermedades, depredación, blanqueamiento y daño físico (Jackson *et al.*, 2014); Se hace necesaria la implementación de medidas que permitan tener un mayor control sobre los efectos negativos que generan el declive de estos corales y por consiguiente buscar una recuperación estructural y funcional de los mismos, por lo tanto, se planea la realización de planes de restauración coralina mediante técnicas de “jardinería de coral”, que implican el cultivo de colonias o fragmentos de coral en viveros in situ, para su posterior trasplante a arrecifes degradados. El uso de guarderías de coral para la propagación de *Acropora* en el Caribe ha sido ampliamente utilizado, debido a que permiten maximizar la sobrevivencia y productividad de los corales, al tiempo que minimizan los impactos negativos que puedan generarse, por otra parte, constituyen una fuente sostenible de corales *Acropora*, al hacer uso del proceso natural de reproducción asexual a través de la fragmentación, con el fin de obtener fragmentos para su cultivo y cría en los viveros, dando lugar al crecimiento de nuevas colonias en vista de mejorar las poblaciones (Johnson *et al.*, 2011), para este caso de estudio, de *Acropora palmata* y *Acropora cervicornis*.

3.2. OBJETIVOS

3.2.1. Objetivo general

Asistir al mantenimiento de guarderías de las especies *A. palmata* y *A. cervicornis* en el Acuario y Museo del Mar El Rodadero, en vista de una mayor supervivencia y rápido crecimiento de los corales como estrategia de restauración, mediante la propagación coralina vía reproducción asexual por fragmentación mecánica de colonias donadoras.

3.2.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado actual de las guarderías de coral presentes en el acuario antes de iniciar la intervención.
- Realizar el mantenimiento de las estructuras tipo “árbolito”, mediante limpieza y remoción de fragmentos muertos, que presenten alguna enfermedad o se encuentran invadidos por algas.
- Inducir a la reproducción asexual de colonias donadoras presentes en los viveros tipo arbolito, por fragmentación mecánica, para repoblamiento de nuevas guarderías.
- Diseñar e implementación de guarderías de coral que presenten la mayor eficiencia en términos de la capacidad de fragmentos a contener y la relación costo-beneficio tanto en su implementación como en el mantenimiento a posteriori.

4. METODOLOGÍA

4.1. ÁREA DE ESTUDIO

El presente estudio se desarrolló en el Acuario y Museo del Mar El Rodadero, ubicado en la bahía Inca Inca entre las coordenadas 11° 13' 00" N - 74° 14' 10" O y 11° 13' 02" N – 74° 14' 10" O al norte de la Bahía Gaira, región de Santa Marta, Colombia (Figura 11), fue fundado por el Capitán Francisco Ospina Navia, en 1965, como el primer acuario en Colombia y en Suramérica, inició con solo dos piscinas y en la actualidad el acuario cuenta con 15 acuarios de vidrio, los cuales son usados para mantener diferentes animales, entre

los que se encuentran peces, morenas, caballitos de mar, anemonas, corales, langostas, entre otros, y 13 estanques construidos en piedra y sacos de arena, manteniendo un flujo natural de agua para el bienestar de los animales, adecuados para delfines, tortugas, tiburones y rayas (Figura 12) (Hurtado-Vega, 2010).



Figura 11. Ubicación del Acuario y Museo del Mar El Rodadero. (Tomado de: Morales, 2011).



Figura 12. Acuario y Museo del Mar El Rodadero.

Es una organización creada para fomentar el respeto hacia el medio ambiente y la diversidad marina, ofrecen una experiencia de contacto con la riqueza natural a través de un recorrido que comprende la cultura Tayrona, observación de microscópicos animales invertebrados, hasta las demostraciones de mamíferos marinos, con el objetivo de promover y ejecutar programas de educación, comunicación, recreación e investigación, que permitan conservar la biodiversidad (Trujillo *et al.*, 2017). Todo esto, debido a que es un lugar estratégico por su ubicación, para el estudio de la flora y fauna marina, la ejecución de proyectos experimentales y actividades ambientales, como la liberación de tortugas, rescate de animales, caza del pez león y eventos de la comunidad científica, realizados con el apoyo y aval de la Corporación Autónoma Regional del Magdalena – CORPAMAG y la Armada Nacional (Combatt, 2020).

Actualmente hace parte de la Asociación Colombiana de Parques, Zoológicos y Acuarios (ACOPAZOA) y la Asociación Internacional de Entrenadores de Mamíferos (IMATA), las cuales se encargan de la organización, la orientación del personal y cuidado de los animales (Morales-Rincón, 2011).

4.2. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR PARA INSTALACIÓN DE LAS GUARDERÍAS

El Acuario y Museo del Mar el Rodadero cuenta con una concesión marina de aproximadamente 10 metros adicionales de lo que comprende la infraestructura (Combatt, 2020), con una profundidad general de 6 metros, espacio adyacente donde se llevó a cabo la construcción de los viveros para los corales (Figura 13), sin interrupción del tránsito de las embarcaciones.



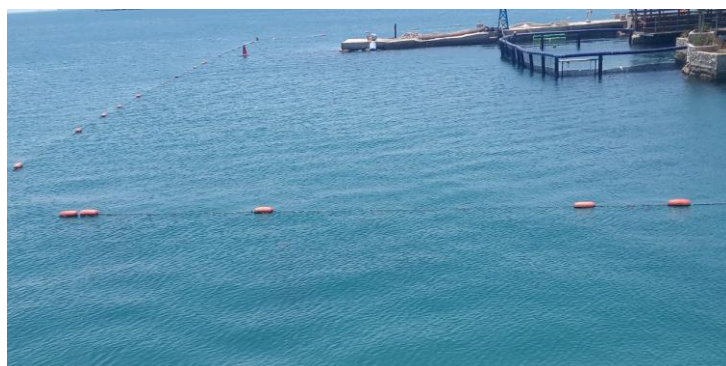


Figura 13. Área delimitada para la instalación de viveros; imagen de arriba, en amarillo se sombrea el área de uso (Tomado de: Combatt, 2020).

El área de uso para los viveros tiene una constante interacción con los ecosistemas del sector de Inca Inca, caracterizada por la presencia de litoral rocoso, con rocas ígneas y metamórficas muy resistentes al ataque del oleaje, y que permiten así generar un área protegida (Marriaga, 2009); además del desarrollo de ecosistemas o ambientes variados a lo largo de la franja litoral, en respuesta a la interacción de procesos geológicos y oceanográficos, dichos ambientes como por ejemplo, los fondos arenosos y fangosos de escasa profundidad dan lugar al asentamiento de praderas de fanerógamas y también otros ecosistemas como formaciones coralinas en la bahía (Castro-Sanguino, 2003).

4.3. FASE DE CAMPO

4.3.1. Diagnóstico de las guarderías de coral

En un primer momento se realizó el diagnóstico del estado de las guarderías de coral, observando la presencia de organismos como esponjas, moluscos, crustáceos y demás, producto del fouling adherido a las estructuras y el crecimiento de algas sobre estas.

En cuanto al estado de salud de las colonias, se buscó identificar y registrar el número de colonias con presencia de condiciones como sobrecrecimiento algal, presencia de predadores, donde los principales organismos que atacan los corales son gusanos de

fuego, caracoles, damiselas y coralimorfarios, presencia de blanqueamiento y signos de mortalidad parcial o enfermedades (Figura 14) (Galván *et al.*, 2019).

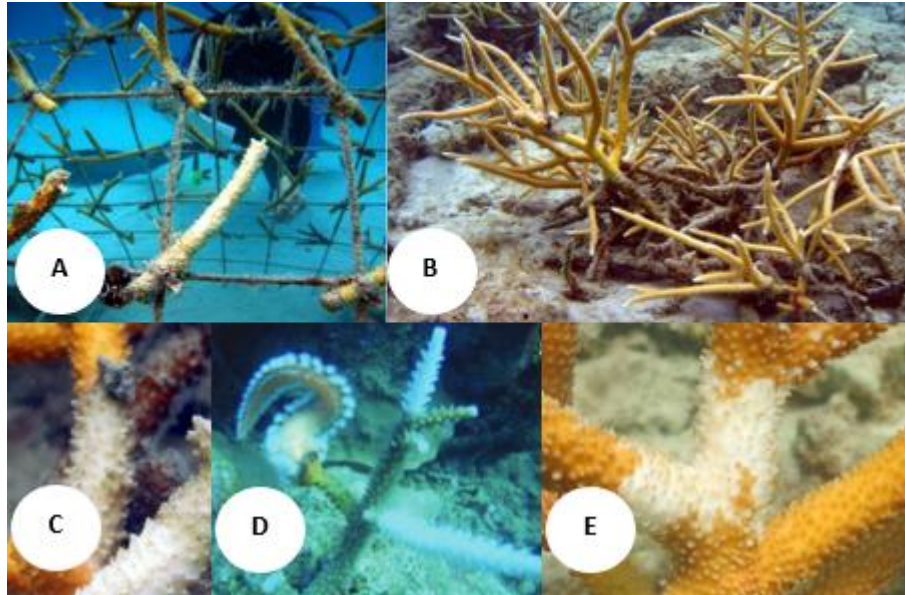


Figura 14. Condiciones de estrés en los corales. A) Se observa en la colonia superior izquierda palidez del tejido inferior de la colonia por blanqueamiento parcial, en la colonia de la derecha se presenta una colonia con color oscuro que resalta mortalidad antigua y en el centro se encuentra una colonia de mortalidad reciente y exposición de su esqueleto (Mercado-Molina *et al.*, 2013), B) Se observa muerte parcial del tejido en la base de la colonia (Mercado-Molina *et al.*, 2013), C) Mortalidad parcial de la colonia debido al caracol coralívoro (depredador de corales) *Coralliophila caribbaea* (Mercado-Molina *et al.*, 2013), D) Depredación de *Acropora cervicornis* por parte del gusano de fuego (*Hermodice carunculata*) (Calle-Triviño *et al.*, 2017), E) Coral cuerno de ciervo afectado por la condición "Shut down reaction" o SDR, por sus siglas en inglés, debido a un cambio repentino en un factor ambiental estresante, como escorrentías o descargas de contaminantes (Mercado-Molina *et al.*, 2013).

Para determinar la productividad de los viveros de coral tipo arbolito, se tuvo en cuenta las variables de supervivencia, crecimiento y estado actual de las colonias. La supervivencia se evaluó mediante el número de colonias vivas en cada una de las estructuras y su comparación con la cantidad de fragmentos inicialmente dispuestos en los viveros (Franke-Ante *et al.*, 2014).

El crecimiento de las colonias se obtuvo registrando la medida de los corales según la especie, en el caso de *A. cervicornis*, tomando la longitud en centímetros del eje principal de crecimiento, es decir, teniendo en cuenta el crecimiento lineal (Figura 15), y en el caso de *A. palmata*, registrando el área en cm² comprendida entre el eje mayor multiplicado por

el eje menor. Cabe resaltar que en los dos casos se presentan desviaciones, dado que, para *A. cervicornis* no se tienen en cuenta las ramificaciones por lo que se subestima el crecimiento real de la colonia, y para *A. palmata*, se magnifica la medida, puesto que se asume una forma rectangular para calcular el área de cada colonia, sin embargo, los datos así obtenidos brindan una visión general del crecimiento observado en las colonias (Franke-Ante *et al.*, 2014).



Figura 15. Diagrama de la medida de crecimiento lineal (altura máxima) en fragmentos de vivero de *Acropora cervicornis*. (Tomado de: Johnson *et al.*, 2011).

La toma de datos del crecimiento de los corales se llevó a cabo entre tres personas y el uso de un equipo de buceo, donde el buzo realizó el registro fotográfico del estado de los corales y brindó la orientación para tomar las medidas de los corales de manera organizada, las cuales, debido a la cantidad de colonias, se tomaron entre dos personas por apnea y en los arbolitos más poblados con la ayuda del buzo, haciendo uso de una regla para medición de cada colonia y una tabla acrílica para la anotación de las medidas *in situ* (Figura 16), este mismo procedimiento se realizó para el registro del crecimiento de colonias de *Acropora palmata*.



Figura 16. Registro del crecimiento lineal de las colonias *Acropora cervicornis*.

Con el fin de llevar un chequeo del proceso de restauración de las guarderías de coral, se realizó un registro fotográfico inicial de cada uno de los viveros tipo arbolito, así como del paso a paso del mantenimiento e instalación de nuevas estructuras.

4.3.2. Mantenimiento de las estructuras

A través de la revisión inicial del estado de los viveros tipo arbolito, se encontró que, si bien las estructuras presentan una invasión por crecimiento de fouling, este no llega a afectar o invadir directamente las colonias de coral, además, con el fin de evitar generar un estrés en los corales por el proceso de limpieza, solo se realizó el mantenimiento de los viveros que presentaron un número muy bajo de colonias, de manera que, el procedimiento se hizo tomando dos arbolitos que tenían en promedio 10 colonias, se retiraron todos los corales y se seleccionaron los fragmentos saludables, es decir, que no presentaran blanqueamiento, mortalidad o presencia de algas, de estos fragmentos, los de menor tamaño fueron trasplantados a otras guarderías, mientras que aquellas colonias de mayor tamaño de dispusieron para fragmentación, con el fin de generar nuevos fragmentos para repoblar los dos árboles luego de su mantenimiento; la limpieza de la estructura se llevó a cabo en tierra para facilitar el proceso, allí se removieron los organismos asentados/reclutados en la estructura, haciendo uso de espátulas plásticas (Figura 17), posteriormente, se fijaron los tubos horizontales de los cuales se sostienen las colonias al tubo vertical principal, mediante tornillos en cada una de las uniones, para una mayor estabilidad de la estructura.



Figura 17. Limpieza de guardería tipo “arbolito”; a) Antes y b) Después.

4.3.3. Propagación asexual de corales

La obtención de corales para cultivo en las guarderías se hizo mediante propagación asexual de corales, por fragmentación de colonias donadoras que estuvieran visualmente sanas. En las colonias ramificadas como *A. cervicornis*, la fragmentación se hizo manual, realizando el corte en la periferia de la colonia, hacia la coyuntura o cerca de la unión entre la rama principal y el fragmento objetivo, extrayendo ramas pequeñas de entre 5 a 7 cm de largo (Figura 18), teniendo la precaución de no generar daños en las colonias donadoras, como por ejemplo, evitando tocar la colonia en partes donde no es necesario impactar para realizar la ruptura (Mercado-Molina *et al.*, 2013), razón por la cual, las colonias se dispusieron sobre un recipiente de plástico durante el proceso; también se tuvieron en cuenta algunos aspectos importantes resaltados por Shafir *et al.* (2010), como: no tomar más del 10% de la colonia y realizar cortes diagonales para minimizar la colonización por organismos erodadores, esto ayuda a reducir la posibilidad de impactos negativos en los corales.



Figura 18. Fragmentación manual de una colonia donadora de *Acropora cervicornis*.

4.3.4. Diseño de guarderías de coral

Para llevar a cabo la jardinería de coral en la restauración de los corales del género *Acropora*, se tuvieron en cuenta ciertas pautas para la selección, diseño y construcción de viveros exitosos, proporcionados por la Guía de Restauración de *Acropora* del Caribe (Johnson *et al.*, 2011). Dentro de los aspectos a resaltar se encuentra:

Selección del sitio:

- **Poblaciones silvestres existentes:** para el cual se tuvo en cuenta que el área del Acuario y Museo del Mar El Rodadero se encuentra comprendida dentro de la distribución de los corales del género *Acropora* en el Caribe por lo que provee las condiciones ambientales adecuadas para el crecimiento de las colonias.
- **Profundidad:** los viveros construidos se ubicaron teniendo en cuenta las profundidades donde normalmente se encuentra la especie, para el caso de los viveros de *Acropora* deben estar entre 2 y 10 m.
- **Movimiento del agua:** las guarderías se establecieron dentro de la bahía de Inca Inca, dado que allí el movimiento del agua es moderado a bajo, por lo que los corales se encuentran mas protegidos, reduciendo así los posibles daños físicos en las plataformas y corales.

