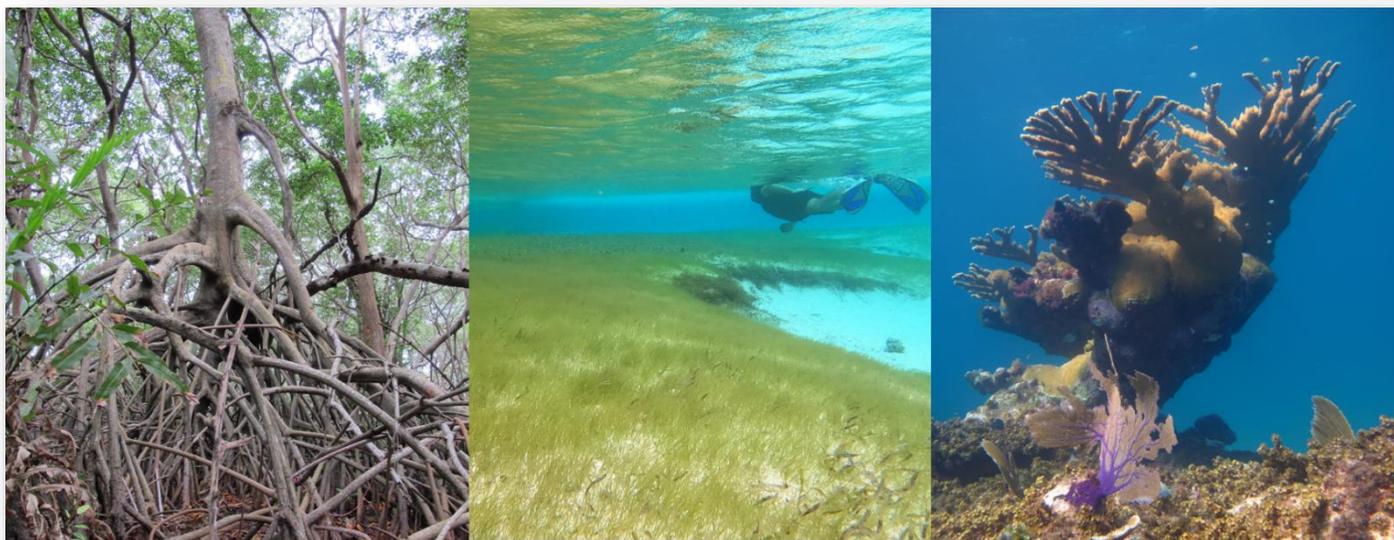


PROTOCOLOS DE EVALUACIÓN Y RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS DESPUÉS DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS CASO HURACANES: ARCHIPIÉLAGO DE SAN ANDRÉS, PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA, RB SEAFLOWER, COLOMBIA.

INFORME FINAL

Productos del convenio 002 del 4 de octubre de 2021 entre Coralina y la Universidad Nacional de Colombia - Sede Caribe.



Dirección: Adriana Santos Martínez, Dra.

Coordinación Ecosistemas: Julián Prato Valderrama, Cand. PhD. Coordinación Gestión del Riesgo: Carolina Velásquez, PhD. Coordinación Logística y Divulgación: Robert Hudgson Reeves, Dr.

**Equipo Científico Ecosistemas Manglares, Pastos Marinos y Corales
Asesoría Jurídica responsabilidades institucionales y Análisis cartográficos SIG.
Asesoría UNAL – ECOMARES - BLUE INDIGO y CEMARIN**

**San Andrés Isla, 2022
Colombia**



Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Sede Caribe
Sede Bogotá
Sede Medellín

Fondo de Compensación Ambiental-FCA



**El ambiente
es de todos**

Minambiente

Asesorías y apoyo



Participantes

CORALINA

Arne Britton, Dr. Director General.
Dahian Mitchell, Dra.
Mishell Taylor, Dra.
Marcelo Diviola, Biólogo

BLUE INDIGO

María Fernanda Maya, Bióloga
Mariana Genecco, Bióloga

ECOMARES

Elvira Alvarado, PhD.
Valeria Pizarro, PhD.
Juliana Vanegas, Bióloga

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Sede Caribe

Adriana Santos-Martínez, Dra.
Julian Prato MSc. Cand. PhD.
Carolina Velásquez, PhD.
Robert Hudgson Reves Dr.
Juan David Osorio, PhD.
Fady Ortiz, Dr.
Diana Castaño, Cand. MSc.
Yanelis Cantillo, Bióloga
Juan Carlos Mejía, PhD.
Osmani Castellanos, MSc.
Venus Avendaño, Contadora.
Tishanny Mow, Administradora.
Dianira Calderón Lung, Diseñadora
Salma Tabet, Comunicadora.

Sede Bogotá

Ernesto Mancera, PhD.
Brigitte Gavio, PhD.
Lina Ochoa, Bióloga.
Álvaro Sandoval, Biólogo.
Paola Echeverry, Ingeniera

Sede Medellín

Andrés Osorio, PhD.
Juan Pablo Ramírez Monsalve, Ingeniero
Paula Andrea Espinosa Ordoñez, Ingeniera

Asesorías y apoyo



CONTENIDO GENERAL SECCIONES

Presentación

- I. **Gestión del riesgo de desastres basado en ecosistemas**
- II. **Competencias y responsabilidades institucionales**
- III. **Documento técnico detallado protocolo de restauración ecosistemas de Manglares**
- IV. **Documento técnico detallado protocolo de restauración ecosistemas de Pastos Marinos**
- V. **Documento técnico detallado protocolo de restauración ecosistemas de Arrecifes de coral**
- VI. **Participación social para la gestión del riesgo en ecosistemas marinos**
- VII. **Documento síntesis protocolos de restauración ecosistemas frente a huracanes (procedimientos restauración manglares, pastos marinos y corales).**
- VIII. **Herramientas para la divulgación del conocimiento, Infografías y libros.**

Anexo 1. Mapas de áreas susceptibles a impactos por huracanes.

Anexo 2. Segundo Informe de avance, información secundaria disponible.

Protocolos de evaluación y restauración de ecosistemas después de eventos climáticos extremos caso huracanes: Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina - RB Seaflower, Colombia

SECCIÓN V

Documento técnico protocolo de respuesta y restauración post huracán para ecosistemas: Arrecifes de coral

Juliana Vanegas¹, Mariana Gnecco¹, Elvira María Alvarado Chacón², Valeria Pizarro², María Fernanda Maya¹
Ed. Julián Prato³, Adriana Santos-Martínez³

¹ Blue Indigo Foundation ² ECOMARES ³ Universidad Nacional de Colombia



Foto por David Valencia

Universidad Nacional de Colombia - Sede Caribe
Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés,
Providencia y Santa Catalina, Coralina.
San Andrés isla
2022

Tabla de contenido

1. Introducción.....	9
2. Estado del arte.....	11
2.1. Estado de los ecosistemas en el área de estudio.....	12
2.2. Vulnerabilidad, amenazas, y antecedentes históricos de afectaciones en los ecosistemas frente a huracanes.	18
3. Procedimientos de preparación pre-huracán	22
3.1. Preparación antes de iniciar la temporada de huracanes:	22
3.1.1 Grupo de respuesta a emergencias ambientales Marino Costeras-AMC frente a ciclones tropicales, salvamento de arrecifes coralinos:	23
3.1.2. Estimación general de fondos necesarios para la implementación del plan - Presupuesto:	24
3.1.3. Zonas prioritarias “a-priori” y stock de corales:	26
3.1.4. Estaciones fijas de monitoreo arrecifal:	31
3.1.5. Posibles especies afectadas en diferentes escenarios de huracán:	32
3.2. Stock de corales o reservorios naturales de corales para restauración frente a ciclones tropicales.....	34
3.2.1. Arrecifes profundos.....	35
3.2.2. Arrecifes naturalmente protegidos por su ubicación	36
3.3. Preparación para un evento extremo de ciclón tropical (depression, tormenta, huracán, huracán mayor) - Alerta temprana:	36
4. Procedimiento de evaluación de daños y respuesta a corto, mediano y largo plazo	38
4.1. Evaluación de daños:	38
4.1.1. Evaluación primaria mediante arrastre o “Manta Tow”	40
4.1.2. Evaluación ecológica rápida	43
4.1.3. Evaluación de arrecifes someros mediante dron	44
4.1.4. Evaluación detallada o secundaria	46
4.2. Respuestas a corto, mediano y largo plazo:	48
4.2.1. Priorización de sitios para respuesta inmediata - corto plazo	48
4.3. Respuestas a corto plazo	51
4.3.1. Limpieza marina	51
4.3.2. Primeros auxilios del arrecife	52
4.4. Respuesta secundaria o de rehabilitación - mediano plazo	56
4.4.1. Estabilizar fracturas de colonias de gran tamaño.....	56
4.4.2. Guarderías de coral	57
4.4.3. Guarderías de coral: recomendaciones para el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina	63
4.4.4. Mantenimiento de sitios asistidos y guarderías de coral - mediano y largo plazo.....	63