Diseño de viveros: Aca se resaltan diferentes tipos de estructuras que han sido utilizadas con éxito en el Caribe, sin embargo, su implementación depende de los objetivos del proyecto y las condiciones ambientales

- **Vivero flotante o de media agua:** estos pueden ser líneas que van de manera vertical o horizontal, y también pueden usarse marcos a media agua que son estructuras horizontales, unidos al fondo por anclajes y suspendidos por flotadores subterráneos.
- **Vivero fijo al fondo:** se pueden encontrar los viveros de bloque que implican el uso de bloques de hormigón o losas de cemento anclados al fondo, o también marcos de vivero, que son marcos de malla de metal o plástico unidos al fondo por anclajes, en este caso, las plataformas sostienen líneas suspendidas tendidas a lo largo del marco.

De esta forma, la elección de los diseños de las guarderías a implementar se realizó teniendo en cuenta la comparación entre los tipos de viveros proporcionada por Johnson *et al.* (2011) y teniendo en cuenta el objetivo del proyecto, de acuerdo a esto, los viveros flotantes van a brindar una mayor eficiencia del uso del espacio, si se desean implementar varias estructuras en el Acuario, tienen una alta capacidad en el número de fragmentos que puede contener, y la depredación, acumulación de algas y por tanto el mantenimiento necesario es menor en comparación con los viveros fijos, por lo tanto, los costos de mantenimiento y también de producción son bajos, a razón de estos beneficios, se eligió el diseño de viveros flotantes para el Acuario. Por otra parte, los viveros fijos presentan un alto potencial para su implementación en la bahía Inca Inca, como parte de la iniciativa *Banco de Biodiversidad Marina de la Bahía de Inca Inca*, debido a que, a diferencia de las estructuras flotantes, tienen una duración más alta y cuentan con el potencial para proporcionar un hábitat inmediato para peces e invertebrados, objetivos claves para el desarrollo de esta iniciativa.

Las guarderías ya presentes en el Acuario son viveros flotantes de tipo “arbolito” (Figura 19), siguen el diseño original de Coral Restoration Foundation, traído a Colombia por Ken Nedimyer y la Fundación Corales Vivos, como apoyo a la guardería de coral que se

desarrolla dentro del Convenio PNNC-CEINER (Centro de Investigación, Educación y Recreación) (Zárate-Arévalo *et al.*, 2019) (Figura 20). Son construidos a partir de tubos de PVC, un tubo vertical de 2 metros de alto y 6 tubos horizontales que conforman las líneas o eslabones de los cuales son suspendidos los corales, la estructura se fija al fondo con un peso hecho de concreto y se utilizan boyas sujetadas con cuerdas a la estructura, como sistema de flotación. Todos los arbolitos ya presentes en el Acuario fueron poblados con la fragmentación de corales de oportunidad recopilados en el área de Santa Marta, inicialmente, se implementó un vivero tipo arbolito con 10 fragmentos cada uno de 5 a 7 cm de longitud de *Acropora cervicornis* hace dos años, luego, hace año y medio se construyeron dos arbolitos con fragmentos de entre 3 y 5 cm² de *Acropora palmata*, igualmente provenientes de fragmentación de corales de oportunidad, los arbolitos tenían una capacidad de 60 y 36 fragmentos, finalmente, hace un año se dispusieron siete arbolitos más, todos de la especie *Acropora cervicornis*, en este caso los fragmentos con los cuales se poblaron los arbolitos fueron obtenidos de los viveros ya dispuestos en el Acuario y la capacidad de cada guardería estuvo entre 20 y 30 colonias.



Figura 19. Guarderías piloto tipo arbolito presentes en el Acuario y Museo del Mar El Rodadero.

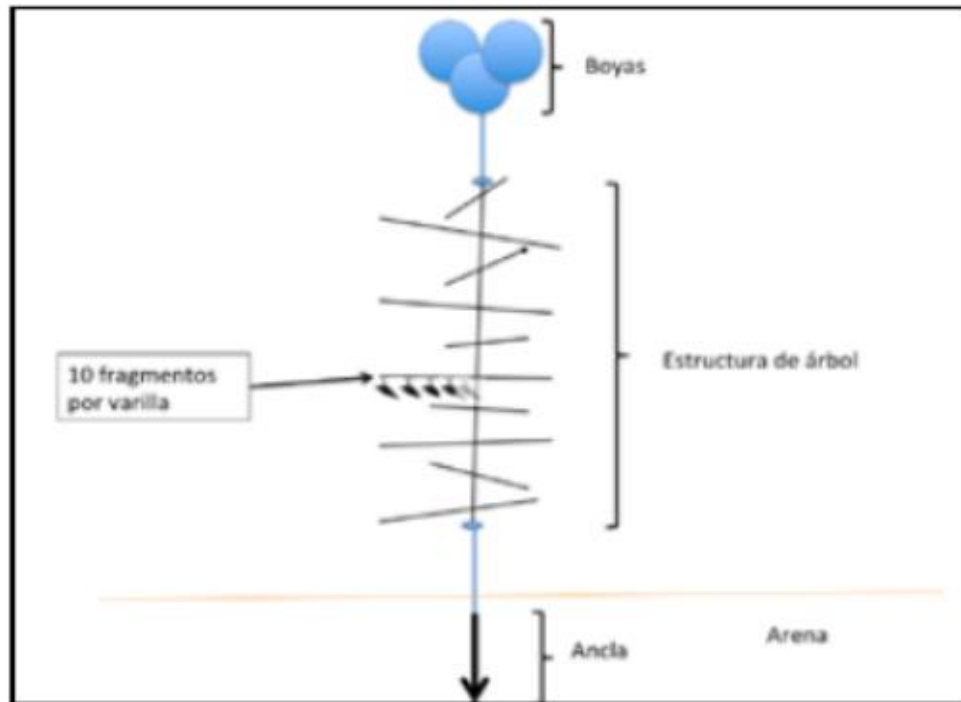


Figura 20. Esquema de guarderías vertical flotante tipo arbolito (Tomado de: Zárate-Arévalo *et al.*, 2019).

En los viveros tipo arbolito, sobre los cuales se realizó la limpieza total de la estructura, el repoblamiento para su posterior reincorporación, se hizo induciendo a la reproducción asexual de colonias donadoras de *Acropora cervicornis* presentes en otros viveros, por fragmentación manual, proceso llevado a cabo in situ, dado que no fue necesario el transporte de fragmentos o su exposición fuera del agua, de manera que, el proceso de cultivo se realizó acto seguido a la fragmentación (Figura 21); los fragmentos se dispusieron 4 por cada tubo horizontal o eslabón, para un total de 24 corales en cada guardería, de tamaño entre 5 y 7 cm cada uno.

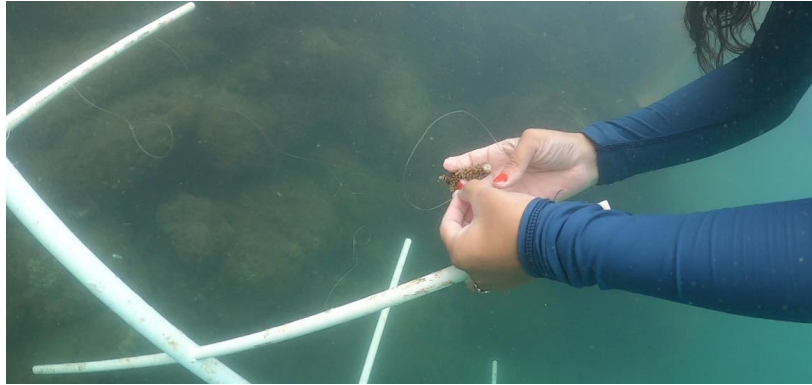


Figura 21. Montaje de fragmentos de colonias donadoras de *Acropora cervicornis* en un vivero tipo arbolito.

Finalmente, el diseño de las nuevas guarderías fueron viveros flotantes verticales de tipo “tendedero”, modificando el diseño de las guarderías colgantes implementadas en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo (PNN Corales) en la isla Tesoro (Zarza *et al.*, 2014), las modificaciones implicaron la inserción de dos tubos de PVC horizontales, ubicados arriba y abajo de la estructura para brindarle una mayor estabilidad al vivero ante la acción del oleaje y demás, y el uso de solo un sistema de anclaje y de flotación (Figura 22).

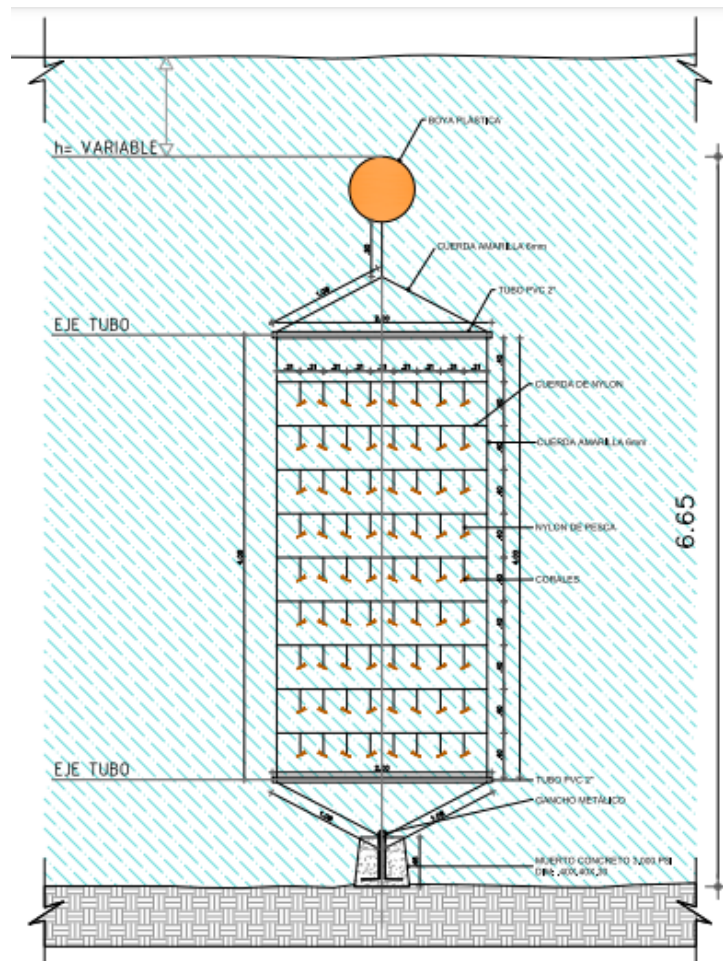


Figura 22. Esquema de la guardería colgante tipo “tendedero” implementada en el Acuario y Museo del Mar el Rodadero.

Los materiales requeridos para las guarderías de tipo tendedero fueron: dos tubos de PVC de 2 metros, cuerda ancha de 20 metros para los dos soportes verticales de la estructura, 30 metros de cuerda delgada para los nueve eslabones horizontales de los cuales suspenden los fragmentos de coral, nylon para sujetar los fragmentos a la guardería, dado que se observó una mayor resistencia de este material al asentamiento de organismos incrustantes y algas, y un sistema de anclaje constituido por un muerto o cubo de concreto amarrado por cuerdas a la estructura, al igual que la boya como sistema de flotación; se emplearon nudos ballestrinque y precintos de plástico para fijar cada una de las uniones tanto de las cuerdas como con los tubos de PVC y la boya de flotación (Figura 23A), además, las líneas horizontales se dispusieron cada 40 cm y la ubicación de cada nylon en estas líneas, a donde se fijan los fragmentos, se determinó cada 20 cm (Figura 23B), con

el fin de asegurar un espacio optimo entre las colonias y evitar que estas se unan entre sí o se genere una mortalidad masiva de las colonias, de manera que, por cada eslabón se tuvo una capacidad de 8 fragmentos para un total de 72 fragmentos en este tipo de vivero, toda la estructura se construyó en tierra para una mejor manipulación de los materiales, luego de construida se procedió a realizar la fragmentación de colonias donadoras presentes en las guarderías tipo arbolito.



Figura 23. Construcción de guardería tipo tendedero; A) fijación de las cuerdas por nudos y precintos de plástico en cada unión, B) prototipo de vivero terminado.

El repoblamiento con los fragmentos obtenidos de las colonias donadoras, se realizó bajo el agua cerca de una superficie para facilitar el cultivo de los corales, durante el proceso los fragmentos se mantuvieron en un recipiente con un constante flujo de agua (Figura 24), con el fin de reducir el estrés en los corales. Posteriormente, se llevó la estructura al lugar de fijación al peso muerto, teniendo en cuenta que la profundidad adecuada para su ubicación debía ser de 7 metros aproximadamente.



Figura 24. Montaje de fragmentos en los viveros tipo tendadero.

4.4. FASE DE GABINETE

Con el fin de calcular la productividad de los viveros tipo arbolito presentes en el Acuario, se utilizó los datos obtenidos del número de colonias presentes en cada guardería y el número de colonias cultivadas inicialmente, para determinar la supervivencia de las colonias de *Acropora cervicornis* mediante la siguiente fórmula (Galván *et al.*, 2019):

$$Supervivencia = 100\% - \left[\frac{M}{T} \right] * 100$$

Donde,

M: Número de corales muertos o ausentes

T: Número total de corales cultivados en el vivero

Para el análisis del estado de salud, se estimó la frecuencia de ocurrencia (FO) de cada condición, mediante la siguiente ecuación (Zárate-Arévalo *et al.*, 2019):

$$FO = \left(\frac{Frag. con la condición}{Frag. totales} \right) \times 100$$

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. ESTADO DE LAS GUARDERÍAS TIPO ARBOLITO






En el diagnóstico del estado actual de las guarderías del acuario, se encontró que actualmente hay 9 viveros tipo arbolito con un total de 183 colonias, de estos, 7 estructuras contienen 94 colonias de *Acropora cervicornis* y las otras 2 estructuras 89 colonias de *Acropora palmata* (Tabla 1 y 2), cabe resaltar que en todos los datos tomados, tanto del registro fotográfico, como supervivencia, crecimiento y estado de salud, solo se documentan 6 arbolitos de *A. cervicornis*, debido a que la toma de datos se hizo luego de realizado el mantenimiento de una de las estructuras, razón por la cual esta no se toma en cuenta para el diagnóstico inicial; al comparar este registro con datos iniciales de las guarderías, se determinó que uno de los viveros fue destruido, puesto que inicialmente se disponía de 10 viveros tipo arbolito, posiblemente, en consecuencia al evento de mar de leva derivado del huracán Iota que se formó en aguas del mar Caribe y el cual, generó afectaciones a lo largo del litoral costero de Santa Marta y específicamente en el Acuario, donde se presentaron inundaciones en toda la infraestructura, además, la acción del oleaje provocó el rompimiento de una de las piscinas que se encontraba adecuada para el mantenimiento de mamíferos marinos, esta se ubicaba cerca del área delimitada para el establecimiento de las guarderías de corales, por tanto, toda esta zona se vio altamente influenciada, llegando a ocasionar el desplazamiento de algunos viveros, inclusive fuera del área delimitada, significando también un aumento en la mortalidad de los corales por desprendimiento, dado que en el caso de *A. cervicornis* se evidenció el 73% de la mortalidad corresponde a desprendimiento y en *A. palmata*, el 43% de los corales muertos se debe a esta causa. Este factor ha sido relevante por su incidencia en los corales acroporidos, debido a que dentro de las causas naturales que ha generado el deterioro de las poblaciones de *Acropora* y en especial *A. cervicornis*, se encuentran los brotes de enfermedades, daños físicos causados por huracanes, degradación de la calidad del agua, presencia de depredadores, entre otros (Mercado-Molina *et al.*, 2013). Los daños físicos causados por huracanes implican la rotura y desprendimiento de fragmentos, así como daños en las estructuras de restauración por la acción del oleaje (Franklin *et al.*, 2006), además de esto, se ha evidenciado dentro de los impactos marinos que pueden derivarse de estos eventos, el descenso de la temperatura y la disponibilidad de luz, dado que se




genera una mayor turbidez y sedimentación, provocando el aumento en la vulnerabilidad de los corales al blanqueamiento y efectos de las enfermedades (Wells *et al.*, 2010), puesto que *Acropora* spp requiere una buena calidad del agua para prosperar, específicamente una baja sedimentación y mínima fluctuación de temperatura durante periodos de tiempo diarios, mensuales o anuales, debido a que ante temperaturas muy altas o bajas y las fluctuaciones drásticas se puede causar la mortalidad de los corales (Johnson *et al.*, 2011).

En seguimiento a esto, la mortalidad total que se evidencia en algunas colonias de una de las guarderías de *A. palmata*, puede ser debida al desplazamiento de este arbolito fuera del área definida para el establecimiento de los viveros, dado que, durante la revisión de los mismos, esta guardería se encontró más cerca del tránsito de las embarcaciones, por lo tanto, podría presentar una influencia en cuanto a factores como la calidad del agua, debido a un posible aumento en la turbidez, condiciones que aumentan la posibilidad del desarrollo de enfermedades y mortalidad en respuesta al estrés (Johnson *et al.*, 2011).

Por otra parte, debido a la falta de mantenimiento desde la construcción de los viveros, se observó una alta colonización de organismos incrustantes, dentro de los que se encontraron, crustáceos de la familia Balanidae principalmente, esponjas, poliquetos (anélidos) de la familia Nereididae, moluscos como algunos bivalvos y malacostráceos de las familias Shaeromatidae y Xanthidae, así como también la presencia de macroalgas en las estructuras de restauración (Tabla 1), todos estos organismos implican una competencia espacial para los corales, afectando la supervivencia de los fragmentos de coral, puesto que, si bien los corales se encuentran suspendidos, aquellos en los que se evidenció contacto con la estructura posiblemente por acción del oleaje, presentaban mortalidad parcial, y algunos, en los cuales había un crecimiento algal sobre el nylon del cual suspenden los corales, hasta llegar a cubrir parte del coral, de manera que para maximizar el crecimiento y la salud de los fragmentos es necesario realizar un mantenimiento periódico de las viveros, lo que implica la remoción de los individuos asociados a la estructura (Johnson *et al.*, 2011).

Tabla 1. Lista de guarderías tipo arbolito con las especies *Acropora cervicornis* y *Acropora palmata*, presentes en el Acuario y Museo del Mar el Rodadero.

No. Arbolito	Especie	Tiempo de construido	Foto
1	<i>Acropora cervicornis</i>	1 año	
2	<i>Acropora cervicornis</i>	1 año	
3	<i>Acropora cervicornis</i>	2 años	
4	<i>Acropora cervicornis</i>	1 año	
5	<i>Acropora cervicornis</i>	1 año	

6	<i>Acropora cervicornis</i>	1 año	
7	<i>Acropora palmata</i>	1.5 años	
8	<i>Acropora palmata</i>	1.5 años	

5.1.1. Supervivencia

A pesar del evento de mar de leva al que fueron sometidos los corales cultivados en los viveros tipo arbolito, que por consiguiente generó el desprendimiento de varias colonias y así mismo perturbaciones en el estado de salud de los corales, generando un aumento en la mortalidad total, la sobrevivencia observada en las colonias fue alta, dado que se evidenció la supervivencia en promedio del 82% de los corales y exactamente del 90% para *A. palmata* y del 80% para *A. cervicornis* (Tabla 2), esto puede deberse a que entre las condiciones óptimas para el crecimiento y sobrevivencia de los corales, está la baja sedimentación y disminución de la competencia de otras especies (Johnson *et al.*, 2011), requisitos que brindan los viveros de corales, dado que en estos se prioriza el cultivo de las

especies objetivo y en el caso de guarderías de tipo flotantes, tienen como característica la baja sedimentación en comparación con viveros de tipo fijo, debido a que en estas estructuras se tiene un mayor flujo de agua que además de reducir la cantidad de sedimentos resuspendidos, también provee una mayor circulación de nutrientes e intercambio de gases lo que beneficia el crecimiento de las colonias, así como un mayor aislamiento de algunos depredadores (Pizarro *et al.*, 2014).

Tabla 2. Porcentaje de supervivencia de los corales *Acropora cervicornis* y *Acropora palmata* presentes en las guarderías tipo arbolito.

No. Arbolito	Especie	# Corales vivos	# Corales muertos	# Corales inicial	Supervivencia (%)
1	<i>A. cervicornis</i>	8	2	10	80
2	<i>A. cervicornis</i>	8	4	12	67
3	<i>A. cervicornis</i>	17	3	20	85
4	<i>A. cervicornis</i>	24	6	30	80
5	<i>A. cervicornis</i>	23	1	25	96
6	<i>A. cervicornis</i>	14	6	20	70
Total <i>A. cervicornis</i>		94	22	117	80
7	<i>A. palmata</i>	60	0	60	100
8	<i>A. palmata</i>	29	7	36	81
Total <i>A. palmata</i>		89	7	96	90
Total		183	29	213	82

Por otra parte, al comparar los resultados obtenidos de la supervivencia con estudios anteriores de *A. cervicornis*, se pudo corroborar los valores encontrados, dado que por ejemplo, en el proyecto realizado en los Cayos del Alto Florida para la recuperación de esta misma especie, se utilizaron tres diseños diferentes, entre estos los arboles de corales, y en los cuales se alcanzó una supervivencia antes del transplante del 80% (Johnson *et al.*, 2011), sin embargo, en otro estudio, sobre la evaluación de morfotipos de *Acropora cervicornis* en guarderías colgantes realizado por Zarate *et al.* (2019), se documentó una sobrevivencia entre el 90 y 100% de los corales, cabe resaltar que para este caso, ningún fragmento presentó mortalidad por desprendimiento, de manera que, la diferencia en la supervivencia puede ser ocasionada por la pérdida de corales al separarse de la estructura.

En el caso de *Acropora palmata*, no se encontraron datos de su sobrevivencia en viveros tipo arbolito, sin embargo, en un estudio realizado en Isla Fuerte, ubicada al costado sur oriental de la plataforma continental del Caribe colombiano, se cultivaron fragmentos de oportunidad en cuerdas colgantes a una estructura fija a media agua, donde se obtuvieron

resultados del 68.3% de corales vivos (Casas-Figueroa, 2017), una sobrevivencia mucho menor a la obtenida en el presente trabajo, por otro lado, en un lugar más cercano al área de estudio, el Parque Nacional Natural Tayrona y exactamente en la habia de Gayraca, se construyeron guarderías de bandejas a media agua, las cuales arrojaron una supervivencia tanto de *A. cervicornis* como de *A. palmata* del 90% (Franke-Ante *et al.*, 2014), lo cual esta acorde con los resultados obtenidos de los corales vivos de *A. palmata*.

5.1.2. Estado de salud de los corales

En el seguimiento del estado de salud de los corales, se identificaron inicialmente cuatro condiciones (Figura 25), donde, a través del cálculo de la frecuencia de ocurrencia, se puede determinar que la mortalidad parcial fue la condición que más incidencia presentó tanto en *A. cervicornis* como en *A. palmata* (Tabla 3), evidenciándose en las ramificaciones y en la base de la colonia, en el caso específico de *A. palmata*, se observó una mayor presencia de mortalidad parcial a nivel de la base de la colonia, atribuido posiblemente a la forma de crecimiento que posibilita el asentamiento de algas y epibiontes en el centro de la colonia, sin embargo, si bien se observó una alta sobrevivencia, la mortalidad que presentan los corales en el Caribe generalmente se relaciona con tormentas y otras alteraciones como anomalías de la temperatura, depredación y mala calidad del agua, inclusive, se ha identificado dentro de las tres principales preocupaciones para la estabilización de fragmentos, así como durante las fases de crianza de las actividades de restauración de arrecifes, el daño físico causado por las olas y tormentas, la depredación y la competencia por algas y competidores espaciales (Young *et al.*, 2012), de manera que, haciendo alusión al evento de mar de leva presentado meses atrás, se puede relacionar la mortalidad parcial y total de los corales en respuesta a este factor estresante, debido a que la mortalidad evidenciada no era reciente, por tanto puede ser consecuencia de un agente que generó una variación drástica en las condiciones ambientales.

Además de las repercusiones oceanográficas sobre los corales, también se resalta la competencia por algas que pueden limitar la supervivencia y crecimiento de los corales (Johnson *et al.*, 2011), induciendo consecuentemente a la mortalidad de las colonias bajo la ausencia de un mantenimiento adecuado de las estructuras. La frecuencia de ocurrencia de algas sobre los corales fue baja, dado que solo estuvo presente en cuatro viveros con

una incidencia entre el 4 y 22% de las colonias (Tabla 3), en la figura 25A, hay un recubrimiento de gran parte de la colonia por algas, pero en la mayoría de las veces se presentaban en menor proporción y ubicadas hacia los extremos de la colonia, además, se pudo apreciar que el contacto de las algas con los corales era mediante el nylon, dado que la estructura se encontraba completamente cubierta por epibiontes y algas, facilitando así la comunicación con otros organismos competidores, cabe resaltar que, si bien el recubrimiento de los corales por algas genera blanqueamiento, en varias colonias de *A. cervicornis* con presencia de algas, no se observó ningún palidecimiento, en cambio el tejido se encontraba en condiciones normales, por lo tanto, se deduce que en algunos corales no había una afectación directa de las algas, sin embargo, según estudios anteriores, se ha determinado que aunque la eliminación de macroalgas no proporciona ningún beneficio detectable en los primeros dos meses, ni una mejora posterior en la sobrevivencia, si muestra un mayor rendimiento en cuanto al crecimiento de los fragmentos (Forrester *et al.*, 2011), en conclusión, la presencia de macroalgas tiene efectos negativos en las condiciones naturales de los corales, a nivel de crecimiento y blanqueamiento del tejido, por lo que, el mantenimiento adecuado de los colonias durante el tiempo de crianza en el vivero, debe implicar la remoción de periódica de macroalgas y demás organismos incrustantes.

Por otra parte, el blanqueamiento de los corales en ausencia del recubrimiento por algas, se catalogó como otro signo de deterioro, con una frecuencia de ocurrencia baja, no mayor al 17% de las colonias presentes en un vivero (Tabla 3), y observado únicamente en las colonias de *A. cervicornis* hacia la parte terminal de las ramificaciones (Figura 25D).

Tabla 3. Estado de salud expresado en la frecuencia de ocurrencia (FO) de cada condición.

No. Arbolito	Especie	# Total colonias	Frecuencia de ocurrencia (FO) en %			
			Blanqueamiento	Presencia algas	Mortalidad parcial	Mortalidad total
1	<i>A. cervicornis</i>	8	13	0	13	0
2	<i>A. cervicornis</i>	8	0	0	13	0
3	<i>A. cervicornis</i>	17	0	0	41	6
4	<i>A. cervicornis</i>	24	8	4	0	0
5	<i>A. cervicornis</i>	23	17	22	13	4
6	<i>A. cervicornis</i>	14	14	0	21	29
7	<i>A. palmata</i>	60	0	13	15	0
8	<i>A. palmata</i>	29	0	7	14	14

Dentro de las causas que producen el blanqueamiento, identificado como la alteración de la relación simbiótica entre los corales hermatípicos y las zooxantelas, que genera la expulsión de estas últimas; se encuentran, variaciones en la temperatura superficial del mar, cambios de salinidad, sedimentación, irradiación, eventos extremos, entre otros (Romero-Rodríguez *et al.*, 2014; Murillo, 2012), sin embargo, la ocurrencia del blanqueamiento, no sigue un patrón específico que permita establecer una posible causa como la presencia de un estrés oxidativo u otro carácter, por lo tanto, dicho palidecimiento puede atribuirse a dos causas específicas, una es la enfermedad de la banda blanca, caracterizada por atacar exclusivamente corales acropóridos (*A. palmata* y *A. cervicornis*) en el mar Caribe, se percibe inicialmente como una banda blanca en el tejido en la base de las ramas y progresa hacia la parte superior de la colonia de manera concéntrica (Gil Agudelo *et al.*, 2009), lo que puede explicar el patrón de blanqueamiento evidenciado en los corales.

Otra posible causa es depredación por gusanos de fuego (*Hermodice carunculata*), los cuales se observan tanto en la base como en los ápices de las colonias digiriendo los pólipos del coral, dejando consigo, un rastro de blanqueamiento en los extremos de las ramificaciones (Zarza *et al.*, 2014), tal como se aprecia en la figura 15D. No se puede deducir la depredación como causa del blanqueamiento, debido a que no se encontró ningún gusano de fuego sobre los corales, sin embargo, se hace énfasis en que en el sustrato, cerca de la base de anclaje de los viveros, había una alta cantidad de gusanos de fuego, por lo tanto, el monitoreo y mantenimiento continuo de los corales, eliminando el posible acceso de los depredadores, puede permitir establecer si realmente hay una incidencia de depredación, y así disminuir el blanqueamiento y posterior mortalidad de las colonias, o el blanqueamiento se debe a la enfermedad de la banda blanca.

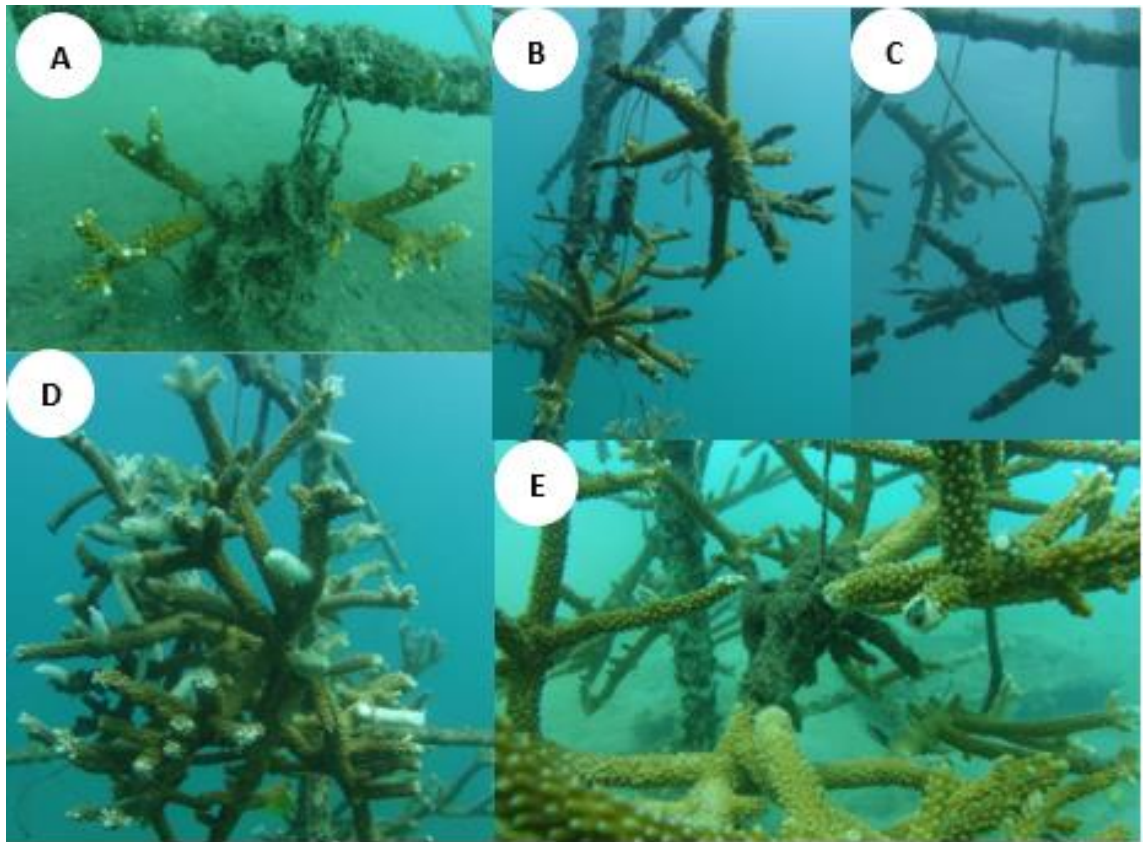


Figura 25. Presencia de afectaciones en los corales; A) Colonización por algas tanto del nylon como sobre el coral; B) Mortalidad parcial antigua; C) Mortalidad total; D) Blanqueamiento en los extremos de las ramificaciones; E) Mortalidad parcial antigua en la base de la colonia.