4.4.5.	Trasplante de las colonias obtenidas mediante los esfuerzos de restauración - largo plazo.....	64
4.5.	Otras técnicas de restauración - mediano y largo plazo	66
4.5.1.	Microfragmentación.....	66
4.5.2.	Cría de larvas: propagación sexual	67
5.	Métodos de seguimiento y monitoreo de los esfuerzos de rehabilitación y restauración - Acciones post-respuesta	68
5.1.	Monitoreo de los esfuerzos de rehabilitación en sitios intervenidos	68
5.2.	Monitoreo de las guarderías de coral:.....	69
5.3.	Monitoreo de sitios de trasplante:.....	70
5.4.	Otras recomendaciones de manejo para la restauración efectiva:.....	70
5.4.1.	Monitoreo post-huracán de las áreas arrecifales del archipiélago de San Andrés, providencia y Santa Catalina.	70
5.4.2.	Monitoreo de las comunidades asociadas.	70
5.5.	Evaluación y actualización del protocolo:	71
6.	REFERENCIAS	72
7.	ANEXO 1: Esquema metodología AGRRRA para evaluación de comunidades bentónicas y arrecifes de coral.....	77
8.	ANEXO 2: Ejemplo de formato de evaluación en campo.	81
9.	ANEXO 3: Tablas de presupuestos de actividades con precios a 2022	82
10.	Anexo 4. Verificación de coberturas coralinicas en campo como insumos para los protocolos de restauración luego de eventos climáticos extremos caso huracanes, aportes a línea base para el manejo.....	99

Lista de figuras

Figura 1. Fases de preparación y respuesta para arrecifes de coral, ante eventos meteorológicos.....	11
Figura 2. Funciones del “Grupo de respuesta a emergencias ambientales Marino Costeras-AMC frente a ciclones tropicales, arrecifes coralinos”	24
Figura 3. Niveles de energía del oleaje (1 = muy bajo a 5 = muy alto) en las islas del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina: (a) San Andrés, (b) Providencia y Santa Catalina, (c) Quitasueño, (d) Albuquerque, (e) Bolívar, (f) Roncador, (g) Serrana. La escala equivale a 1500 m. Tomado de Díaz, 2005.	27
Figura 4. Zonas prioritarias y de importancia ecológica de la isla de San Andrés. Tomado y modificado de CORALINA-INVEMAR, 2018.....	29
Figura 5. Zonas prioritarias y de importancia ecológica de la isla de Providencia y Santa Catalina. Tomado y modificado de Díaz et al., 2000.....	31
Figura 6. Datos mínimos requeridos para la evaluación de daños propuesto por Viehman et al. (2020). El nivel de daño corresponde a lo especificado en la tabla 3. *El número de corales hace referencia al número de colonias que requieren alguna acción de respuesta.....	39
Figura 7. Técnica de arrastre o “Manta Tow” para la evaluación rápida en arrecifes. Imagen superior: estructura principal; imagen inferior: detalle del “manta board”. Tomada y modificada de Bass y Miller, 1996).....	43
Figura 8. Ortofotomosaico de arrecifes someros obtenido mediante evaluación con dron. La imagen satelital de la Izquierda muestra la Isla de San Andrés con el área muestreada en un rectángulo rojo. La imagen del centro representa la imagen evaluada y a la derecha se presenta un acercamiento del mosaico en el cual se puede observar una colonia de coral masivo del género Diploria. Imágenes tomadas, porcesadas y elaboradas por Juan Carlos Mejía con analisis realizado por Julián Prato.	45
Figura 9. Categorías generales del nivel de afectación de los corales tras la ocurrencia de eventos meteorológicos.	48
Figura 10. Criterios para la priorización de las áreas en las que se requiere una respuesta primaria. Fotos 1, 4 y 5: Tomadas de Zepeda-Centeno et al., 2019. Foto 2: JVanegas, 2018. Foto 3: Tomada de Díaz et al., 2000.	49
Figura 11. Izquierda: Ejemplo de mapa de afectación tras el paso de un ciclón sobre los arrecifes de coral. Derecha: Fotografías ejemplificando arrecifes con los diferentes niveles de afectación. Imágenes tomadas y modificadas de: Great Barrier Reef Marine Park Authority, 2011.....	51
Figura 12. Procedimiento para el reposicionamiento y estabilización de las colonias de coral afectadas por los huracanes.....	54
Figura 13. Estabilización de lesiones en colonias de gran tamaño. a) Lesión en coral cerebro (Pseudodiploria strigosa). b) Restauración de lesión con cemento c) restauración de lesión con plastilina o masilla epóxica. Tomado de Zepeda-Centeno et al., 2019.....	56
Figura 14. Ejemplos de diferentes tipos de etiquetas que pueden ser colocados en las colonias de coral que han auxiliadas durante alguna de las fases. (A: etiquetas con zuncho plástico, B: etiqueta de ganado con numeración embebida con laser, C: etiquitas metálicas).....	57

Figura 15. Algunos de los diferentes tipos de guarderías de coral implementados en el Caribe. (Fotos: 1: Pizarro et al., 2014. 2, 3, 7: Zepeda-Centeno et al., 2019. 4: Johnson et al., 2011. 5: Nedimyer et al., 2011). 59

Figura 16. Ejemplo de diseños de guardería flotante a media agua. A. Guardería flotante en forma de marco para aguas abiertas, B. Mini-guardería (Tomado de Edwards, 2010). C. Guarderías flotantes con *Acropora cervicornis* en el sector suroccidental de San Andrés (foto: Blue Indigo Foundation). 60

Figura 17. Factores por considerar para la elección del sitio de trasplante (Johnson et al., 2011)..... 65

Lista de Tablas

Tabla 1. Costos de evaluación, respuesta primaria y respuesta secundaria de 1000 m² de arrecife, en tres escenarios de afectación..... 25

Tabla 2. Posibles especies afectadas en diferentes escenarios de severidad de huracanes. Tipos de crecimiento coralino: 33

Tabla 3. Niveles y categorías de daño basado en las categorías propuestas por Beeden et al. (2015). 38

Tabla 4. Adjunta Anexo 1. Categorías, códigos and para la evaluación bentónica. 78

1. Introducción

Los arrecifes de coral son considerados los ecosistemas marinos más diversos (Gardner et al., 2005). A pesar de que solo cubren el 1% del fondo marino, proveen hábitat y alimento para casi un cuarto de toda la vida marina conocida (Souter y Lindén, 2000). Para los humanos, proporcionan tres tipos de valores: valores de uso directo, principalmente relacionados con la recreación (buceo, careteo, turismo, observación) y alimentación, valores indirectos (protección costera, hábitat/guardería para especies comerciales) y valores de preservación, que se refieren al aumento del bienestar humano que las comunidades costeras obtienen del ecosistema (Brander et al., 2007).

Existen diferentes tipos de formaciones coralinas y de acuerdo con esto prestan diferentes servicios. Por ejemplo, la cresta arrecifal es de gran importancia para las poblaciones costeras debido a su efecto en la disipación de la energía del oleaje que cruza el arrecife hacia la costa debido a su alta complejidad y rugosidad, brindando protección costera (Zepeda-Centeno et al., 2019). Se ha demostrado que la energía de las olas es disipada hasta en un 97% por la presencia de estas barreras de coral antes de llegar a la costa (Ferrario et al., 2014). En Colombia este tipo de formación está compuesta por varias unidades ecológicas dentro de las que están: algas pétreas-*Millepora complanata*-Zoantídeos, *Acropora palmata*-*Pseudodiploria strigosa* y *Porites porites* principalmente (Díaz et al., 2000)¹.

A pesar de su importancia, los arrecifes de coral se encuentran amenazados por una combinación de factores de estrés de escala global, regional y local, dentro de los que se encuentran la sobrepesca y pesca destructiva, la contaminación de cuencas hidrográficas y el mar, el desarrollo costero, el estrés térmico y la acidificación de los océanos (Burke, 2011). Las perturbaciones naturales, como los ciclones o huracanes, han sido magnificadas por la actividad humana (Goldenberg et al., 2001; Cheal et al., 2017). Se prevé la aparición más frecuente de ciclones los cuales a su vez serán más intensos y destructivos con consecuencias potencialmente graves para los ecosistemas de arrecifes de coral (Cheal et al., 2017). Algunos autores aseguran que una de las razones de la degradación de los arrecifes someros tras la ocurrencia de huracanes es la frecuencia de estos, cada dos años, lo cual no da suficiente tiempo para su recuperación de las colonias entre eventos (Zepeda-Centeno et al., 2019). Dichas circunstancias llaman a la necesidad de que países que presenten temporada de huracanes cuenten con protocolos para la respuesta ante estos eventos, en los cuales se prepare para el evento de forma que se logre la recuperación de este ecosistema ante el impacto de estos fenómenos climáticos.

¹ En todo el documento se usarán los nombres científicos aceptados actualmente (Budd et al., 2012).