5.1.3. Crecimiento

Al inicio del cultivo de los corales, en el caso específico de *A. cervicornis*, se fragmentaron corales de 5 cm, luego de 1 año de cría de los corales, se observó un incremento de la longitud de los corales entre 10 cm y 23,7 cm (Tabla 4), de manera que, en promedio esta especie tuvo un crecimiento de 17,8 cm/año, similar a lo observado en el estudio de Zárate-Arévalo (2019) sobre el crecimiento de *A. cervicornis* en guarderías colgantes tipo árbol, en el cual se partieron de fragmentos de 10 cm de longitud y pasados 45 días se obtuvo el mayor crecimiento promedio en 13,342 cm, de manera que, si se tiene como referencia un crecimiento lineal, en el año se estima un aumento en el crecimiento de hasta 17.3 cm aproximadamente, lo cual concuerda con los resultados del presente estudio, sin embargo, a través del monitoreo continuo del comportamiento de esta especie de coral, se determinó que el crecimiento no es lineal, y según el tamaño de la colonia pueden presentarse variaciones en la tasa de crecimiento del coral (Zárate-Arévalo *et al.*, 2019), por lo tanto, el

crecimiento lineal sería un valor sobreestimado, y el aumento de tejido vivo observado en los resultados, fue mayor al obtenido por Zárate-Arévalo.

Por otra parte, una de las guarderías de *A. cervicornis* tuvo un tiempo de cría de 2 años, con un promedio en el aumento del crecimiento observado en las colonias de 9,4 cm, es decir, la mayoría de las colonias alcanzaron tallas de 15 cm aproximadamente (Tabla 4), en consecuencia, el promedio del crecimiento es menor al mínimo presentado en las guarderías que tuvieron el tiempo de cría de 1 año, lo cual puede relacionarse con varios factores como, la falta de una realización programada de las actividades de mantenimiento, lo que va a permitir una acumulación de sedimento, sobrecrecimiento de epibiontes y competencia con algas, presiones del medio natural que pueden afectar las tasas de crecimiento si no se tiene una remoción periódica de estos agentes (Zarza *et al.*, 2014), por ejemplo, en el caso del crecimiento de macroalgas sobre los corales, no remover el recubrimiento de estas impide que se reanude el crecimiento de las colonias, ya que no podría regenerar los ápices de crecimiento solo en el caso en que ocurra recapamiento, pero el crecimiento se vería ralentizado (Mercado-Molina *et al.*, 2013). Otro factor es la incidencia de condiciones ambientales como la temperatura y la intensidad de la radiación ultravioleta (UVR), dado que el cambio en la temperatura puede generar una alteración entre la relación simbiótica de corales y zooxantelas, y por consiguiente blanqueamiento y mortalidad en las colonias (Romero-Rodríguez *et al.*, 2014), así mismo, la intensidad de la radiación ultravioleta afecta los corales disminuyendo los pigmentos fotosintéticos, la tasa de extensión lineal y la densidad esquelética (Torres *et al.*, 2007). Todos estos aspectos repercuten en el crecimiento de los corales y a mayor escala pueden generar una mortalidad parcial y/o total, lo cual se observó en la alta frecuencia de ocurrencia de la mortalidad parcial para esta guardería (Tabla 3), además de esto, un aspecto a tener en cuenta son las características genéticas, dado que según Rinkevich (2000), las tasas de crecimiento pueden variar dependiendo del genotipo de las colonias, donde las diferencias en el crecimiento pueden ser altamente significativas, con una diferencia de hasta seis veces en el crecimiento relativo basado únicamente en el genotipo (Bowden-Kerby, 2008), teniendo en cuenta esto, la obtención de los fragmentos de oportunidad para el repoblamiento de los viveros tipo arbolito fue provenientes de tres genotipos diferentes, puede que el genotipo del coral de oportunidad, a partir del cual se fragmentaron los corales para disponer en esta

primera guardería, tenga una tasa de crecimiento menor en comparación con los genotipos de los demás viveros.

En el caso de *A. palmata*, se obtuvo un promedio de incremento del tejido de 145,6 y 205,5 cm² en año y medio de cría (Tabla 5), de manera que anualmente el incremento de tejido de *A. palmata* es de 117,03 cm² y mensualmente de 9,75 cm², comparando estos resultados con estudios anteriores, como el realizado en Puerto Morelos, Quintana Roo, donde se reporta una extensión lineal de la colonia de 6.8 cm/año y un incremento de tejido promedio de 200 cm² por mes (Padilla y Lara, 1996), se deduce que el aumento en el crecimiento de los corales es mucho menor para el presente trabajo, si se tiene en cuenta el área de incremento de tejido vivo, sin embargo, Padilla y Lara (1996) determinaron que el crecimiento de la colonia es dependiente de su tamaño, de modo que las colonias de mayor talla presentan un incremento en el crecimiento mayor en comparación con colonias de menor tamaño, lo cual se comprueba con el mayor crecimiento presentado en las colonias del mismo estudio, dado que el tamaño de las colonias sobre las que se tomaron los datos tenían tamaños de 40000 cm², mientras que las del presente estudio tenían una medida inicial de 3 cm², lo que explica el menor crecimiento mensual, comportamiento también observado en otros trabajos realizados para el Caribe, donde se reporta que la utilización de fragmentos de mayor tamaño promueve una mayor supervivencia y productividad que los fragmentos de menor tamaño (Young *et al.*, 2012), por otra parte, si se compara el crecimiento lineal o extensión lineal, comprendida como el crecimiento horizontal de la colonia, es decir, el largo de las ramas, se observa que los resultados son acordes, dado que como se observa en el Anexo A, se tuvo un crecimiento lineal en año y medio de 10,6 y 13,8 cm, de manera que, como aproximado anual se estima un crecimiento lineal de 8,13 cm, mayor al reportado por Padilla y Lara (1996) y dentro del rango registrado para *A. palmata* en el Caribe de 4 a 11 cm anual (Sian Ka'an, 2013). En relación a esto, se recomienda para posteriores mediciones, el cálculo del volumen ecológico, dado que brinda una unificación de las medidas teniendo en cuenta el largo, ancho y alto de las colonias, determinando así el crecimiento tridimensional de los fragmentos en guarderías, y lo cual va a permitir observar aspectos específicos de su crecimiento, puesto que, en cierta fase, los corales reducen la tasa de crecimiento vertical y permanece constante el incremento

horizontal de la colonia, aspecto que no se evidencia mediante la estimación del crecimiento lineal y el área del coral (Shaish *et al.*, 2010).

Tabla 4. Medidas del crecimiento lineal de las colonias de *Acropora cervicornis* presentes en las guarderías tipo arbolito del Acuario, expresado en cm, donde las líneas hacen referencia a cada eslabón del cual suspenden los corales y el promedio es sobre el aumento del crecimiento de los corales a partir de la talla inicial de 5 cm. (No hay: significa que todos los corales en esta línea sufrieron mortalidad por desprendimiento; N/A: el arbolito no contiene este eslabón o línea; muerta: colonia con mortalidad total).

No. Arbolito	Especie	Tiempo de construido	Crecimiento (cm)						Promedio de crecimiento (cm)	
			No. Colonia	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5		Línea 6
1	<i>Acropora cervicornis</i>	1 año	1	No hay	15	20	20	18	N/A	14,1
			2		20	20	20	20		
2	<i>Acropora cervicornis</i>	1 año	1	No hay	12	4*	23	10	9	10,0
			2			15	21			
			3			15				
3	<i>Acropora cervicornis</i>	2 años	1	muerta	14	20	10	14	N/A	9,4
			2		14	14	17	10		
			3		15	22	7*	10		
			4		12	20	14	10		
			5				14			
4	<i>Acropora cervicornis</i>	1 año	1	19	25	32	32	33	32	23,7
			2		23	35	30	15	30	
			3		25	31	31	30	28	
			4		31	30	30	30	28	
			5				32	25	32	
5	<i>Acropora cervicornis</i>	1 año	1	30	20	27	24	25	N/A	22,9
			2	35	muerta	20	28	28		
			3	29	5*	22	26	33		
			4		35	31	31	31		
			5		17	32		32		
			6		29			28		
6	<i>Acropora cervicornis</i>	1 año	1	muerta	35	muerta	24	29	N/A	18,1
			2	20	15	18	21	22		
			3	15		17	30	muerta		
			4	25		muerta	31			
			5			22				

*Corales cultivados recientemente, no se toman en cuenta para el análisis.

Tabla 5. Medidas del crecimiento de las colonias de *Acropora palmata* presentes en las guarderías tipo arbolito del Acuario, expresado en el área rectangular del coral (cm²), el promedio es calculado sobre la talla inicial de 3 cm². (N/A: significa que el arbolito no contiene este eslabón o línea; muerta: colonia presenta mortalidad total).

No. Arbolito	Especie	Tiempo de construido	Crecimiento (cm ²)											Promedio de crecimiento (cm ²)
			No. Colonia	Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5	Línea 6	Línea 7	Línea 8	Línea 9	Línea 10	
7	<i>Acropora palmata</i>	1.5 años	1	200	171	264	77	660	304	100	300	60	170	205,5
			2	54	50	63	220	80	108	600	247	70	240	
			3	300	96	140	216	342	600	600	96	255	150	
			4	285	117	80	108	198	130	396	120	99	130	
			5	130	135	220	104	81			231	272	255	
			6		80	221	260					128	160	
			7									108	162	
			8									322	120	
			9									182	600	
			10									240		
8	<i>Acropora palmata</i>	1.5 años	1	80	57	170	195	380	130	N/A	N/A	N/A	N/A	145,6
			2	144	200	170	170	306	muerta					
			3	63	45	156	169	195	muerta					
			4	108	120	208	muerta	170	96					
			5	72		80		muerta	210					
			6	21										

5.2. INSTALACIÓN DE GUARDERÍAS

Se implementaron tres guarderías flotantes verticales para cría de corales de la especie *A. cervicornis*, dos de ellas siguen el diseño de árboles, y fueron provenientes de las estructuras sobre las que se realizó el mantenimiento, son construidos con tubos de PVC y teniendo una boya para mantener la estructura suspendida en la columna de agua y un sistema de anclaje para mantenerla sumergida y en posición vertical (Figura 26), tienen una capacidad de 24 fragmentos, distribuidos 4 por cada línea o eslabón, cada uno como mínimo de 5 cm de longitud aproximadamente, dado que, como se nombró anteriormente, el crecimiento de los fragmentos en los viveros depende de la longitud inicial de los mismos, resaltando que fragmentos de menor tamaño tienden a tener un crecimiento rápido pero menor en comparación con las tasas de crecimiento de fragmentos más grandes, de manera que algunos autores recomiendan utilizar fragmentos relativamente grandes desde 5 cm de longitud en adelante (Bowden-Kerby, 2008; Griffin *et al.*, 2012), la ubicación de los fragmentos se hizo teniendo en cuenta mantener el espacio adecuado para el crecimiento de cada uno, así como evitar el contacto con la estructura.

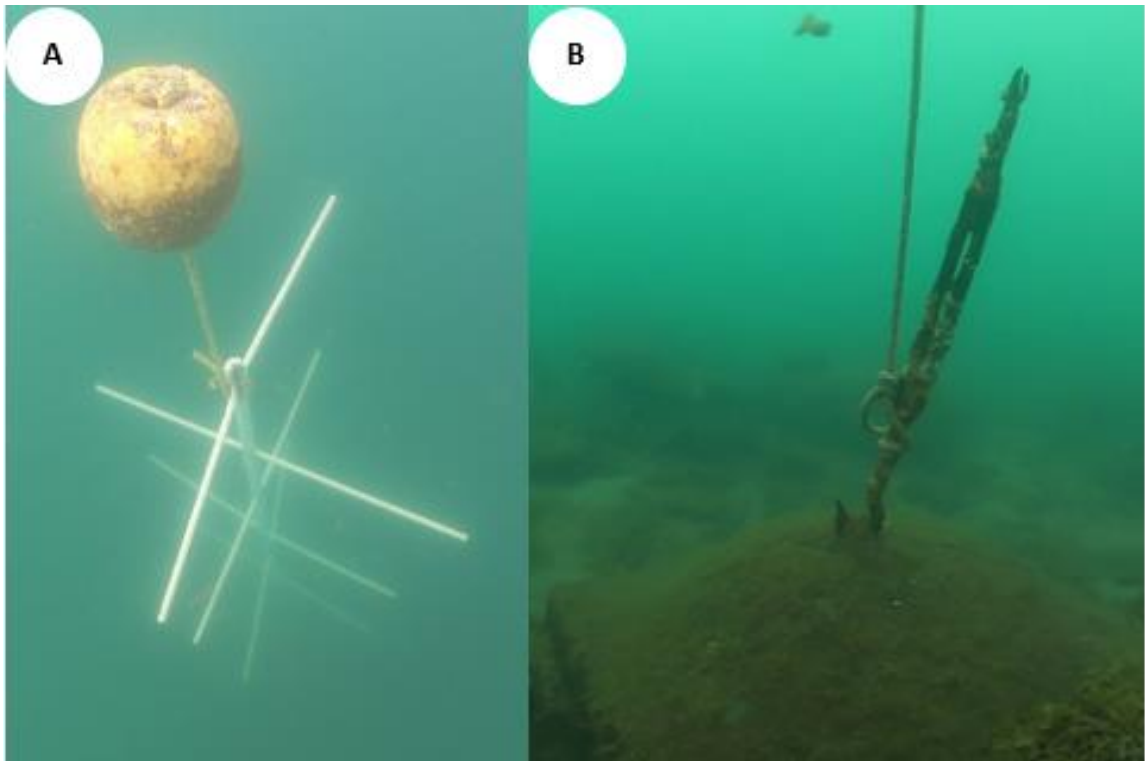


Figura 26. Guardería vertical flotante tipo “Arbolito” (A) y el sistema de anclaje (B).

La construcción de la tercera guardería flotante se hizo teniendo como base el diseño tipo “Tendedero” o también conocidos como viveros de líneas, para estos se utilizaron tubos de PVC como marco de la estructura y se dispusieron de 9 líneas o eslabones horizontales en cuerda para colgar los fragmentos, de manera que, manteniendo el espacio adecuado para el crecimiento de los corales, se ubicaron 8 fragmentos por cada eslabón, para una capacidad total de 72 fragmentos, cada uno de 5 cm de longitud (Figura 27). El vivero de línea se ancló a un bloque de cemento a una profundidad de 7 metros, y se mantuvo suspendido en la columna de agua por una boya (Figura 28).

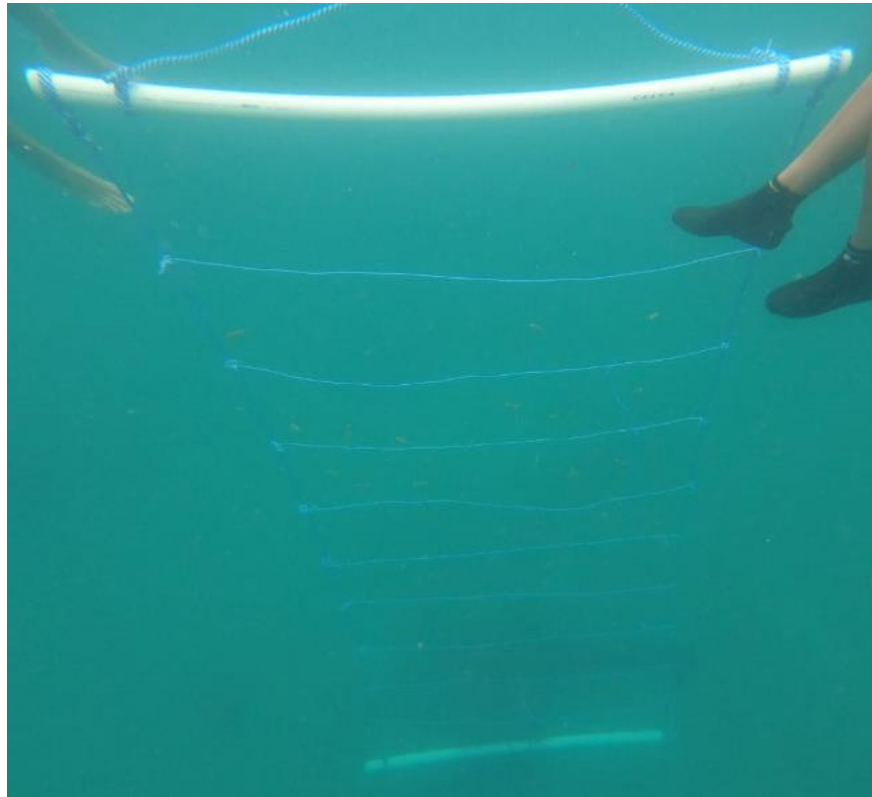


Figura 27. Guardería vertical flotante tipo “Tendedero”.