Los daños que estos eventos climáticos (ciclones tropicales o los huracanes) pueden causar al arrecife pueden ser desde daños leves, hasta la destrucción total de la comunidad coralina (Cheal et al., 2017). El nivel de afectación depende de la frecuencia, intensidad, cercanía de la trayectoria del huracán y la duración de este (Zepeda-Centeno et al., 2019). Sumado a lo anterior, las características propias del arrecife también tienen influencia en la magnitud de la afectación. Diferencias en la composición de especies, la profundidad, la pendiente arrecifal, y el nivel de exposición al oleaje, entre otros, pueden influir en que el daño sobre unos arrecifes sea mayor que en otros. El principal efecto de los huracanes sobre los corales está asociado a la generación de olas y marejadas que pueden romper o desprender colonias, además de mover sedimento y arena que pueden llegar a cubrirlas, generando la pérdida de tejido y el debilitamiento a los corales debido a la abrasión y la ausencia de luz, lo cual a su vez aumenta su vulnerabilidad a otros estresores como el blanqueamiento (Wilkinson y Souter, 2008, Zepeda-Centeno et al., 2019).

Las recientes afectaciones en el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina por parte de diferentes huracanes como el huracán Beta, en 2005, y los huracanes Eta e Iota, en 2020 (INVEMAR, 2020) han llevado a la necesidad de generar un protocolo que dé lineamientos sobre cómo actuar ante un evento de desastre, con el fin de salvaguardar a los arrecifes de coral. La ley 1523 de 2012, por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, establece las siguientes fases para el manejo de desastres: primero, la preparación para la respuesta a emergencias y para la recuperación post desastre; luego, la ejecución de dicha respuesta y recuperación.

De acuerdo con lo anterior, este protocolo tiene como objetivo guiar la implementación de acciones que ayuden a reducir los daños a los arrecifes de coral antes y después de la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos, y reducir el tiempo de respuesta requerido para minimizar el daño sobre los corales. En él se detallan las diferentes fases a seguir para auxiliar los corales con el fin de prevenir daños mayores que tal vez sean irreparables en el futuro. Como lo resume la Figura 1, este documento incluye acciones a realizar previo a la afectación por parte de un evento meteorológico, al igual que lo que se debe hacer inmediatamente después de que sucede la catástrofe, a un término de corto plazo (1 año), mediano plazo (3 años) y largo plazo (5-10 años).

Este protocolo está realizado luego de realizar una extensa revisión bibliográfica sobre el estado de los ecosistemas en San Andrés y Providencia, las metodologías de monitoreo y evaluación de daños existentes y documentos de protocolos de restauración desarrollados para el mundo, la Región Caribe y Colombia, de manera que basados en dicha información, experiencias del grupo de expertos nacionales e internacionales y de la comunidad, se puedan proponer en este documento mecanismos para la restauración coralina post-huracán en el departamento Insular.

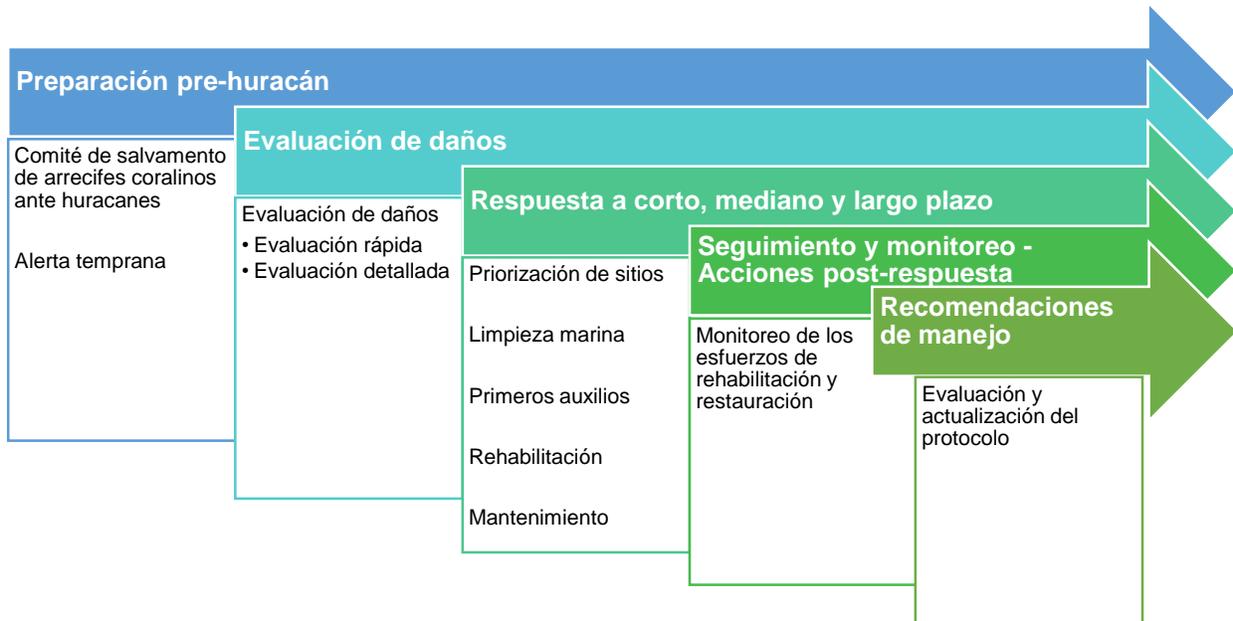


Figura 1. Fases de preparación y respuesta para arrecifes de coral, ante eventos meteorológicos.

Se espera que con este protocolo las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales tengan las herramientas para actuar, mitigar el posible daño y proteger a los arrecifes de coral del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, y los servicios ecosistémicos que estos proveen a la población. Adicionalmente, que pueda proporcionar un marco de acciones que guíe los esfuerzos de investigación por parte de la academia, los centros de investigación, las organizaciones no gubernamentales que buscan la conservación de los arrecifes, en alianza con otros usuarios de los ecosistemas arrecifales (p. ej. pescadores artesanales, guías turísticos marinos).

2. Estado del arte

De todos los ecosistemas marinos, los arrecifes de coral son los más diversos (Gardner et al., 2003). Aunque cubren menos del 1% del fondo marino, proveen hábitat y alimento para casi un cuarto de toda la vida marina conocida (Souter y Lindén, 2000). Para los humanos, proporcionan tres tipos de valores: valores de uso directo, principalmente relacionados con la recreación (buceo, *snorkeling*, turismo, observación), valores indirectos (protección costera, hábitat/guardería para especies comerciales) y valores de preservación, que se refieren al aumento del bienestar humano que las comunidades costeras obtienen del ecosistema (Brander et al., 2007). Las estimaciones del valor global de los bienes y servicios de los arrecifes de coral

son cercanos a los \$30 mil millones de dólares en beneficios netos anuales, que incluyen turismo, pesca y protección costera (Cesar et al., 2003).

A pesar de la importancia ecológica y socioeconómica de este ecosistema y su capacidad para sostener a cientos de millones de personas, la mala gestión e insuficiente protección ha causado una pérdida de aproximadamente el 40% del sistema mundial de arrecifes de coral en las últimas cuatro décadas (Bruno y Selig, 2007). Se cree que el 75% de los arrecifes a nivel mundial están amenazados por una combinación de factores locales y globales de origen antropogénico (Burke, 2004). En el Mar Caribe, los estudios estiman que dos tercios de los arrecifes están directamente amenazados por actividades humanas y el 40% de estos arrecifes tienen un alto riesgo de declive en la próxima década (Novaczek, 2013).

Especies formadoras de arrecifes como *Acropora cervicornis*, *A. palmata* y *Orbicella spp.* han sufrido pérdidas importantes en su cobertura (Gardner, 2003; Hoegh-Guldberg et al., 2007). Debido a esto y a otros cambios que han ocurrido durante las últimas décadas, como la mortalidad masiva de especies herbívoras como el erizo negro (*Diadema antillarum*) (Carpenter, 1990; Lessios, 1988), es que los arrecifes, particularmente en la región del Caribe, están experimentando un cambio de fase, pasando de alta a baja cobertura de coral. La reducción en la cobertura de coral duro y las poblaciones de herbívoros ha causado que las macroalgas bentónicas se conviertan en el grupo dominante en los arrecifes del Caribe (Spadaro, 2015).

Los arrecifes de coral están amenazados por una combinación de estresores de escala global, regional y local, de los que se consideran principales: la sobrepesca y pesca destructiva, la contaminación de cuencas hidrográficas y el mar, el desarrollo costero, el estrés térmico y la acidificación de los océanos (Burke, 2011). Las perturbaciones naturales, además, han sido magnificadas por la actividad humana, como es el caso de los ciclones. Se prevé la aparición más frecuente de ciclones más intensos y destructivos con consecuencias potencialmente graves para los ecosistemas de arrecifes de coral (Cheal et al., 2017). Dichas circunstancias llaman a la necesidad de protocolos y planes para la preparación y recuperación de este ecosistema ante el impacto de fenómenos climáticos.

2.1. Estado de los ecosistemas en el área de estudio

El Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, con sus bancos y atolones, se formó en el periodo Cretácico, hace aproximadamente 80 millones de años, a partir de volcanes situados sobre fracturas tectónicas de la corteza submarina (Geister, 1973, 1992). Este complejo insular se encuentra en el Caribe Suroccidental, aproximadamente a 780 km al norte de la costa de Colombia y 180 km al este de Nicaragua, siendo el único departamento oceánico del país (Matera, 2016).

El área, que fue declarada Reserva de Biósfera por la UNESCO en el año 2000, comprende 180.000 km² de ecosistemas terrestres, costeros y marinos (Castaño-Isaza et al., 2015). En cuanto a arrecifes, el Archipiélago cuenta con más del 77% de la extensión total de áreas coralinas del país (CORALINA-INVEMAR, 2012). La comunidad béntica del complejo arrecifal del Archipiélago está dominada por 45 especies de corales pétreos, 40 especies de octocorales gorgonáceos, 118 especies de esponjas y 163 especies de algas, cuya distribución y abundancia depende altamente de la turbulencia y profundidad (Díaz, 1996). Además, se han registrado en el territorio un total de 653 especies de peces de 121 familias, siendo la isla de Providencia la más diversa, con 487 especies (Bolaño-Cubillos et al., 2015) y 44 especies de especies de invertebrados vágiles (CORALINA-INVEMAR, 2012).

Desde la década de los setenta, múltiples autores realizaron descripciones extensas de los arrecifes del Archipiélago, incluidos sus bancos y atolones (Díaz et al., 1996; Geister, 1973, 1992; Geister y Díaz, 1997; Zea et al., 1998). Pese a algunos cambios en los elementos descritos (como la disminución de las poblaciones de *Acropora* spp.), estas caracterizaciones aún son fieles a la biogeomorfología general del ecosistema en el territorio. En particular, Díaz et al. (1996, p. 18 - 22) ofrece una descripción muy acertada de la composición y distribución general de especies sésiles del complejo arrecifal del Archipiélago:

En las terrazas prearrecifales de barlovento se encuentran comúnmente las especies de corales masivos *Pseudodiploria strigosa*, *Siderastrea siderea* y *Montastraea cavernosa*; y una gran diversidad y abundancia de octocorales, que pueden alcanzar hasta los 3 m de altura (especialmente debajo de los 10 m de profundidad) y está compuesta principalmente por los géneros *Antilloorgia*, *Plexaura* y *Eunicea*. En este ambiente también ocurren frecuentemente las especies de esponjas *Agelas schmidtii* y *A. wiedenmayeri* y de algas *Dyctiota alternans*, *Dyctiopteris justii*, *Stynopodium zonale* y *Halimeda* spp. (Díaz et al., 1996).

En sentido del oleaje, las crestas de los arrecifes periféricos y de barrera están dominadas comúnmente por algas costrosas masivas, como *Porolithon pachydermum* y *Titanoderma bermudense*, al igual que por céspedes algales, el hidrocoral *Millepora* spp. y el zoantido *Palythoa* sp. Más al interior, en zonas medianamente expuestas al oleaje, se evidencia la presencia de grandes parches coralinos donde es común observar colonias de corales cerebro (*Pseudodiploria* spp.) y macroalgas como *Halimeda opuntia*, *Laurencia* spp. y *Turbinaria* spp. En menor grado de turbulencia suele dominar el coral masivo *Orbicella faveolata*, intercalado con corales ramificados del género *Porites* spp. (en aguas mucho más calmadas) (Díaz et al., 1996). Estos autores indican la presencia de setos de *A. palmata* y *A. cervicornis* en estas comunidades coralinas, sin embargo en la actualidad han desaparecido.

Por otro lado, la plataforma superior más profunda (4-25 m) es más homogénea en su composición a través de las diferentes zonas geomorfológicas. Típicamente, dominan corales masivos del género *Orbicella*, *Pseudodiploria*, *Diploria* y *Siderastrea*; octocorales como *Antilloorgia bipinnata* y *Briareum asbestinum* y algas como *Lobophora variegata* y *Dictyota* spp.

En cuanto a esponjas, es habitual encontrar *Terpios fugax* o *Pseudaxinella zeai*, de color marrón oscuro (la esponja más común de todo el Archipiélago) que existe usualmente en grandes agrupaciones en las partes profundas de la laguna. A su vez, las especies de esponjas *Aplysina archeri*, *Aplysina cauliformis*, *Cliona sp.*, *Ectyoplasia ferox*, *Aka brevitubulata* y *Scopalina ruetzleri* se encuentran en todos los tipos de zonas arrecifales (Díaz et al., 1996).

Alrededor de las plataformas de los atolones e islas del Archipiélago, es común encontrar paredes verticales o subverticales, que en profundidades entre los 12 y 30 metros, están dominadas por corales foliáceos, como *Agaricia lamarcki*, *A. undata* y *Helioseris cucullata*, colonias dispersas de *Mycetophyllia* spp. y tienen presencia de las esponjas *Aplysina fulva*, *Pseudoceratina crassa* y *Xetospongia rosariensis*. Debajo de los 30 metros, donde la incidencia de luz es considerablemente menor, se encuentran otras especies de *Antillogorgia* spp., *Plexaura* spp. y el coral negro *Antipathes caribbeana* (Díaz et al., 1996).

En la isla de San Andrés, el complejo arrecifal se extiende por 19 km en sentido NNE y tiene una anchura máxima de 10 km. En el costado este, el costado expuesto, existe una barrera que en el N, NE y mitad del flanco E, es casi continua y forma una amplia laguna arrecifal, que alberga dos cuencas: la norte, en donde se encuentran arrecifes de parche someros de la unidad Apalm-Dstri, constituida por los corales *Acropora palmata* y *Pseudodiploria strigosa* (Díaz et al., 2000), y profundos de la unidad Mon (*Orbicella* spp.); y la oriental, con menor arrecifes franjeantes y de parche menos definidos. En el costado occidental, se encuentran dos terrazas sumergidas, con escalones de 4-6 m entre ellas. En la primera, se encuentra pavimento calcáreo desnudo o recubierto de algas filamentosas, octocorales, esponjas y corales duros incrustantes aislados. La segunda terraza se encuentra a 8-9 m y suele comenzar por una llanura arenosa, para luego desarrollarse un tapete coralino diverso de 12 m de profundidad en adelante. Esta segunda terraza termina a 20-22 m con una pared subvertical que llega a un escalón de sedimentos a 35-40 m, para luego caer verticalmente a más de 500 m (Díaz et al., 2000).

El complejo arrecifal de las islas de Providencia y Santa Catalina es considerablemente mayor, extendiéndose en sentido NNE-SSW por 33 km de largo y 12 km de ancho. La barrera arrecifal se considera la segunda en extensión en el hemisferio occidental después de la de Belice. Dicha barrera tiene un segmento continuo y uno discontinuo. Desde Crab Cay hacia el norte, y por unos 7 km, es discontinua. En esta zona se caracteriza por la presencia de pináculos coralinos irregulares. En la parte continua se forma una laguna arrecifal con innumerables arrecifes de parche de diferentes dimensiones. En la costa oriental se forman algunos arrecifes de franja dominados por *Orbicella annularis*, *Siderastrea* spp., *Porites porites* y *Diploria labyrinthiformis*. En el costado occidental, se encuentran planos rocosos y arenosos con profundidad de 2 a 20 m, en donde el desarrollo coralino es relativamente modesto, con algunos parches de arrecife dispersos con alta abundancia de octocorales (Díaz et al., 2000).

El ecosistema de arrecife es, además, el lugar de refugio, alimentación y/o reproducción de especies de valor comercial, como lo son: el caracol pala (*Aliger gigas*), la langosta espinosa del

Caribe (*Panulirus argus*) y especies de peces arrecifales (CORALINA-INVEMAR, 2012). En el Archipiélago, la pesca, aunque no represente la actividad económica principal, tiene una gran importancia sociocultural ya que es una actividad ancestral fundamental para la comunidad raizal; más que todo para la alimentación familiar. La langosta espinosa y el caracol pala se encuentran dentro de los recursos pesqueros más importantes de esta región y existe evidencia de que sus poblaciones están siendo sobre explotadas (Santos-Martínez et al., 2013).

Desde finales de la década de los 60s, se ha venido registrando el deterioro de este importante ecosistema en el Archipiélago. Entre 1968 y 1996, Zea y colaboradores (1998) realizaron un gran número de observaciones y evaluaciones (cualitativas y algunas cuantitativas) del sistema de arrecifes de San Andrés. Aproximaciones visuales de la cobertura de coral vivo en 47 estaciones en 1992 arrojó un rango de 0-60% de cobertura, con un promedio de 26%. Se evidenció una alta mortalidad reciente, con un promedio general de 52%, siendo las especies más afectadas: *Acropora cervicornis*, *A. palmata*, *Eusmilia fastigiata* y *Colpophyllia natans*. Adicionalmente, los autores estiman una cobertura de algas del 70% (25-26% de algas frondosas) en 1992 y afirman que en las primeras observaciones esta era considerablemente baja.