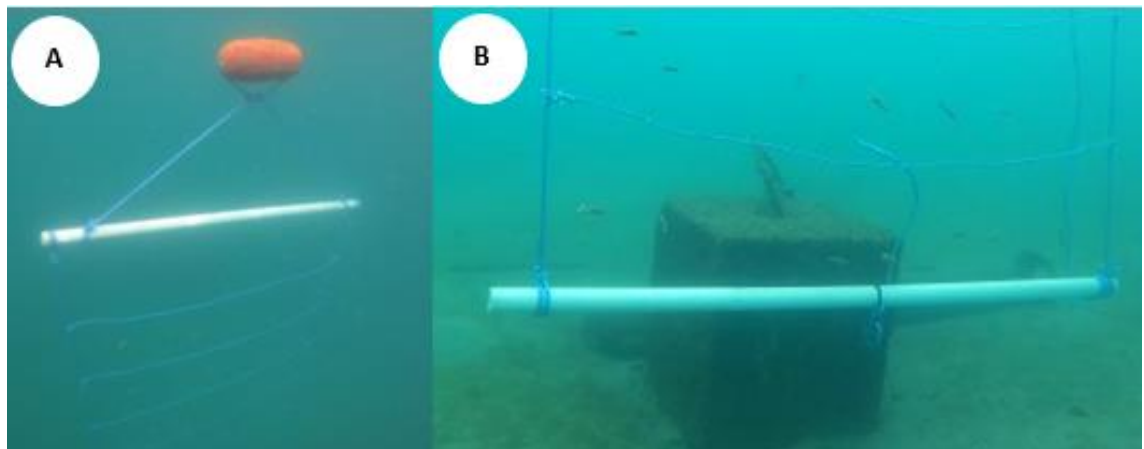


Figura 28. Sistemas de flotación (A) y anclaje (B) implementados en la guardería vertical flotante tipo “Tendedero”.

Con la instalación de los viveros tipo arbolito, se busca generar una comparación en los aspectos productivos de los fragmentos, teniendo un monitoreo y mantenimiento regular de las estructuras, que permita mejorar los resultados de crecimiento y supervivencia anual, así como la disminución de agentes estresantes que alteran el estado de salud de los

corales, esto mediante eliminación de posibles competidores como epibiontes y macroalgas, así como presencia de depredadores, enfermedades y condiciones ambientales que causen el blanqueamiento de los corales y su consecuente mortalidad parcial y/o total.

En el caso de los viveros tipo tendadero, su establecimiento se realizó para observar el rendimiento de los fragmentos durante el proceso de cría, sus posibles diferencias con los viveros tipo arbolito y también con el fin tener un mayor aprovechamiento del espacio, al cultivar una cantidad más alta de corales en este nuevo diseño. Adicionalmente, debido a que el evento de mar de leva adquirió una alta importancia por la afectación generada sobre la supervivencia y el estado de salud de los corales en los viveros tipo arbolito, se estudió la disposición de viveros tipo tendadero, debido a que según estudios, el uso de viveros de cuerdas brinda una mayor movilidad de la estructura ante eventos como huracanes y tormentas, es decir, que la estructura cuenta con una mayor resistencia al embate del oleaje, además, se le atribuyen otras ventajas como requerir poco mantenimiento y la producción de altas tasas de supervivencia y crecimiento (Johnson *et al.*, 2011; Griffin *et al.*, 2012).

De manera general, se ha observado que la implementación de estructuras verticales de tipo flotantes, brindan beneficios vitales para la restauración de las especies *A. cervicornis* y *A. palmata*, uno de estos es el mecanismo de colgado del coral en los dos tipos de viveros instalados en el Acuario, este ofrece un mayor rendimiento debido a que los fragmentos presentan dos extremos de crecimiento, optimizando los resultados a obtener de las tasas de incremento de tejido vivo (Zarza *et al.*, 2014), por otro lado, el uso de cuerdas en media agua, es decir, suspendidas en la columna de agua, proporciona un acceso limitado para los depredadores bentónicos, por lo que se sugiere como un método para ayudar a disminuir la depredación sobre las colonias de corales (Young *et al.*, 2012), lo cual se corroboró durante el monitoreo de los viveros, donde se observó una gran cantidad de gusanos de fuego (*Hermodice carunculata*) sobre el sedimento, pero ningún individuo se encontró sobre las colonias.

Teniendo como referencia estudios anteriores sobre el funcionamiento de los viveros verticales flotantes tipo tendadero, como resultados esperados, se busca que las colonias

tengan una tasa media de crecimiento lineal en *Acropora cervicornis* de $52 \pm 1,1$ cm/ año, y un crecimiento promedio mensual mínimo de $6,72 \pm 3,25$ cm, al igual que la reducción de la mortalidad, ante la ausencia de agentes estresantes como eventos naturales, depredadores y competidores espaciales, donde la mortalidad total no sea mayor del 4,5% en caso de presentarse (Griffin *et al.*, 2012), sin embargo, bajo condiciones adecuadas de crecimiento en guardería se ha llegado a presentar entre el 98 y 100% de la supervivencia de los fragmentos (Zarza *et al.*, 2014; Franke-Ante *et al.*, 2014). En cuanto al crecimiento, el constante monitoreo del incremento de tejido vivo va a permitir observar el comportamiento a lo largo del tiempo de cría, donde el incremento en longitud de los fragmentos sea constante a lo largo del periodo de muestreo, con un comportamiento de tipo exponencial, es decir, que se espera obtener un incremento más significativo en la talla de los fragmentos, cuando mayor es su tamaño (Zarza *et al.*, 2014).

Por otra parte, si bien para la fragmentación de los corales en este estudio, no se tuvo en cuenta los genotipos, se especifica que la proveniencia de los fragmentos es a partir de corales de oportunidad obtenidos de tres fuentes diferentes en zonas aledañas a la bahía de Santa Marta, lo cual aumenta la diversidad genotípica, sin embargo, ante la continuidad de la construcción de viveros en el Acuario y en el sector de Inca Inca, se debe profundizar en la genética de las colonias, como por ejemplo, con la generación de programas para obtención de corales de oportunidad de nuevos lugares y la realización de un seguimiento a cada uno de los posibles genotipos, esto debido a que la fragmentación limita el número de colonias genéticamente distintas, y la reducción en la diversidad genotípica sugiere una menor probabilidad del éxito en la reproducción sexual, dado que los corales acroporidos presentan barreras fisiológicas para evitar el cruce de gametos del mismo padre; de esta forma, se hace necesario el mantenimiento de múltiples genotipos parentales en los viveros, en vista de obtener mayores tasas de éxito en la reproducción sexual y el reclutamiento (Johnson *et al.*, 2011), lo cual lleva al objetivo del trabajo que es la recuperación natural de la especie.

6. CONCLUSIONES

A través del diagnóstico del estado actual de las guarderías de coral presentes en el Acuario, se concluye que las colonias presentaron diferentes factores de deterioro, entre

estos, mortalidad parcial y total, blanqueamiento y colonización por algas, lo que se atribuye principalmente a la falta de mantenimiento de las estructuras, posible depredación y al evento de mar de leva, que entre otras consecuencias provocó el desprendimiento de varias colonias y por lo tanto la disminución de la supervivencia en los viveros.

A partir del mantenimiento constante de las estructuras, lo que implica la remoción de organismos asociados a la estructura y monitoreo de los fragmentos periódicamente, se busca disminuir la acumulación de sedimento, sobrecrecimiento de epibiontes y algas, que implican una competencia espacial para los corales y por lo tanto una incidencia directa sobre la salud y tasa de crecimiento de los fragmentos.

La propagación asexual de colonias donadoras para obtención de fragmentos, demostró ser una técnica efectiva para la producción de nuevas colonias de corales, con un alto potencial para repoblamiento de arrecifes objeto de restauración, sin embargo, la generación de fragmentos a partir de una misma colonia, provoca una baja variabilidad genética, por lo tanto, es necesario profundizar en el mantenimiento de múltiples genotipos parentales en los viveros, con el fin de aumentar la tasa de reproducción sexual y reclutamiento, y al mismo tiempo la recuperación natural de la especie.

Finalmente, la implementación de viveros verticales flotantes se realizó debido a las altas tasas de sobrevivencia y crecimiento observado en las guarderías tipo arbolito, como respuesta al mecanismo de colgado del coral, que permite un mayor rendimiento en el crecimiento y el acceso limitado para depredadores y organismos bentónicos. Adicionalmente, la guardería tipo tendadero se construyó, entre otras ventajas por la mayor resistencia que presenta al embate del oleaje, con el propósito de disminuir la mortalidad asociada a eventos naturales como huracanes y tormentas, por lo tanto, el manejo adecuado de esta técnica de restauración va a permitir obtener mejores resulta

dos durante el proceso de cría de los fragmentos, en relación a los aspectos de sobrevivencia, crecimiento y estado de salud de los corales.

7. RECOMENDACIONES

Para posteriores estudios, se recomienda realizar el mantenimiento del vivero mediante limpiezas periódicas y control de depredadores, dado que es un factor clave para el estado

de la guardería a largo plazo, lo cual va a permitir disminuir la probabilidad de mortalidad de los corales por contacto con organismos incrustantes y algas presentes en las estructuras, e impulsar el crecimiento óptimo de los fragmentos. Para esto se deben establecer planes de trabajo que impliquen la remoción de organismos que se hayan asentado/reclutado en la estructura, de manera hebdomadaria, haciendo uso de kits de limpieza, los cuales contienen un equipo de buceo, cepillos, espátulas plásticas y demás elementos necesarios para el cuidado de los viveros.

Se debe realizar un monitoreo continuo de la sobrevivencia, crecimiento y estado de salud de los fragmentos, con el fin de determinar con exactitud los posibles agentes que provocan el blanqueamiento y mortalidad en los corales, así como obtener el incremento temporal del tamaño o tasa de crecimiento de los fragmentos y el aumento en el número de ramificaciones, para lo cual se debe medir en el caso de *Acropora cervicornis*, el crecimiento lineal, registrando la altura máxima, y la extensión total de tejido vivo de cada fragmento, obtenido por la suma de la longitud de cada una de las ramificaciones; en el caso de *Acropora palmata*, medir el crecimiento por volumen ecológico, teniendo como base el volumen de un cilindro y las medidas de diámetro y longitud del fragmento. Esto con el fin de obtener resultados comparables con las medidas de crecimiento registradas en estudios anteriores.

Por otra parte, es necesario tener en cuenta la diversidad genotípica de los fragmentos en los viveros, dado que la propagación por reproducción asexual produce colonias genéticamente idénticas, lo cual limita la diversidad genética, un aspecto clave para que se lleve a cabo la reproducción sexual, sugiriendo una barrera ante posibles cambios evolutivos que permitan la supervivencia de la especie. De esta forma, se recomienda establecer programas para la obtención de fragmentos de oportunidad provenientes de diferentes lugares y verificar la variabilidad genética de los mismos, proceso que va a permitir generar mayores tasas de éxito en la reproducción sexual y el reclutamiento de los corales, potenciando la obtención de genotipos más resilientes ante agentes estresantes como cambio global, enfermedades coralinas, blanqueamiento, entre otros, induciendo a la recuperación natural de los arrecifes coralinos.

8. OTRAS ACTIVIDADES

8.1. AVISTAMIENTO DE MAMÍFEROS MARINOS

En paralelo al proyecto de restauración de los corales acroporidos, se desarrollaron monitoreos sobre la agregación de mamíferos marinos, iniciativa liderada por la Corporación Autónoma Regional del Magdalena - CORPAMAG y llevada a cabo por parte del Acuario y Museo del Mar El Rodadero, operador del Centro de Atención, Valoración y Rehabilitación de Fauna Marina de CORPAMAG, los cuales brindan información sobre la evaluación periódica de las poblaciones silvestres y su interacción con el ecosistema, permitiendo así adquirir un mayor entendimiento del comportamiento de las especies y sus poblaciones, con el fin de promover a la conservación de estos mamíferos marinos, considerados especies sombrilla, donde su influencia sobre las cadenas tróficas puede generar un efecto cascada en todo el ecosistema (SINAC, 2016). Adicionalmente, el avistamiento de cetáceos es una actividad turística de crecimiento constante, dado que la observación de fauna silvestre en la actualidad genera a nivel mundial ingresos de cerca de un billón de dólares por año y atrae por lo menos nueve millones de observadores en 87 países, de manera que, la realización sostenible de actividades de avistamiento, va a garantizar la conservación de las especies involucradas a la par con un aprovechamiento responsable y sostenible de los servicios ecosistémicos que pueden brindar (González *et al.*, 2017).

Las actividades de avistamiento de mamíferos marinos fueron realizadas teniendo como base la Guía de Avistamiento Responsable de Mamíferos acuáticos en Colombia y el Protocolo para el Monitoreo Ecológico de las Agregaciones de mamíferos Acuáticos.

En seguimiento a esto, la toma de datos de cada muestreo realizado tuvo en cuenta tres categorías (SINAC, 2016):

- Tamaño: En este se mide la ocurrencia del elemento focal y la densidad de individuos por especie.
- Composición o condición: En el cual se miden los procesos bióticos y abióticos dentro de la zona de ocurrencia, incluyendo la estructura de la población en términos de edades la riqueza de especies, características ambientales, así como

perturbaciones naturales y antrópicas, y la residencialidad de los individuos, es decir, el porcentaje de tiempo que las especies habitan en el área de monitoreo.

- Contexto paisajístico: Se tiene en cuenta el grado en que los paisajes facilitan o impiden el movimiento de recursos entre diferentes hábitats o comunidades, registrando el área de ocupación o distribución de los individuos.

De manera que, en secuencia a las categorías a tener en cuenta, se modificó la hoja de datos proporcionada por el SINAC (2016), para realizar la toma de datos durante cada día de monitoreo, independiente de si se tenía o no avistamiento de algún mamífero, con lo cual se generó el formato de toma de datos como se ve en la figura 29, donde, el número de recorrido hace referencia a la cantidad de salidas realizadas con el objetivo de avistar un mamífero marino, en la localidad se registró los lugares de inicio y fin del recorrido, y en general se observaron las condiciones del tiempo, indicando el estado del oleaje siguiendo la escala de Beaufort, y la presencia de nubosidad, si es asoleado, parcialmente nublado, nublado, lluvioso y tormenta; se tomaron observaciones de la presencia de aves, pescadores y lanchas, entre otra información que permitiera comprender la presencia de los organismos en el área, así mismo, en los casos en que no se presentó avistamiento, se marcó como N/A (no aplica) a cada uno de los índices específicos para la información del avistamiento.

Fecha	_____	N° Recorrido	_____	N° Avistamiento	_____
Localidad	_____	Hora inicio	_____	Hora llegada	_____
Lugar Avistamiento	_____	Hora inicio	_____	Duración	_____
Especies	_____	Condiciones del tiempo		_____	_____
<u>Distribución</u>					
GPS avistamiento	Lat	_____	Long	_____	_____
Datos del grupo	Estimado				
# de ind	_____				
# de adultos	_____				
# de juveniles	_____				
# de crías	_____				
<u>Observaciones</u>					

Figura 29. Formato de toma de datos.

En los momentos en que se presentaron avistamientos, se registró el lugar y hora específicos, así como el tiempo de duración de los individuos en el área de monitoreo, es decir, de permanencia cerca de la embarcación, la cual no debía ser mayor a 30 minutos para evitar que la presencia de la embarcación influya sobre el grupo (González *et al.*, 2017). Como información de los mamíferos marinos observados se identificó la especie, en lo posible, a través de características morfológicas como la forma del hocico, forma de la aleta dorsal principalmente y en general de la cabeza y el cuerpo, el patrón de coloración, tamaño corporal, entre otras; la estructura de la población, señalando el número de individuos, es decir, el tamaño del grupo, el número de adultos, juveniles y crías; también se registraron como observaciones, los eventos comportamentales desarrollados por los individuos durante el avistamiento, actividades como alimentación, desplazamiento, descanso y socialización.

Adicionalmente, se tomó el registro fotográfico de cada uno de los avistamientos, esto con el fin de corroborar las especies descritas durante el monitoreo y resaltar posibles observaciones que no se percibieron durante el trabajo de campo, como por ejemplo caracteres específicas de la estructura del grupo, presencia de hembras embarazadas, comportamientos dentro de la población, entre otros.

El monitoreo de los delfines se llevó a cabo en la embarcación Katamaran Tayrona, perteneciente a la empresa Taxi Marino, durante los recorridos guiados que realiza la embarcación a lo largo de las bahías de Santa Marta, estos recorridos tienen lugar desde el muelle sur de la bahía de Gaira hasta Punta Aguja (Lugar comprendido dentro del área del PNN Tayrona), de manera que, el monitoreo de los mamíferos marinos se lleva a cabo de forma costera durante el recorrido de ida de la bahía de Gaira hasta Punta Aguja y de regreso, pudiendo observar las agregaciones de individuos más alejados de la costa. Los recorridos se realizaron a diario, de lunes a viernes, con excepción de los días en que se limitó su salida debido a restricciones establecidas por la pandemia presentada actualmente; estos se llevaron a cabo en horas de la mañana, iniciando el monitoreo a partir de las 10:30 am, con una duración aproximada de 2 horas, por lo que al finalizar los recorridos se tuvo un esfuerzo de muestreo de 46 horas, además, se guardaron las rutas llevadas a cabo en cada salida en la unidad de GPS para obtener resultados del esfuerzo de muestreo por la distancia recorrida.

La técnica de muestreo efectuada implicó el uso de binoculares para identificar grupos de mamíferos marinos que se encontraran más alejados de la embarcación, también con el fin de observar más detalladamente características morfológicas distintivas de las especies, para lo cual se utilizaron guías digitales de identificación de mamíferos marinos presentes en Colombia, repasadas con anterioridad a los monitoreos para facilitar el reconocimiento, sin embargo, dada la dificultad por el constante desplazamiento de los individuos, y con el objetivo de tener una certeza de las especies registradas, se realizó el registro fotográfico de las especies avistadas con el uso de una cámara, de esta forma, para la toma de datos fue necesario dos observadores, uno se encargó de tomar las fotografías para una posterior identificación, y el otro se encargó de los binoculares y la anotación de datos recopilados en cuanto a la distribución, especies presentadas y datos del grupo, como la estructura en términos de cantidad de adultos, juveniles y crías.

Especies avistadas

A lo largo de 23 monitoreos de agregaciones de mamíferos marinos, durante los meses de febrero a abril del presente año, se reportaron 5 avistamientos de delfines de las especies *Tursiops truncatus* y *Steno bredanensis*, tal como se ha reportado anteriormente con su registro en aguas oceánicas del Caribe colombiano y en el departamento de Magdalena específicamente, en el sector de Taganga, Santa Marta y El Rodadero, inclusive ya registrados anteriormente grupos mixtos de estas dos especies (Trujillo *et al.*, 2017). El primer avistamiento tuvo lugar en Punta Venado, Taganga, observando un desplazamiento de los delfines hasta cerca del Morro de Santa Marta, el segundo avistamiento fue el más costero y se ubicó frente al Acuario y Museo del Mar El Rodadero y parte de Playa Blanca, el tercer y quinto avistamiento se presentaron en Punta Betín, hacia la parte norte de la bahía de Santa Marta y finalmente, el cuarto avistamiento se llevó a cabo en Playa Lipe, encontrada en la parte sur de la bahía de Santa Marta (Figura 30).





Figura 30. Lugares de avistamiento de delfines. A) Punta Venado, Taganga; B) Playa Blanca y el Acuario y Museo del Mar del Rodadero (Tomado por Héctor Pertuz); C) Punta Betín (bahía de Santa Marta); D) Playa Lipe (bahía de Santa Marta).

Delfín hocico de botella (*Tursiops truncatus*)

Fue observado en cuatro de los cinco avistamientos, y su diferenciación se dio a partir de las características más relevantes como, la presencia de un cuerpo robusto, un melón pronunciado, hocico corto bien definido por un pliegue que lo separa del melón, la aleta dorsal prominente y falcada, y la coloración gris oscura con la parte inferior más clara o blanca (Figura 31), además de la presencia de una capa oscura desde el ápice del melón hasta atrás de la aleta dorsal, otra característica si bien no muy notoria es la coloración más oscura de las aletas en comparación con el cuerpo, alcanzan longitudes de 3,9 metros y un peso máximo de 650 kg (Figura 32) (Trujillo *et al.*, 2017).

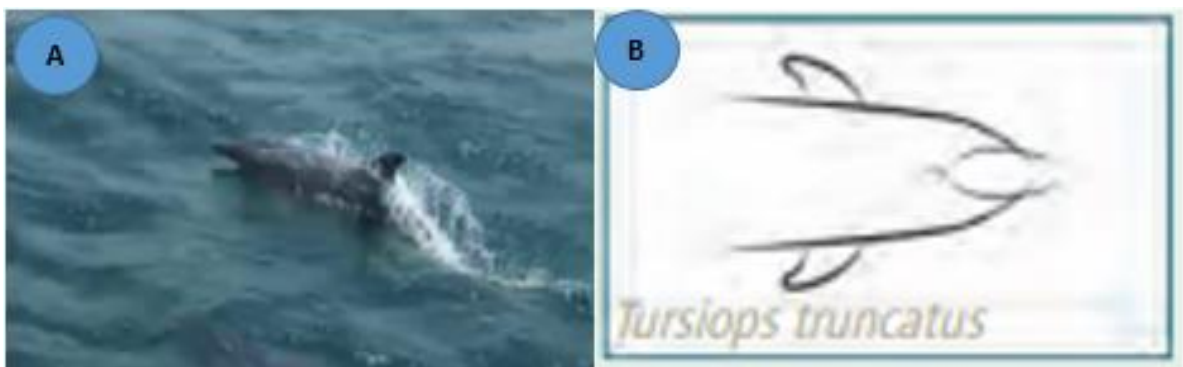


Figura 31. Delfín *T. truncatus*, A) se observa el melón bien pronunciado, presencia de un hocico corto y aleta dorsal falcada; B) Vista dorsal (Tomado de: Caicedo-Herrera *et al.*, 2018).



Figura 32. Delfín nariz de botella (*T. truncatus*). (Tomado de: Trujillo *et al.*, 2017).

Delfín de dientes rugosos (*Steno bredanensis*)

Esta especie se observó en todos los avistamientos de mamíferos marinos, se diferenció por su cabeza cónica, la cual se inclina suavemente desde el espiráculo hasta el hocico, de manera que no presenta el pliegue que separa el melón del hocico como en es el caso de *T. truncatus*, la aleta dorsal alta, pronunciada y triangular a falcada, como característica distintiva es la coloración entre la narina y la aleta dorsal con una capa más oscura (Figura 33), donde la diferencia con el delfín nariz de botella es la coloración bien definida y el patrón más delgado antes de la aleta dorsal y su ensanchamiento posteriormente, además de esto, se observa una coloración clara en vientre y garganta, y presenta la comisura de la boca blanca o rosada al igual que la punta del hocico, que en la parte superior es oscuro, alcanzan longitudes de 2,6 m y un peso máximo de 1150 kg (Figura 34) (Trujillo *et al.*, 2017).

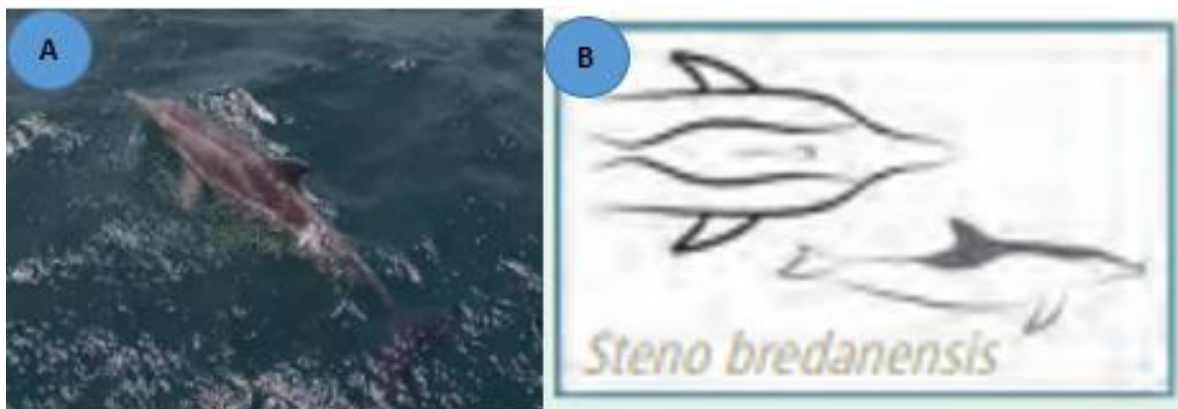


Figura 33. Delfín *S. bredanensis*, A) se observa la terminación suave y estilizada del melón, con un hocico delgado, la aleta dorsal falcada y la coloración oscura definida en el dorso; B) Vista dorsal y perfil lateral (Tomado de: Caicedo-Herrera *et al.*, 2018).

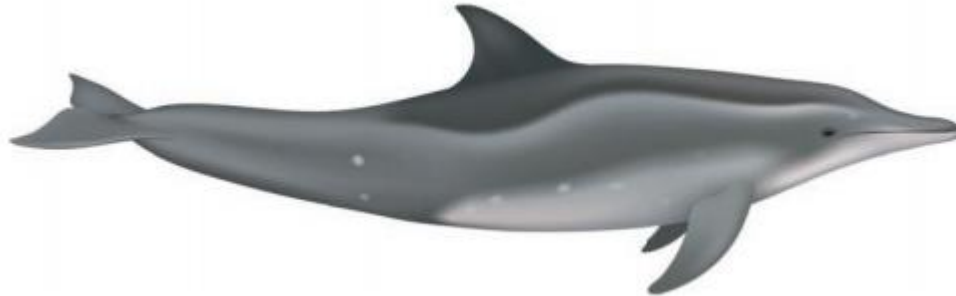


Figura 34. Delfín de dientes rugosos (*S. bredanensis*). (Tomado de: Trujillo *et al.*, 2017).

Por otra parte, para determinar los eventos comportamentales que exhibieron los delfines durante los avistamientos se tuvo en cuenta lo descrito por Dos Santos *et al.*, (2000), quien organizó la ocurrencia de dichos eventos en cinco grupos de movimientos, con base en el delfín *T. truncatus*.

- Grupo 1: Movimiento de los delfines de manera lenta, normal y rápida, que depende de la acción por la cual se da el movimiento, si es de descanso, por alimentación o por desplazamiento, también dependiendo de la profundidad del área en que se encuentran, dado que la velocidad tiende a aumentar con la profundidad (Figura 35A).
- Grupo 2: Alimentación, esta se da por tres modalidades, como pesca casual de superficie, donde se ubican en áreas poco profundas y el grupo no excede los cinco individuos, pesca individual y pesca grupal, que consiste en la realización de movimientos zigzagueantes (Figura 35B).
- Grupo 3: Realización de saltos, estos saltos se dan con el objetivo de sumergirse en el agua o para socializar con humanos.
- Grupo 4: Comportamientos en superficie, donde se incluye el nado invertido, hocico afuera y cola afuera, donde los dos primeros son de tipo interactivo con los humanos y para alimentación, mientras que el ultimo se realiza para sumergirse en el agua. (Figura 35C)

- Grupo 5: Socialización, Se observa el nado de los delfines en conjunto con las embarcaciones o con la generación de saltos en el agua (Figura 35D).

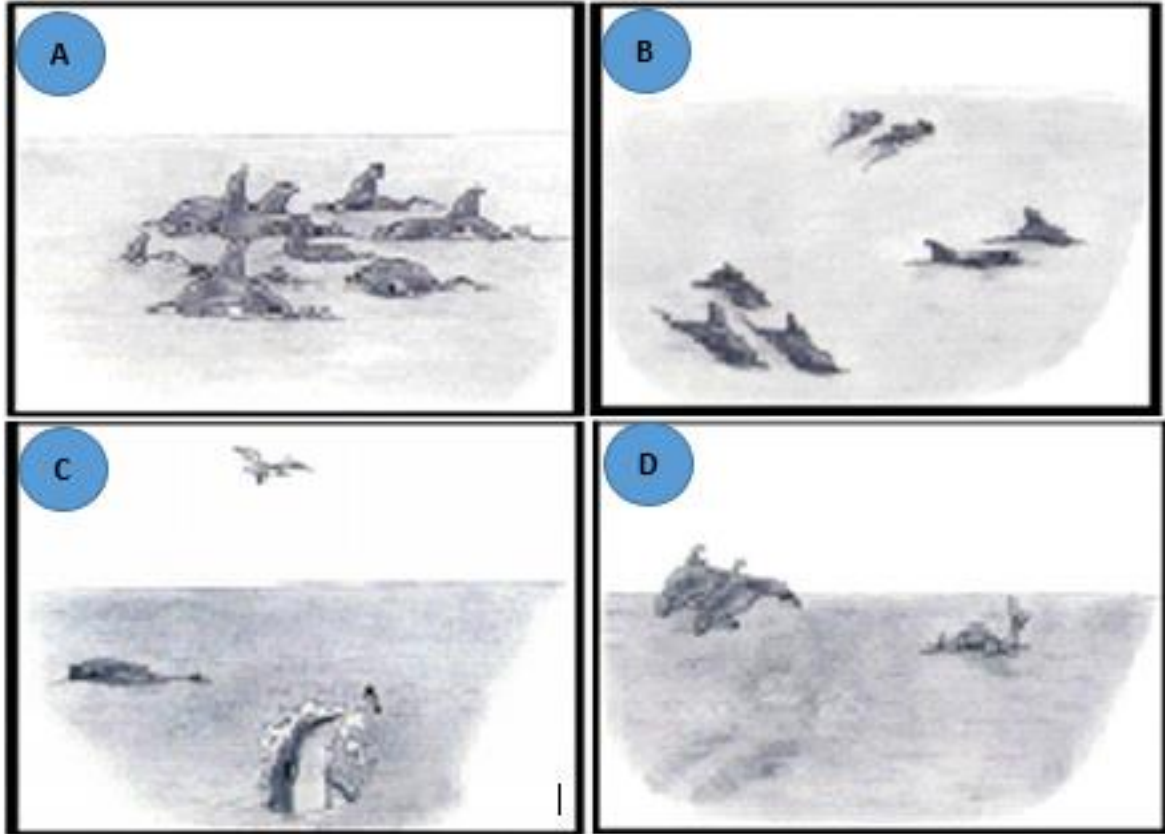


Figura 35. Hábitos comportamentales de delfines *T. truncatus*, definidos en cinco grupos (Tomado de: Dos Santos *et al.*, 2000); A) Desplazamiento en grupo; B) Alimentación en grupo con movimientos zigzagueantes; C) Eventos superficiales de los delfines; D) Socialización mediante desplazamiento y salto cerca de la embarcación.