Este estudio atestigua también la alta mortalidad en las poblaciones de Acropóridos en el Archipiélago, como sucedió en el resto del Caribe (Cramer et al., 2020). Los investigadores confirman una alta presencia de densas marañas de *Acropora cervicornis* iniciando entre 1968-1970 y la pérdida de estas, evidenciada en visitas posteriores. Afirman que solamente el 1% de las poblaciones previamente observadas de esta especie estaban vivas en la última observación (1996). De la misma manera, se registra el declive de las poblaciones de *Acropora palmata*, asegurando la pérdida de la gran mayoría de parches de *A. palmata* observados durante los primeros años de la investigación, con pocas excepciones. Adicionalmente, en 1992 se registró una mortalidad masiva del octocoral *Gorgonia ventalina* (mortalidad media de 91.4%) y del erizo *Diadema antillarum* en 1983-84 (Zea et al., 1998).

De Providencia y Santa Catalina existen las observaciones realizadas desde 1969 hasta 1992 (Geister, 1992), que aunque no reportaron datos porcentuales de cobertura, sí reportan una gran abundancia de corales hermatípicos en las visitas tempranas, especialmente: *Acropora cervicornis* y *Porites furcata* en parches someros y más expuesto; *Orbicella annularis* en parches de aguas más calmas; y *A. palmata* en las crestas de los arrecifes de sotavento poco profundos y desprotegidos. Y al igual que en San Andrés, registra la pérdida de poblaciones de Acropóridos y la mortalidad masiva del erizo *D. antillarum*.

A partir de 1998 y hasta la fecha, los esfuerzos de monitoreo de arrecife más constantes han sido realizados por el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras, INVEMAR, de Santa Marta, y la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, CORALINA (Navas-Camacho et al., 2019). Este trabajo conjunto ha propendido por la evaluación de cobertura y abundancia de elementos clave del arrecife como los principales

componentes del fondo, la salud coralina, la abundancia de invertebrados vágiles y octocorales, y la riqueza y abundancia de peces arrecifales. Desde 1998 hasta 2014, implementó la metodología del programa Caribbean Coastal Marine Productivity (CARICOMP) para todo el Caribe (CARICOMP, 1994), que se basó en la unidad de cinco transectos lineales de 10 m cada uno.

Desde 2014, se implementó una segunda metodología, que si bien evalúa indicadores similares y hace uso de los transectos originales, tiene algunas modificaciones que permiten obtener el Índice Condición Tendencia para Arrecifes Coralinos (Rodríguez-Rincón et al., 2014). Las variables y métodos escogidos para esta segunda metodología, se ajustaron de acuerdo a la experiencia que han tenido los países del Arrecife Mesoamericano, mediante la Iniciativa *Healthy Reefs for Healthy People* (McField y Kramer, 2007).

En San Andrés, las estaciones de monitoreo fueron instaladas en el costado occidental de la isla en las localidades de buceo conocidas como Wild Life e Iguana (sector Fisher Rock); en el sector de Horn Landing (en inmediaciones del emisario submarino) y en la Bahía de San Andrés cerca a Rose Cay. Tras 20 años de monitoreo, INVEMAR y CORALINA aseguran que dichas estaciones han presentado diferentes valores de abundancia y riqueza de especies, pero todas presentan un cambio general de fase, de coral a algas como organismos dominantes. Las tendencias de los diferentes grupos funcionales son las siguientes: en cuanto a cobertura de coral, en 1998 se encontraba ligeramente por encima del 20%, mientras que en 2012 fue del 12% aproximadamente y cerca del 18% en 2017 (cambio de metodología). En cuanto a cobertura de algas, en 1998 era de un poco más del 20%, en 2012 estuvo por encima del 50% y en 2017 estuvo cerca del 45%. Las enfermedades coralinas se registraron en el 1% en 1998 y en más del 10% en 2012; y por último, el blanqueamiento fue cerca del 1% en 1998 y del 9% en 2012 (Navas-Camacho et al., 2019).

En cuanto a organismos no sésiles, cabe resaltar que la densidad de *Diadema antillarum*, se estimó 7% en 1999 y se redujo al 4% en 2012. Esta baja cobertura puede significar que tras la alta mortalidad presentada en los años 80s, las poblaciones de esta especie aún no se recuperan. De peces arrecifales, la familia más abundante es Pomacentridae (damiselas), con 14 indiv/60m², seguida por Scaridae (peces loro), con aproximadamente 10-15 indiv/60m², Labridae (carnívoros) con 10-15 individuos/60m² y Acanthuridae (peces cirujano), con 5-7 indiv/60m² (Navas-Camacho et al., 2019).

En 2017, se llevó a cabo el monitoreo con la metodología de Índice Condición Tendencia, que permite clasificar los valores obtenidos dentro de las siguientes categorías (de menor a mayor salud): no deseable, alarma, regular, bueno y deseable (Rodríguez-Rincón et al., 2014). En San Andrés, de ocho estaciones, cinco se encontraron en categoría de alerta en salud general, dos en regular y una en no deseable (una de las estaciones del emisario submarino). En cuanto a cobertura de coral vivo, se presentó un promedio de 17.59% (tres estaciones en la categoría

buena, tres en regular, una en alerta y una en no deseable); y a cobertura de algas, un promedio de 32.08% (cinco estaciones no deseables, dos en alerta y una regular).

La biomasa de peces carnívoros en San Andrés tuvo un promedio de 929,215 g/100m², lo que corresponde a “regular”, teniendo cinco estaciones no deseables, una en alerta y dos deseables. Similarmente, la biomasa de peces herbívoros se encontró en la categoría “regular”, con un promedio de 929,215 g/100m² y dos estaciones en alerta, cinco regulares y una en condición buena (Navas-Camacho et al., 2019).

En 2018, el INVEMAR realizó una actualización de los fondos coralinos en la isla de San Andrés con el fin de actualizar las coberturas reportadas en los años anteriores (Díaz et al., 2000). En este trabajo encontraron que los arrecifes someros presentaban una cobertura coralina promedio del 26% y las estaciones medias una cobertura del 35% (Navas-Camacho et al., 2019).

En contraste, según los monitoreos del INVEMAR Y CORALINA, el complejo arrecifal de las islas de Providencia y Santa Catalina no presenta una tendencia estadísticamente significativa para la pérdida de cobertura de coral ni el incremento de algas, blanqueamiento o enfermedades coralinas. Aquí, las estaciones fueron instaladas en los sectores sur, oeste y noroeste de la isla, con los nombres de San Felipe, The Bar, Manzanillo y Canal (aledaño al Muelle Municipal).

Para Providencia se obtuvo una cobertura de coral vivo del 10% en el año 2000, que disminuyó muy ligeramente hasta 2007 y en 2017 se obtuvo una medición del 9% aproximadamente. La cobertura de algas pasó de casi 45% en 2000 a un poco más del 55% en 2017. En cuanto a peces arrecifales, las familias Acanthuridae y Haemulidae se han mantenido estables en el tiempo, mientras que Scaridae y Pomacentridae han disminuido con el tiempo (Navas-Camacho et al., 2019).

A partir de los resultados del 2017 del Índice Condición Tendencia, se puede apreciar lo siguiente: el índice general arrojó que de 6 estaciones tres estarían en la categoría bueno, una en regular, una en alerta y una en no deseable. La cobertura de coral vivo fue de 11.82% en promedio, valor que pertenece a la categoría “regular”. La cobertura de algas obtuvo la categoría de no deseable en todas las estaciones, con un promedio de 58.24%. La biomasa de peces carnívoros tuvo un promedio de 1348.15 g/100m², que corresponde a la categoría de condición buena, con tres estaciones deseables, una buena y dos no deseables. Los peces herbívoros tuvieron condición deseable en cuatro estaciones, buena en una estación y no deseable en una estación, con un promedio de 3975.80 g/100m², que corresponde a deseable (Navas-Camacho et al., 2019).

Considerando las observaciones y evaluaciones realizadas por Díaz y Geister desde finales de los 60s y los monitoreos realizados sobre las estaciones fijas de INVEMAR-CORALINA desde 1998 hasta 2017, puede afirmarse que la cobertura de coral vivo ha tenido una disminución notable a

través de las décadas, particularmente en la isla de San Andrés. Es de especial preocupación la proliferación descontrolada de algas que se evidencia desde hace más de tres décadas (Zea et al., 1998). Esto es muy problemático ya que puede afectar desproporcionadamente especies constructoras de arrecife, como lo confirma un estudio sobre las dinámicas poblacionales de corales cerebro (*Diploria labyrinthiformis*, *Pseudodiploria strigosa* y *Colpophyllia natans*) en el cual el recubrimiento de algas se estableció como la afectación principal (Pizarro, 2002).

Como variable adicional de gran importancia, se ha estudiado el reclutamiento coralino en el Archipiélago, que se define como la entrada de nuevos individuos de especies de coral a una población (Vermeij, 2005). Se encontraron valores de 8.13 indiv/m² para San Andrés y 5.5 indiv/m² para Providencia (Acosta et al., 2011), con una tendencia de incrementarse las densidades a medida que aumenta la profundidad (Pizarro et al., 2007). Esto, por fortuna, se encuentra en los valores deseables establecidos por la Iniciativa Healthy Reefs, cuyo valor objetivo es de 7 indiv/m² (considerado reclutas como colonias juveniles de máximo 2 cm²) (McField y Kramer, 2007). Si bien esto es en extremo favorable, el establecimiento de reclutas y juveniles no garantiza una población estable de corales adultos si las condiciones para el crecimiento y la supervivencia no son propicias, ya que la supervivencia durante esas primeras etapas es inferior al 10%.