Composición y tamaño del grupo

El primer avistamiento fue el 24 de febrero del presente año (Anexo B), registrando el grupo más grande avistado de aproximadamente 80 individuos (Tabla 6), al iniciar el avistamiento se encontraron 7 individuos en los cuales había una cría con su madre, tres adultos y dos juveniles, se observó que dos de estos adultos pertenecían a la especie *S. bredanensis* y los demás pertenecientes a la especie *T. truncatus* (Figura 36), estos fueron acercándose al grupo más grande, que se encontró exactamente hacia la isla cercana a Santa Marta (coordenadas 11°16.5'17" N y 74°12.8'76" O), ellos se encontraban lejos de la embarcación

en actividad de alimentación y desplazamiento grupal con realización de movimientos zigzagueantes (Figura 37), por lo cual no fue posible estimar la estructura de todo el grupo.



Figura 36. Dos individuos de la especie *T. truncatus*, (forma falcada de las aletas dorsales y el cuerpo robusto).



Figura 37. Grupo de delfines durante actividad de alimentación frente al Morro de Santa Marta.

El segundo avistamiento, reportado hacia Playa Blanca (coordenadas 11°13.1'94" N y 74°14.5'57" O) el día 27 de febrero (Anexo C), fue un grupo mixto de las dos especies avistadas, no mayor a 20 individuos distribuidos en subgrupos de 2 y 7 (Tabla 6), entre adultos, juveniles y una hembra preñada, se encontraron realizando desplazamiento rápido en busca de un cardumen de peces (Tabla 6).

El tercer avistamiento se reportó el día 1 de abril en Punta Betín (Anexo D)(coordenadas 11°16.1'11" N y 74°13'72" O) sobre un grupo pequeño de 20 individuos aproximadamente de las dos especies (Tabla 6), la estructura poblacional fue de 11 adultos, 6 juveniles y 3 crías (Figura 38), entre los cuales desarrollaron interacción con la embarcación mediante desplazamiento y saltos al lado de la embarcación (Figura 39), específicamente los adultos y dos de los juveniles, puesto que por lo general, la socialización con humanos la realizan los adultos para distraer la atención del grupo más vulnerable que son los juveniles y crías, por lo que durante estos eventos las hembras que tienen crías permanecen alejadas y los juveniles participan en estas actividades (Gaskin, 1982).



Figura 38. Individuos adultos de la especie *S. bredanensis*.



Figura 39. Individuo de la especie *S. bredanensis*, interactuando con la embarcación, girando el cuerpo al desplazarse cerca de esta.

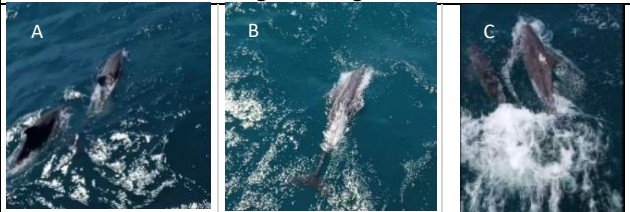

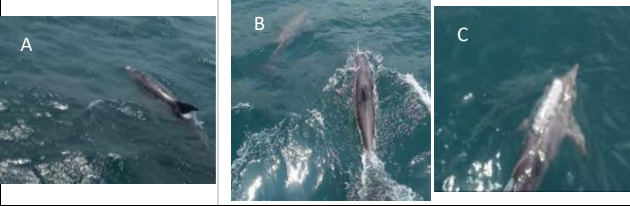
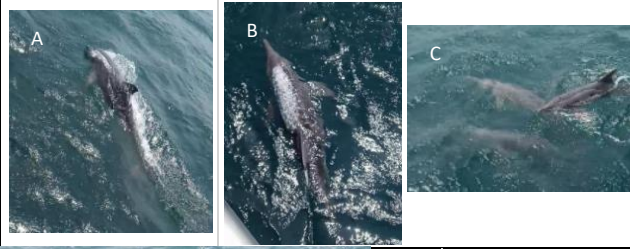
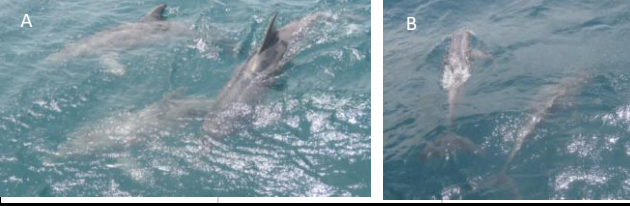
El cuarto avistamiento tuvo lugar en Playa Lipe (coordenadas 11°14.4'88" N y 74°13.8'71" O) el día 3 de abril (Anexo E), cerca de la costa con un tamaño del grupo de 30 individuos aproximadamente, de las dos especies *S. bredanensis* y *T. truncatus* (Tabla 6), se encontraron realizando actividad de desplazamiento lento, alimentación grupal e interacción con la embarcación, mediante saltos y juego con bolsas plásticas mantenidas en las aletas pectorales y caudales, a la par que realizaban el desplazamiento al lado de la embarcación, y en el hocico momento en el cual se observó el comportamiento de superficie que implica levantar el hocico fuera del agua (Figura 40). La estructura poblacional estimada fue de 24 adultos, con una hembra embarazada, 5 juveniles y una cría muerta, posiblemente como causa de un aborto, la madre lo llevaba en el hocico y se mantenía alejada de la embarcación, además, constantemente era rodeada por otros adultos posiblemente como protección.



Figura 40. Delfín *S. bredanensis* llevando una bolsa plástica sobre una aleta pectoral.

El quinto avistamiento presentado el día 23 de abril en Punta Betín (Anexo F) se conformó de un grupo pequeño de la especie *S. bredanensis*, encontrado cerca de la costa (Tabla 6), con entre 10 a 12 ejemplares, la mayoría juveniles, no se observaron crías y se encontraban en desplazamiento por lo que el tiempo de avistamiento fue corto, de aproximadamente 15 minutos, tiempo en que estuvieron desplazándose al lado de la embarcación.

Tabla 6. Registro fotográfico de los avistamientos de delfines en el área de Santa Marta.

No. Avistamiento	Especie avistada	Registro fotografico	Observaciones
1	* <i>Steno bredanensis</i> * <i>Tursiops truncatus</i>		<p>Fig A. En la parte inferior un individuo <i>T. truncatus</i> y en la parte superior <i>S. bredanensis</i></p> <p>Fig B. <i>S. bredanensis</i>, Coloración dorsal oscura bien definida.</p> <p>Fig C. Dos individuos <i>S. bredanensis</i></p>
2	* <i>Steno bredanensis</i> * <i>Tursiops truncatus</i>		<p>Fig A. Ejemplar <i>S. bredanensis</i></p> <p>Fig B. Dos individuos <i>T. truncatus</i> por la forma del hocico y robustez del cuerpo, en el fondo un <i>S. bredanensis</i></p>
3	* <i>Steno bredanensis</i> * <i>Tursiops truncatus</i>		<p>Fig A. <i>S. bredanensis</i>, morfología del melón</p> <p>Fig B. <i>S. bredanensis</i>, coloración oscura bien definida de la parte dorsal</p> <p>Fig C. Ejemplar <i>S. bredanensis</i></p>
4	* <i>Steno bredanensis</i> * <i>Tursiops truncatus</i>		<p>Fig A. Individuo <i>T. truncatus</i>, se observa el melón pronunciado y el pliegue de separación con el hocico corto.</p> <p>Fig B y C. Individuos de <i>S. bredanensis</i> por la morfología del hocico</p>
5	* <i>Steno bredanensis</i>		<p>Se observa la coloración oscura en la parte dorsal, estrecha antes de la aleta dorsal y ensanchada posteriormente.</p>

De acuerdo a las especies avistadas, y sus hábitos comportamentales, se puede establecer que los avistamientos obtenidos se deben entre otras causas a su desplazamiento en busca de condiciones óptimas para su reproducción y alimentación, lo cual se confirma según lo establecido por De La Parra *et al.*, (1984), quien postula que los cetáceos viven y se alimentan en zonas de considerable productividad, lo cual puede explicar el patrón presentado en los avistamientos, donde para el primer avistamiento, la actividad de alimentación se realizó frente al Morro de Santa Marta y al igual, otros dos avistamientos se ubicaron en cercanías de Punta Betín la cual se encuentra en frente del Morro, este lugar es muy frecuentado por pescadores debido a la alta presencia de cardúmenes de peces en

esta zona, probablemente por eventos de surgencia y descargas de aguas continentales, los cuales promueven un incremento de la productividad primaria, debido al aporte de nutrientes, y generando así su transferencia a lo largo de la cadena trófica favoreciendo el establecimiento de poblaciones de peces en esta área (Salas de León y Monreal-Gómez, 2005).

En seguimiento a esto, la mayor frecuencia de los avistamientos de mamíferos marinos en la región de Santa Marta y áreas aledañas, durante la época seca, se relaciona de igual forma con los fenómenos de surgencia que tienen lugar durante estos meses del año y que acarrearán el afloramiento de nutrientes de acuerdo a lo referido por Franco-Herrera, (2005).

9. BIBLIOGRAFÍA

- Alva Basurto, J. C., & Arias González, J. E. (2015). Arrecifes de coral, servicios ecosistémicos y cambio climático. En L. Angulo, *El arrecife mesoamericano* (págs. 5-6). México: La jornada ecológica .
- Álvarez Filip, L. (2015). El arrecife mesoamericano, un paraíso que pelagra por su belleza. En L. Angulo, *El arrecife mesoamericano* (págs. 3-4). México: La Jornada ecológica.
- Bak, R. (1983). Neoplasia, regeneration and growth in the reef-building coral *Acropora palmata*. *Mar biol*, 221-227.
- Bérmudez, J. (2016). Distribución y abundancia de gorgonias en los fondos de bioconstructores de algas esciáfilas del sector sur del golfo de Valencia (Mediterráneo Occidental). *Universidad Politecnica de Valencia*, 30.
- Bowden Kerby, A. (2008). Restoration of threatened *Acropora cervicornis* corals: intraspecific variation as a factor in mortality, growth, and self-attachment. *Proceedings of the 11° International Coral Reef Symposium, Ft. Lauderdale, Florida*, 7-11.
- Caicedo Herrera, D., Becerra, C., Duque, L., Trujillo, F., Ortiz, E., Rosso Londoño, M. C., & Mignucci, A. (2018). Cetáceos, sirenidos y tortugas Guía de identificación para el Caribe y Pacífico colombiano. *Fundación Omacha. Bogotá D.C*, 124.
- Calle Triviño, J., Cortés Useche, C., Sellares, R., & Arias González, J. E. (2017). First record of the fireworm *Hermodice carunculata* Preying on colonies of the threatened staghorn coral *Acropora cervicornis* in the southeastern outplanting sites of the Dominican Republic . *Novitates caribaea*, 97-98.
- Casas Figueroa, D. C. (2011). Estado de conservación de la comunidad arrecifal presente en Isla Fuerte - Bolivar (Colombia). *Pontificia Universidad Javeriana*, 31.
- Casas Figueroa, D. C. (2017). Supervivencia y crecimiento de esquejes de *Acropora palmata* en dos técnicas de restauración, in situ y ex situ en isla Fuerte (Caribe colombiano) . *Pontificia Universidad Javeriana*, 68.
- Castro Sanguino, C. (2003). Cambios en la distribución y estructura de las unidades ecológicas de la bahía de Santa Marta, Caribe colombiano, ocurridos durante las últimas décadas. *Universidad Jorge Tadeo Lozano*, 114.
- Combatt, A. (2020). Proyecto guarderías de coral Acuario y Museo del Mar del Rodadero bahía Inca Inca. *Acuario y Museo del Mar El Rodadero*, 10.
- Cover-Ruiz, V., & Vargas-Calderón, E. (2013). Ecosistemas de arrecife coralino en Costa Rica: Análisis normativo para determinar la necesidad de su regulación. *Universidad de Costa Rica*, 269.

- De La Parra, R., Anzures, O., & Galván, B. (1984). Resultados preliminares sobre el registro de observaciones de cetáceos en la costa del municipio de Ahome, Sinaloa . *Reunión internacional para el estudio de los mamíferos marinos UNAM. México.*
- Díaz, J. M., Barrios, L., Cendales, M., Garzón-Ferreira, J., Geister, J., López-Victoria, M., . . . Zea, S. (2000). Áreas coralinas de Colombia. *INVEMAR, Serie de Publicaciones Especiales No. 5*, 176.
- Dos Santos, M., Nuñez, S., & Carvalho, I. (2000). Tracking movements and classifying behaviors of bottlenose dolphins in an estuarine environment. *14th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals*, 7.
- Edwards, A., & Gomez, E. (2007). Reef Restoration Concepts & Guidelines: making sensible management choices in the face of uncertainty. *The Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management program*, 38.
- Edwards, A. J. (2010). Reef Rehabilitation Manual. *Coral Reef Targed Research & Capacity Building for Management Program*, 166.
- Forrester, G., Connell Rodwell, C., Baily, P., Forrester, L., Giovannini, S., Harmon, L., . . . Jarecki, L. (2011). Evaluating methods for transplanting endangered elkhorn corals in the Virgin Islands . *Restoracion Ecology* , 299-306.
- Franco Herrera, A. (2005). Oceanografía de la ensenada de Gaira - El rodadero, más que un centro turístico en el Caribe colombiano. *Universidad Jorge Tadeo Lozano*, 56.
- Franke-Ante, R., Zarza, E., Cano-Correa, M., Wong-Lubo, J., & Hernández, E. (2014). Aportes a la consolidación de un proceso regional para la conservación de arrecifes coralinos: ensayos para la estandarización de metodologías para el repoblamiento de especies amenazadas del género *Acropora* en tres Parques Nacionales Naturales del Caribe. *Biota Colombia - Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*, 32.
- Franklin, E., Hudson, J., Anderson, J., & Schittone, J. (2006). M/V Jacquelyn L Coral Reef Restoration Monitoring Report, Monitoring Events 2004-2005. Florida Keys National Marine Sanctuary Monroe County, Florida. *Marine Sanctuaries Conservation Series NMSP-06-09. U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Sanctuary Program, Silver Spring*, 21.
- Galván, V., Belén-Yáñez, A., Mercado-Cervantes, S., Sellares, R., & Cortés-Useche, C. (2019). Manual para la evaluación de viveros de coral. *Consortio Dominicano de Restauración Costera* , 50.
- García-Rueda, A. L. (2010). Cría de fragmentos de *Acropora palmata* y *Montastraea cavernosa* en una guardería a media agua en la bahía de Gayraca (Parque Nacional Natural Tayrona) como aproximación hacia la restauración coralina. *Universidad Jorge Tadeo Lozano*, 37.
- Gaskin, D. E. (1982). The ecology of Whales and Dolphins. *Heinemann Educational Books. London*, 459.

- Gil Agudelo, D., Navas Camacho, R., Rodríguez Ramírez, A., Reyes Nivia, M. C., Bejarano, S., Garzón Ferreira, J., & Smith, G. (2009). Enfermedades coralinas y su investigación en los arrecifes colombianos. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, 189-224.
- Gómez Cubillos, M., Licero, L., Perdomo, L., Rodríguez, J., Romero, D., Ballesteros, D., . . . Ricaurte, C. (2015). Portafolio "Áreas de arrecifes de coral, pastos marinos, playas de arena y manglares con potencial de restauración en Colombia". *Serie de Publicaciones Generales del INVEMAR No 79*, 69.
- González, A., Quintero, J., Lara, G., Osorio, C., Trujillo, F., Caicedo, D., . . . Ortiz, E. (2017). Guía de avistamiento responsable de mamíferos acuáticos en Colombia. *Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible*, 48.
- Griffin, S., Spathias, H., Moore, T., Baums, I., & Ann Griffin, B. (2012). Scaling up *Acropora* nurseries in the Caribbean and improving techniques. *Proceedings of the 12° International Coral Reef Symposium. Cairns, Australia*, 9-13.
- Guzmán, H. (1988). Distribución y abundancia de organismos coralívoros en los arrecifes coralinos de la Isla del Caño, Costa Rica. *Rev. Bol. Trop.*, 191-207.
- Harrison, P. (2011). Sexual Reproduction of Scleractinian Corals. *Universidad Southern Cross, Lismore*, 59-85.
- Highsmith, R., Riggs, A., & Antonio, C. (1980). Survival of hurricane-generated coral fragments and a disturbance model of reef calcification/growth rates. *Oecologia*, 322-329.
- Hurtado Vega, B. (2010). Caracterización comportamental de delfines en cautiverio *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821) y *Sotalia guianensis* (Van Bénédén, 1864) Acuario y Museo del Mar El Rodadero (Santa Marta - Colombia). *Universidad Jorge Tadeo Lozano*, 87.
- Jaap, W. (2002). *Acropora*- A Review of Systematics, Taxonomy, Abundance, Distribution, Status, and Trends: Florida, 1881 - 2000. En A. Bruckner, *Proceedings of the Caribbean Acropora Workshop: Potential Application of the U.S. Endangered Species Act as a Conservation Strategy* (págs. 136-141). Miami, Florida: NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-24.
- Jackson, J. B. (1977). Competition on marine hard substrata: The adaptive significance of solitary and colonial strategies. *Amer. Nat.*, 743-767.
- Jackson, J., Donovan, M., Cramer, K., & Lam, V. (2014). Status and Trends of Caribbean Coral Reefs: 1970 - 2012. *Global Coral Reef Monitoring Network, UICN, Gland, Switzerland*, 304.
- Johnson, M., Lusic, C., Bartels, E., Baums, I., Gilliam, D., Larson, L., . . . Schopmeyer, S. (2011). Caribbean *Acropora* restoration guide: Best Practices for Propagation and Population Enhancement. *The Nature Conservancy*, 56.

- Lang, J. (2003). Status of Coral Reefs in the Western Atlantic: Results of Initial Surveys, Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (Agrra) Program. *Smithsonian Institution, Washington D. C.*
- Lerma, A., Thomas, Y., Durand, P., Torres, R., & Andrade, C. (2008). Variabilidad del nivel del mar desde 1950 hasta el 2000 y riesgos asociados a episodios de mar de leva en las penínsulas de Bocagrande y Castillogrande, Cartagena de Indias, Colombia. *CIOH, 72-85.*
- Lirman, D. (1999). Reef Fish Communities Associated With *Acropora palmata*: Relationships to benthic attributes. *Bulletin of Marine Science, 235-252.*
- Marriaga, L. (2009). Caracterización físico-biótica del litoral del departamento del Magdalena. En D. CIOH, *Caracterización físico-biótica del litoral del Caribe colombiano* (págs. 67-96). Cartagena de Indias, Colombia: Dirección General Marítima - DIMAR, Serie de Publicaciones Especiales CIOH.
- Mercado Molina, A., Hernández Delgado, E., Rivera Rivera, J., Rivera Rivera, M., Suleimán Ramos, S., Olivo Maldonado, I., . . . Rodríguez Inoa, E. (2013). Protocolo para la propagación de poblaciones del coral cuerno de ciervo, *Acropora cervicornis*: Estrategias de bajo costo de la Sociedad de Ambiente Marino. *Universidad de Puerto Rico, SAM, CATEC, 4-103.*
- Morales Rincón, N. (2011). Contribución al estudio etológico de *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821) y *Sotalia guianensis* (P - J Van Bénédén, 1864) en el Acuario y Museo del Mar El Rodadero, Santa Marta. *Universidad Jorge Tadeo Lozano.*
- Moreno, M., & Valderrama, J. (2002). Estado actual y crecimiento de *Acropora palmata* (Lamarck) Verón, 2000 y *A. cervicornis* (Lamarck) Verón, 2000 en el Parque Nacional Natural Tayrona, Caribe Colombiano. *Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 143.*
- Mumby, P., Chisholm, J., Edwards, A., Andrefouet, S., & Jaubert, J. (2001). Cloudy weather may have Society Island reef corals during the 1998 ENSO event . *Marine Ecology Progress series, 209-216.*
- Murillo, I. (2012). Experimentos iniciales para la restauración de las especies *Acropora cervicornis* y *A. palmata* en el área arrecifal de Playa del Muerto (Parque Nacional Natural Tayrona). *Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.*
- Padilla, C., & Lara, M. (1996). Efecto del tamaño de las colonias en el crecimiento de *Acropora palmata* en Puerto Morelos, Quintana Roo, México. *Hidrobiología, 17-24.*
- Pardo Ochoa, A. (2013). Evaluación del estado actual de la conservación de cinco parches coralinos en la zona sur-occidental de Isla Fuerte, mar Caribe, Colombia. *Pontificia Universidad Javeriana, 55.*
- Pertuz, H. (30 de 1 de 2020). *Héctor Pertuz*. Obtenido de Héctor Pertuz: <https://hectorpertuz.com/como-llegar-a-playa-blanca-santa-marta/>

- Pizarro, V., Carrillo, V., & García Rueda, A. (2014). Revisión y estado del arte de la restauración ecológica de arrecifes coralinos. *Biota colombiana*, 132-149.
- Rinkevich, B. (2000). Steps towards the evaluation of coral reef restoration by using small branch fragments. *Marine biology*, 807-812.
- Romero Hernández, Y. (2018). Efecto de la sedimentación en el desarrollo de los arrecifes coralinos . *Revista de Investigación Agropecuaria y Desarrollo Sostenible*, 42-48.
- Romero Rodríguez, D., Bernal, G., & Zea, S. (2014). Variables ambientales durante el blanqueamiento coralino en el Caribe colombiano. *Revista Academica Colombiana. Ciencias Naturales*, 347-55.
- Salas de León, D. A., & Monreal Gómez, M. A. (2005). Procesos físicos que influyen en la productividad biológica de los mares mexicanos. *Cienoía*, 49-59.
- Schuhmacher, H., & Pelwka, M. (1981). The adaptative significance of mechanical properties versus morphological adjustments in skeletons of *Acropora palmata* and *Acropora cervicornis* (Cnidaria, Scleractinia). *Proc. 4th. Int. Coral Reef Symp., Manila*, 121-128.
- SEMARNAT. (2018). Programa de Acción para la Conservación de las Especies *Acropora* (Cuerno de ciervo *Acropora cervicornis* y Cuerno de alce *Acropora palmata*). SEMARNAT/CONANP. México.
- Shafir, S., Edwards, A., Rinkevich, B., Bongiorno, L., Levy, G., & Shaish, L. (2010). Constructing and managing nurseries for asexual rearing of corals. En A. J. Edwards, *Reef Rehabilitation Manual* (págs. 49-72). Australia: Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management .
- Shaish, L., Levy, G., Katzir, G., & Rinkevich, B. (2010). Employing a highly fragmented, weedy coral species in reef restoration. *Ecological Engineering*, 1424-1432.
- Sian Ka'an. (2013). Monitoreo del coral cuerno de alce (*Acropora palmata*) en la Reserva de la Biosfera Arrecifes de Sian Ka'an. *Sian Ka'an Reserva de la biosfera/CONAP-Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas*, 14.
- SINAC. (2016). Protocolo PRONAMEC: Protocolo para el monitoreo ecológico de las agregaciones de mamíferos acuáticos. *Proyecto Consolidación de las Áreas Marinas Protegidas, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF)*. San José, Costa Rica, 55.
- Szmant, A. (1985). Reproductive ecology of Caribbean reef corals. *Coral reefs*, 43-54.
- Torres, J., Armstrong, R., Corredor, J., & Gilbes, F. (2007). Physiological Responses of *Acropora cervicornis* to Increased Solar Irradiance. *Photochemistry and Photobiology* , 839-850.
- True, J. (2012). Salinity as a structuring force for near shore coral communities. *Proceedings of the 12th International Coral Reef Symposium. Cairns, Australia*.

- Trujillo, F., Ortíz Gómez, E., Mosquera Guerra, F., Jáuregui, A., & Pabón Albana, K. (2017). Plan de conservación y manejo de mamíferos acuáticos del departamento del Magdalena . *CORPAMAG, Fundación Omacha, Fundación Museo del Mar y Acuario y Museo del Mar Fospina S.A.S. Santa Marta, Colombia*, 112.
- V. Botello, A., Rendón von Osten, J., Gold Bouchot, G., & Agraz Hernández, C. (2005). Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. *Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología*, 695.
- Wells, L., Perez, F., Hibbert, M., Clerveaux, L., Johnson, J., & Goreau, T. (2010). Effect of severe hurricanes on Biorock Coral Reef Restoration Projects in Grand Turk, Turks and Caicos Islands. *Revista de Biología Tropical*, 141-149.
- Wilkinson, C., & Souter, D. (2008). Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005. *Global coral reef monitoring network and reef and Rainforest research centre*, 152.
- Young, C. N., 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* , 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*, Vol. 9 (1).
- Zarza, E., Vargas, A., Londoño, L., Pacheco, A., & Duque, D. (2014). Ensayo preliminar de crecimiento de fragmentos de coral amenazado *Acropora cervicornis* en una guardería colgante y experiencia piloto de trasplante en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo, Caribe colombiano . *Biota colombiana* , 102-113.

10. ANEXOS

Anexo A. Medidas del crecimiento de las colonias de *Acropora palmata*, presentes en las guarderías tipo arbolito del Acuario. Se registra el largo y ancho de cada una de las colonias, donde el largo hace referencia al crecimiento horizontal de la colonia, es decir, el largo de la rama.

No. Arbolito	Especie	Tiempo de construido	Crecimiento (cm)																				Promedio de crecimiento lineal (cm)	
			No. Colonia	Linea 1		Linea 2		Linea 3		Linea 4		Linea 5		Linea 6		Linea 7		Linea 8		Linea 9		Linea 10		
				Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo		Ancho
7	<i>Acropora palmata</i>	1.5 años	1	20	10	19	9	22	12	11	7	30	22	19	16	10	10	30	10	15	4	17	10	13,8
			2	9	6	10	5	7	9	20	11	10	8	12	9	30	20	19	13	14	5	16	15	
			3	20	15	12	8	14	10	18	12	19	18	30	20	30	20	12	8	17	15	15	10	
			4	19	15	13	9	10	8	12	9	18	11	13	10	22	18	20	6	11	9	13	10	
			5	13	10	15	9	20	11	13	8	9	9					21	11	16	17	17	15	
			6			10	8	17	13	20	13									16	8	16	10	
			7																	12	9	18	9	
			8																	23	14	15	8	
			9																	14	13	30	20	
			10																	16	15			
8	<i>Acropora palmata</i>	1.5 años	1	10	8	19	3	17	10	15	13	20	19	13	10	N/A	N/A	N/A	N/A					10,6
			2	12	12	20	10	17	10	17	10	17	18	muerta										
			3	7	9	9	5	13	12	13	13	15	13	muerta										
			4	9	12	15	8	13	16	muerta	17	10	12	8										
			5	9	8			10	8			muerta	15	14										
			6	7	3																			

Anexo B. Hoja de datos avistamiento N° 1.

Número de salida	1				
Fecha	24/2/2021	Hora de salida	10:30	Hora de llegada	13:00
Localidad	Bahía Gaira - Punta Venado				
Lugar de avistamiento	Punta Venado - Morro de Santa Marta				
Hora de avistamiento	Inicio	12:20	Final	12:40	
Condiciones del tiempo	Asoleado				
Beaufort	2				
Posición GPS		Lat N	11°16.5' 17"	Long W	74°12.8'76"
Especie	<i>Tursiops truncatus</i> y <i>Steno bredanensis</i>				
Observaciones	Avistamiento de un grupo de delfines adultos, juveniles y crías. Las actividades que se observaron que realizaron fue jugar en la proa del catamarán, alimentación (caza), desplazamientos.				

Anexo C. Hoja de datos avistamiento N° 2.

Número de salida	2				
Fecha	27/2/2021	Hora de salida	10:30	Hora de llegada	13:00
Localidad	Bahía Gaira - Punta Venado				
Lugar de avistamiento	Playa Blanca				
Hora de avistamiento	Inicio	11:00	Final	11:20	
Condiciones del tiempo	Asoleado				
Beaufort	2				
Posición GPS		Lat N	11°13.1' 94"	Long W	74°14.5'57"
Especie	<i>Tursiops truncatus</i> y <i>Steno bredanensis</i>				
Observaciones	Se observaron mas de 30 individuos, en grupos entre 2 y 7. Se observó una hembra preñada. Los delfines se encontraban desplazándose de sur a norte, al parecer estaban persiguiendo un cardumen ya que ese día había bastante pesca. Se identificaron adultos y juveniles.				

Anexo D. Hoja de datos avistamiento N° 3.

Número de salida	17				
Fecha	1/4/2021	Hora de salida	10:30	Hora de llegada	1:00
Localidad	Bahía de Gaira - Punta Aguja				
Lugar de avistamiento	Punta Betín				
Hora de avistamiento		Inicio	12:25	Fin	12:40
Condiciones del tiempo	Asoleado, despejado				
Beaufort	2				
Posición GPS		Lat N	11°16.1'11"	Long W	74°13.8'72"
Especie	<i>Tursiops truncatus</i> y <i>Steno bredanensis</i>				
Observaciones	Se presento avistamiento de delfines, observando un grupo pequeño de aproximadamente 20 individuos, estructura poblacional: adultos (11), juveniles (6) y crías (3); Actividades desarrolladas: juego con la embarcación y se encontraban en desplazamiento. Se observo actividad de pesca unicamente en punta aguja, no se avistaron aves y el viento fue moderado.				

Anexo E. Hoja de datos avistamiento N° 4.

Número de salida	18				
Fecha	3/4/2021	Hora de salida	10:30	Hora de llegada	13:00
Localidad	Bahía de Gaira - Punta Aguja				
Lugar de avistamiento	Playa Lipe - Playa de la cueva				
Hora de avistamiento		Inicio	12:20	Fin	12:45
Condiciones del tiempo	Nublado				
Beaufort	1 (oleaje suave "se ve como un espejo")				
Posición GPS		Lat N	11°14.4'88"	Long W	74°13.8'71"
Especie	<i>Steno bredanensis</i> y <i>Tursiops truncatus</i>				
Observaciones	Se presento avistamiento de delfines, con una poblacion de 30 individuos aproximadamente. Se observo adultos (una hembra preñada), juveniles, y una cría muerta; la mamá de la cría la intento reanimar varias veces, colocando el cuerpo en el hocico y dandole golpes suaves, alrededor de ella se encontraba un grupo de 3 adultos formando un "circulo" para protección de ella y su cría. Cuando la embarcación se acercaba la hembra sumergía el cuerpo y no fue posible verlo de cerca. Las actividades que desarrollo el grupo fueron Juegos con la embarcación y con bolsas de plastico, colocandolas en las aletas (laterales y caudal) y en el hocico, cerca de la embarcacion se giraban como "exhibiendose", desplazamiento y alimentación. Durante el avistamiento se presentaron aves (fragatas). Se observó actividad de pesca unicamente en Punta Aguja, el viento estuvo suave, se presento avistamiento de aves como pelicanos y fragatas en bahía de Gaira, bahía de Santa Marta y Punta venado, en Punta Betín se observo un alcatraz y en Taganga se encontraron cormoranes, además de esto, durante este dia se observó una alta actividad de lanchas y motos acuáticas.				

Anexo F. Hoja de datos avistamiento N° 5.

Número de salida	23				
Fecha	23/4/2021	Hora de salida	10:40	Hora de llegada	12:40
Localidad	Bahía de Gaira - Punta Venado				
Lugar de avistamiento	Punta Betín				
Hora de avistamiento	Inicio	12:00	Fin	12:15	
Condiciones del tiempo	Asoleado				
Beaufort	2				
Posición GPS		Lat N		Long O	
Especie	<i>Steno bredanensis</i>				
Observaciones	Avistamiento de un grupo de juveniles entre 10 a 12 ejemplares aproximadamente. Actividad de desplazamiento hacia bahía Granate.				