La mayor cantidad de información se tiene para las islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, sin embargo, el archipiélago está constituido por una serie de islas, atolones y cayos, los cuales han sido pobremente estudiados. Los cayos Roncador y Serran presentan lagunas arrecifales compuestas principalmente por *Orbicella* spp. (*O. annularis*, *O. faveolata* y *O. franksi*) (Sanchez et al., 2005). Para el banco Roncador Sánchez y colaboradores (2019) reportaron que la cobertura de otros componentes arrecifales como las algas coralinas calcáreas habían disminuido entre 1995 y 2015. Lo anterior también fue observado para el cayo Serrana entre 1995 y 2016. La cobertura coralina en Roncador disminuyó del 22.6% registrado en 1996 a 9.9% en 2016, lo que implicaría una reducción continua de más del 10% en los últimos 20 años. En el caso del cayo Serrana, se observó una disminución de la cobertura coralina entre 1995 y 2003, sin embargo, dicha cobertura aumentó nuevamente en 2016 alcanzando valores similares a los encontrados en 1995 (20.9%; Sánchez et al., 2019).

A pesar de dicha reducción en la cobertura, los estudios realizados por Díaz-Pulido y colaboradores (2004) y Sánchez et al., (2019) muestran que las especies que dominan los arrecifes en estos dos cayos (*O. annularis*, *O. faveolata*, *Agaricia agaricites* y *O. franksi*) se han mantenido constante a través de los años, excepto por *Porites astreoides* y *Monstaraea cavernosa*.

2.2. Vulnerabilidad, amenazas, y antecedentes históricos de afectaciones en los ecosistemas frente a huracanes.

Se sabe que la rápida degradación de los arrecifes de coral es causada por una combinación de presiones naturales y antropogénicas (Hoegh-Guldberg et al., 2019). De las perturbaciones

naturales, los huracanes y las tormentas tropicales son las más comunes. Rodríguez-Ramírez et al. (2008), cataloga a los huracanes y tormentas, junto con el blanqueamiento coralino, como las principales amenazas naturales de los arrecifes en el Caribe Colombiano. Los huracanes, ciclones tropicales o tifones son sistemas de baja presión que tienen actividad de tormenta, giran en sentido anti-horario y presentan vientos mayores a 74 mph (64 kt) (NOAA, 1999).

El efecto de los huracanes sobre los arrecifes se ha documentado ampliamente alrededor del mundo. Algunos ejemplos son: Jamaica (Woodley et al., 1981), Islas Vírgenes (Rogers y Miller, 2006), México (Lirman et al., 2001), Australia en la Gran Barrera de Coral (Done, 1992), Hawaii (Dollar y Tribble, 1993) y la Polinesia francesa (Harmelin-Vivien y Laboute, 1986). El resultado más inmediato del impacto de estos fenómenos naturales en los arrecifes es la reducción de la cobertura de coral, ya que las marejadas ciclónicas causadas por estos fenómenos impactan a las comunidades de arrecifes mediante el desplazamiento, la abrasión, el vuelco y el entierro de organismos bentónicos (Heron et al., 2008). En un estudio de 177 sitios de arrecifes afectados por huracanes en el Caribe de 1980 a 2001, la cobertura de coral disminuyó en un 17% en promedio en el año posterior a la perturbación, sin evidencia de recuperación a un estado anterior a la tormenta (Fabricius et al., 2008).

La identificación de factores de vulnerabilidad es de suma importancia para la predicción de los riesgos, daños y la preparación para los eventos climáticos sobre los arrecifes. Inicialmente, la misma distribución de las especies es indicadora de su vulnerabilidad diferencial ante el oleaje. En general, los corales ramificados más delicados (por ejemplo, *Acropora* spp.), que usualmente prosperan en áreas de baja energía, son más vulnerables al daño de las olas que los corales con una forma de crecimiento masiva (por ejemplo, *Porites* spp.), que comúnmente dominan las áreas de mayor exposición (Heron et al., 2008).

Es de especial interés el estudio realizado tras el paso Ciclón Tropical (CT) Ingrid por la región norte de la Gran Barrera de Coral en Australia en 2005 (Fabricius et al., 2008). Al tener datos de monitoreo previos a la perturbación y al ser esta una tormenta de alta intensidad con un núcleo definido, se tuvo una oportunidad única para comprender los factores que determinan las diferencias en los efectos de las tormentas, de acuerdo con la ubicación de los arrecifes y los tipos de comunidades de coral. En este estudio la velocidad máxima del viento fue un fuerte indicador del daño de las olas tanto en los arrecifes costa adentro (*inshore*) como en los de costa afuera (*offshore*). Costa adentro, los sitios sufrieron una devastación catastrófica con vientos de 33 m/s (categoría 3 o superior) y una duración de tormenta de 12 h. Aquí, más del 80% de los corales ramificados y foliosos se rompieron; sumado a eso se desprendió una gran proporción de corales masivos, se eliminaron amplias franjas de estructura y la cobertura de coral duro restante fue del 5%. En los robustos arrecifes costa afuera, solo se encontraron sitios de arrecifes catastrófica destruidos donde los vientos locales excedieron los 40 m/s (Fabricius et al., 2008).

Gardner y colaboradores (2005) también encontraron una correlación entre la intensidad de los vientos locales y la pérdida de cobertura de coral. En su estudio, realizado en el Caribe, evidenciaron diferentes respuestas, desde ninguna perturbación perceptible en el arrecife con vientos de 51 m/s hasta una disminución del 40% de la cobertura coralina con vientos de 80 m/s. En cuanto al efecto de la dirección del viento, para la TC Ingrid no se notaron diferencias del daño en los arrecifes de los extremos de la trayectoria del huracán, a pesar de las direcciones opuestas del viento (Fabricius et al., 2008). La investigación basada en la TC Ingrid también permitió identificar factores bióticos como determinantes del daño. Los datos obtenidos mostraron que las comunidades costa afuera, más robustas, sufrieron menos roturas y desprendimientos, y tenían una mayor cobertura de coral restante que las comunidades costa adentro. Los arrecifes *offshore* desarrollan estructuras de coral sólidas e hidrodinámicas con altas densidades esqueléticas, mientras que las comunidades *inshore* están dominadas por corales más frágiles, corales foliosos y formas ramificadas más altas con bajas densidades esqueléticas. Los sustratos de los primeros, además, suelen ser más firmes debido a una menor bioerosión interna, una mayor precipitación de carbonato de calcio y una cobertura mucho mayor de algas coralinas crustosas (Fabricius et al., 2008).

Los daños físicos al arrecife resultado de estos fenómenos climáticos de alta intensidad generan nuevo sustrato expuesto y disponible para la colonización de nuevos organismos de rápido crecimiento, como las algas. En el caso de los arrecifes de Palau (Micronesia), se presentaron grandes proliferaciones de algas después del paso del súper tifón Bopha en 2012. Tras la perturbación, que causó gran devastación en el arrecife, se observó una proliferación desproporcionada del alga *Liagora sp.* (Rhodophyta) en los sitios de alta exposición, con un claro gradiente de proliferación según la fuerza del oleaje (Roff et al., 2015).

Las afectaciones de eventos climáticos extremos, como los huracanes, tienen consecuencias que persisten en el tiempo como se evidenció en las Islas Vírgenes de los Estados Unidos, en donde se evaluó el estado de dos arrecifes afectados por el huracán Hugo desde su impacto (1989) hasta el año 2003 (Rogers y Miller, 2006). Se reportó una pérdida de cobertura de coral en ambos sitios, sin ninguna recuperación. Los investigadores sugieren que la colonización por parte de macroalgas del sustrato expuesto ha obstaculizado tanto el crecimiento de corales adultos, como el asentamiento de nuevos reclutas. Arrecifes con presión por sobrepesca, expuestos a alta sedimentación o mala calidad del agua tienen más alta propensión a establecer un estado de dominancia por algas tras una perturbación aguda, como un huracán (Fabricius et al., 2008).

En el caso del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, a pesar de encontrarse en una región de común formación de ciclones, como lo es el Gran Caribe, ha tenido poca incidencia de estos sobre el territorio. En el siglo XX, solo cinco huracanes mayores (categoría 3 o más) impactaron las islas directa o indirectamente, en los años 1932, 1935, 1961, 1971 y 1988 (Geister y Díaz, 2007). Posteriormente, en el siglo XXI, tres huracanes mayores: el huracán Beta, en 2005, y los huracanes Eta e Iota, en 2020 (INVEMAR, 2020).

Tras el paso del huracán Beta de categoría 3, que afectó a Providencia, se realizó una evaluación rápida en 12 estaciones de monitoreo en un total de 2400 m² de sustrato arrecifal (Rodríguez-Ramírez y Reyes-Nivia, 2008). Se registró fragmentación por encima de lo normalmente observado en algunas colonias de *Millepora complanata* y en unas pocas colonias de *Acropora palmata*. También, se reportó blanqueamiento o empaldecimiento en el 9% de las colonias observadas. A pesar de esto, los hallazgos permitieron concluir que el 90% de las colonias muestreadas no tenían signos de daño atribuibles al huracán (Rodríguez-Ramírez y Reyes-Nivia, 2008).

En cambio, el impacto de los huracanes Eta e Iota en 2020 tuvo consecuencias observables más severas y puso en evidencia la vulnerabilidad de esta área ante los eventos meteorológicos (Rey et al., 2021). Investigadores del INVEMAR realizaron evaluaciones en 6 estaciones en San Andrés y 11 estaciones en Providencia tras el paso del huracán Iota (Acosta-Chaparro et al., 2021). Según sus resultados, el 80% de las estaciones del lado occidental de San Andrés presentó algún tipo de impacto, desde leve (60% de las estaciones) hasta moderado (18% de las estaciones), a una profundidad de 9 a 16 metros. En cambio, el lado oriental de San Andrés, en el que se realizaron censos visuales, no se observó ningún impacto considerable. En Providencia, el 65% de las estaciones presentó afectación, con el 50% de los sitios dentro de la categoría de afectación moderada. Reportaron que, en vez de presentarse devastación generalizada, se observó un impacto localizado, encontrando zonas dentro del mismo arrecife con impactos severos (como franjas o surcos) contiguas a zonas en donde el cambio no podía percibirse.

En el caso de San Andrés, a diferencia de lo ocurrido con la Tormenta Tropical Ingrid en la Gran Barrera de coral Australiana (Fabricius et al., 2008), la dirección del viento fue determinante para el grado de daño ocasionado a los arrecifes. Por su posición, el Archipiélago se encuentra dentro del cinturón de los vientos alisios, la dirección predominante es del este o noreste, con variaciones de velocidad media mensual entre 4 m/s (mayo, septiembre-octubre) y 7 m/s (diciembre-enero, julio) (Geister y Díaz, 2007). Como resultado, las comunidades arrecifales del costado oeste no están expuestas permanentemente a regímenes de oleaje alto, como lo están los arrecifes del costado este, especialmente los de barrera arrecifal. Durante el huracán Iota, los vientos tuvieron dirección noroeste, oeste y suroeste, lo que expuso a las comunidades ubicadas en el costado oeste a niveles de corrientes y olas inusuales. Consecuentemente estas comunidades arrecifales sufrieron mayores daños que los del costado este. Estos últimos, además de estar más adaptados a una mayor energía del oleaje, estuvieron refugiados por medio de la porción emergida de la isla de San Andrés.

Un estudio de modelación del riesgo futuro por daños en arrecifes por ciclones en el mundo, usando datos del paso de ciclones en la Gran Barrera de Coral de Australia, sitúa al Archipiélago en una región con riesgo de paso de ciclones fuertes y grandes cada 15-20 años, grandes de cualquier fuerza cada 5-10 años y fuertes de cualquier tamaño cada 1-5 años (Puotinen et al., 2020). Considerando un ciclón grande cuando la distancia desde el centro en calma hasta los

vientos con fuerza de vendaval (17 m/s) es de 300 km o más y un ciclón como fuerte cuando su velocidad máxima sostenida del viento es de 33 m/s o más; equivalente a huracán categoría 1 en la escala Saffir-Simpson. Esto confirma la necesidad de preparación en materia de evaluación y respuesta rápida ante estos fenómenos naturales.

3. Procedimientos de preparación pre-huracán

La preparación pre-huracán constituye una de las etapas más importantes e incluye diferentes pasos, dentro de los que se encuentran identificar los recursos humanos y materiales disponibles, y planear su uso posterior a la emergencia (DNRA, 2021).

La fase de preparación incluye todas las acciones realizadas antes de iniciar la temporada de huracanes y las acciones que se realizan cuando se presenta una alerta de evento meteorológico en el archipiélago.

3.1. Preparación antes de iniciar la temporada de huracanes:

La fase de preparación debe ser realizada previamente a la temporada de huracanes. Para el país debe ejecutarse alrededor del mes de abril, antes del inicio de la temporada de huracanes (de junio a noviembre; Rey et al., 2021).

Teniendo en cuenta los protocolos implementados en otras áreas de la región (Zepeda-Centeno et al., 2019) la etapa de preparación debe contar con diferentes procesos, dentro de los cuales se incluyen:

- Recopilar información base como insumo de trabajo y preparar el protocolo de respuesta.
- Crear un comité de salvamento de arrecifes coralinos ante huracanes, su estructura y las funciones de cada una de las entidades y personas participantes.
- Establecer los acuerdos y convenios interinstitucionales requeridos.
- Gestionar y garantizar los fondos financieros e insumos necesarios para cumplir con el protocolo de respuesta.
- Preparar los recursos materiales y humanos necesarios para las fases de respuesta; esto incluye realizar capacitaciones a los equipos de trabajo en campo, brigadistas y voluntarios.
- Identificar posibles amenazas existentes que magnifiquen el efecto negativo de los huracanes sobre los arrecifes y reducir los riesgos asociados a estas.
- Elaboración de un plan de respuesta anual en el que se actualicen los participantes y se incluya nueva información obtenida durante el año inmediatamente anterior.

- Adecuar o construir una infraestructura que permita el adecuado almacenamiento y protección de los equipos, materiales y vehículos necesarios para implementar las acciones de respuesta, evaluación de daños y restauración.

3.1.1 Grupo de respuesta a emergencias ambientales Marino Costeras-AMC frente a ciclones tropicales, salvamento de arrecifes coralinos:

Para implementar efectivamente el protocolo de respuesta es necesario definir un grupo de respuesta encargado de las acciones en pro de la evaluación de daños, restauración y monitoreo de los arrecifes de coral, que permita generar una estructura estable en la cual se asignen responsabilidades conjuntas e individuales, en el cual se coordinen los esfuerzos de respuesta y atención, y se gestionen los recursos necesarios para su implementación. El “Grupo de respuesta a emergencias ambientales Marino Costeras-AMC frente a ciclones tropicales, arrecifes coralinos” tiene diferentes funciones, las cuales se encuentran en la Figura 2.

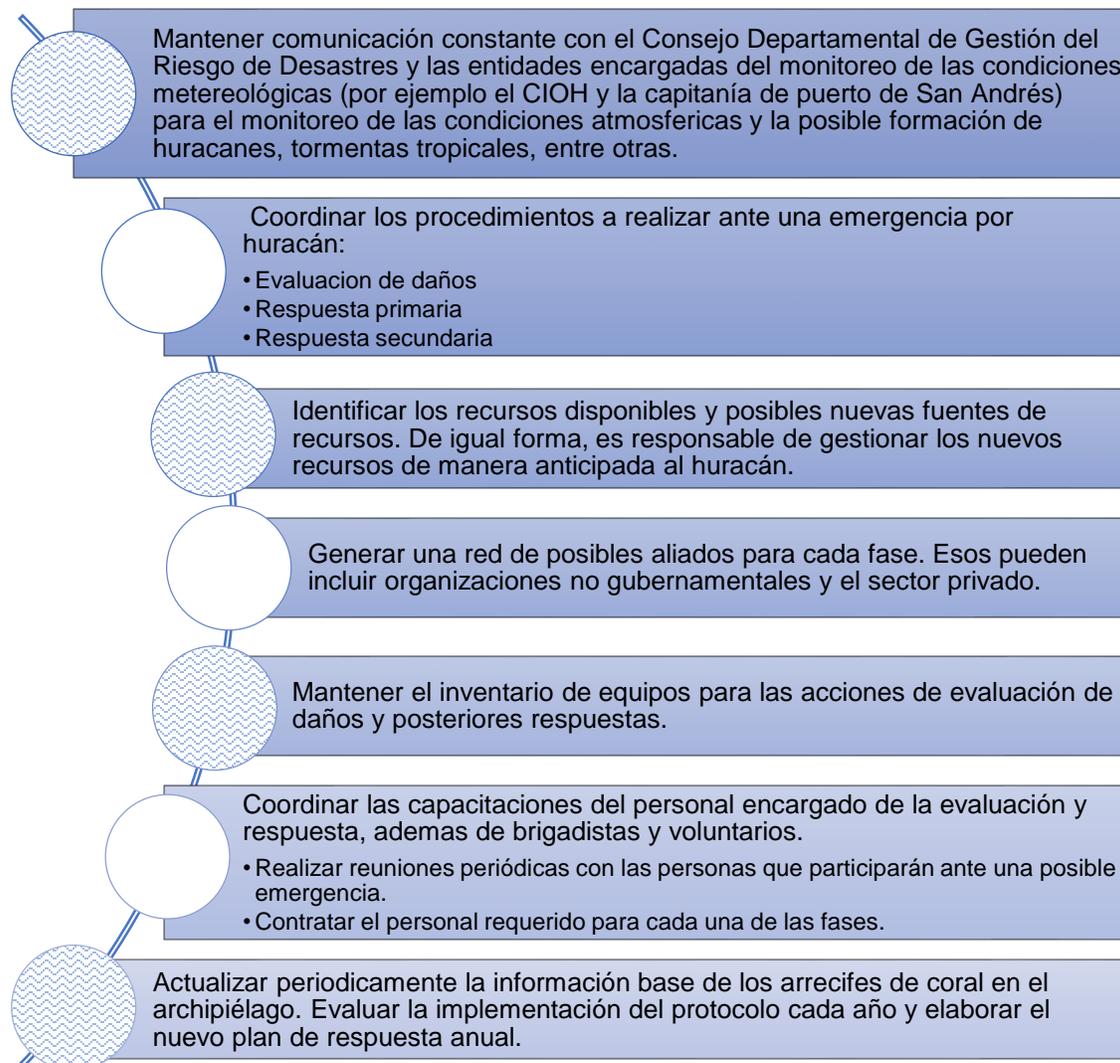


Figura 2. Funciones del “Grupo de respuesta a emergencias ambientales Marino Costeras-AMC frente a ciclones tropicales, arrecifes coralinos”.

Para generar una red de posibles aliados lo primero es determinar qué tipo de apoyo se necesita en cada una de las fases. Por ejemplo, si se necesita apoyo por parte de personal con conocimientos en arrecifes de coral o si las acciones pueden ser realizadas por cualquier persona. Las siguientes son las acciones recomendadas para la creación de la red de aliado:

- Conformar base de datos.
- Socializar en medios.
- Abrir convocatoria pública de voluntarios.
- Evaluación de candidatos (según conocimientos y necesidades para cada fase).
- Planificar locaciones, horarios e insumos logísticos.
- Realización de los cursos de entrenamiento y capacitación para la evaluación y respuesta.
- Seguimiento al desarrollo de los cursos.
- Evaluación a los participantes, refuerzos positivos y correctivos.

3.1.2. Estimación general de fondos necesarios para la implementación del plan - Presupuesto:

Para estimar los costos de la implementación del protocolo, se consideraron las necesidades materiales, logísticas, administrativas y de personal para cada una de las metodologías propuestas. Con excepción de la evaluación primaria, en la que es necesaria una evaluación general de los daños causados por el evento climático en todo el territorio, se planteó el uso de una unidad de área base de 1000 m². Se calcularon los costos necesarios para la evaluación e intervención en dicha área, que puede ser escalable según la disponibilidad de recursos. En esta sección, se incluyen los valores generales de cada actividad, mientras que en el Anexo 3, se encuentran los costos detallados.

En la fase de preparación, se recomienda realizar monitoreos periódicos de la condición de los arrecifes en el Archipiélago, en puntos seleccionados estratégicos, representativos del complejo arrecifal (ver sección 1.1.3). El costo del trabajo de campo se estimó por jornada. Una salida de campo desde bote, con tres inmersiones y un equipo de dos líderes y cuatro buzos especializados, tiene un valor de **\$3.245.300**. El trabajo de los líderes involucra la coordinación en campo, así como el procesamiento de los datos obtenidos. Para San Andrés, diez estaciones son las recomendadas, lo que requeriría cuatro jornadas de trabajo, que cuestan **\$12.981.200**. Para Providencia, se recomienda monitorear 19 estaciones, lo que implica siete salidas de campo y un costo de **\$22.717.100**.

Los costos de la evaluación primaria incluyen la logística y materiales necesarios para realizar un monitoreo inicial de las islas de San Andrés y Providencia con el método de arrastre o “Manta

Tow". Para las dos islas, se calcularon cinco días de trabajo. Para Providencia, se estimaron los costos de dos equipos locales, en dos botes, trabajando simultáneamente, debido a la mayor extensión de sus arrecifes. **Se calculó un valor total de \$33.019.000 para la evaluación primaria en las dos islas.** A partir de los resultados de esta evaluación, se seleccionarán sitios prioritarios para llevar a cabo las siguientes fases.

Como una alternativa adicional, se recomienda el uso de un vehículo aéreo no tripulado (VANT) o Dron, para la evaluación de arrecifes someros de difícil acceso por bote, como crestas arrecifales. El costo de dicha evaluación es de **\$4.255.000 por hectárea**, que incluye la contratación de personal capacitado (sin incluir tiquetes aéreos y viáticos), bote y el procesamiento de las imágenes.

Para la evaluación secundaria y las respuestas primaria y secundaria, se consideró una unidad de área base de 1000 m², escalable de acuerdo con la disponibilidad de recursos. Los costos estimados requeridos para evaluar en detalle e intervenir dicha área se relacionan en la Tabla 1. Costos de evaluación, respuesta primaria y respuesta secundaria de 1000 m² de arrecife, en tres escenarios de afectación.. La respuesta primaria se planteó en tres escenarios o niveles de afectación: la afectación 1, que corresponde a las categorías 0 y 1 de daños al arrecife, la afectación 2, que abarca las categorías 2 y 3 y la afectación 3, que incluye las categorías 4-5 (Beeden et al., 2005; ver sección 2.1). De igual manera, tres niveles de afectación por escombros marinos: baja, media y alta abundancia. Para la respuesta secundaria, se estimaron los costos para el cultivo, trasplante y posterior monitoreo de 2000 colonias de corales ramificados y 1000 colonias de corales masivos (usando la técnica de microfragmentación).

Tabla 1. Costos de evaluación, respuesta primaria y respuesta secundaria de 1000 m² de arrecife, en tres escenarios de afectación.

Etapa	Ítem	Costo (afectación 1)	Costo (afectación 2)	Costo (afectación 3)
Evaluación secundaria	Evaluación de condición del arrecife en SCUBA (1000 m ²)	\$4.636.800	\$4.636.800	\$4.636.800
	Remoción de escombros (1000 m ²)	\$5.390.050	\$14.801.650	\$24.132.750
Respuesta primaria	Primeros auxilios del arrecife (1000 m ²)	\$8.365.100	\$16.626.700	\$24.796.300
Respuesta secundaria	Cultivo y trasplante de fragmentos (1000 m ²)	\$134.642.000	\$134.642.000	\$134.642.000
TOTAL		\$153.033.950	\$170.707.150	\$188.207.850

Además de las metodologías convencionales recomendadas en la sección 2.1.3, se aconseja el uso de fotomosaicos para la evaluación y seguimiento de la comunidad béntica (Carlot et al., 2020). Esto requiere la capacitación de un grupo de profesionales locales para poder llevar a cabo el registro y procesamiento de imágenes, la compra de los equipos de fotografía y la adquisición de la licencia del software de procesamiento. **Lo anterior tiene un costo estimado de \$83.030.000.** Una vez cubierto esto, será posible incluir en el trabajo de campo, tanto previo como posterior al evento ciclónico extremo, el registro de las imágenes para la construcción de fotomosaicos. Los costos adicionales por jornada de campo, relacionados con los materiales necesarios para marcar las parcelas y el pago por el procesamiento de información, son de **\$2.645.000.** Esto es suficiente para la evaluación de 1000 m², lo que significa que para la aplicación de la metodología de fotomosaicos en dicha área se requiere un total de **\$5.890.300** (trabajo de campo y procesamiento de información).

De igual forma, se recomienda, si la capacidad presupuestal permite, implementar estrategias de asistencia en la reproducción sexual de corales, como se describe en la sección 2.2.7. Los costos implicados para cada fase de esta son los siguientes: 1. Fase de preparación de sustratos: \$6.788.000. 2. Fase de observaciones en campo y colecta de gametos: \$15.499.000. 3. Fase fertilización y cría de embriones en piscina: \$12.230.000. 4. Fase de guarderías de larvas: \$7.046.000. 5. Fase de trasplante de sustratos: \$10.518.000. 6. Fase de monitoreo de sustratos: \$26.880.000. El total de la metodología de reproducción sexual, incluyendo costos de gestión, administración, trámites e imprevistos, es de \$90.805.150.

Para proteger las herramientas, vehículos (lanchas y otros), equipos y materiales, necesarios para realizar las actividades de evaluación de daños y restauración, es necesario la construcción y/o adecuación de infraestructura tipo “bunker” en la que se podrán almacenar los insumos en cada una de las islas para protegerlos durante el evento ciclónico extremo.

3.1.3. Zonas prioritarias “a-priori” y stock de corales:

Teniendo en cuenta la información existente sobre los ecosistemas arrecifales alrededor de las islas de San Andrés y Providencia (por ejemplo, Díaz et al., 2000; CORALINA-INVEMAR, 2018) y la experticia de distintos investigadores en arrecifes de coral, se establecieron zonas con alta importancia ecológica que pueden actuar como áreas prioritarias para la rehabilitación de arrecifes coralinos en las islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Estas áreas fueron seleccionadas con el fin de incluir la mayor cantidad de unidades geomorfológicas y por ende unidades ecológicas. De esta forma se asegura que se incluyan diversas especies con el fin de garantizar la funcionalidad de los ecosistemas arrecifales. Adicionalmente, se utilizó la información publicada por Díaz (2005) sobre el nivel de energía del oleaje en las diferentes áreas arrecifales alrededor de las islas (Figura 3). Las zonas o áreas coralinas acá priorizadas se sugieren

de acuerdo a los criterios mencionados, sin embargo, esto no significa que otras áreas coralinas tengan menor importancia ecológica que las aquí mencionadas. Se realiza una priorización para facilitar el manejo teniendo en cuenta que los recursos para hacer restauración, monitoreo y manejo son finitos.

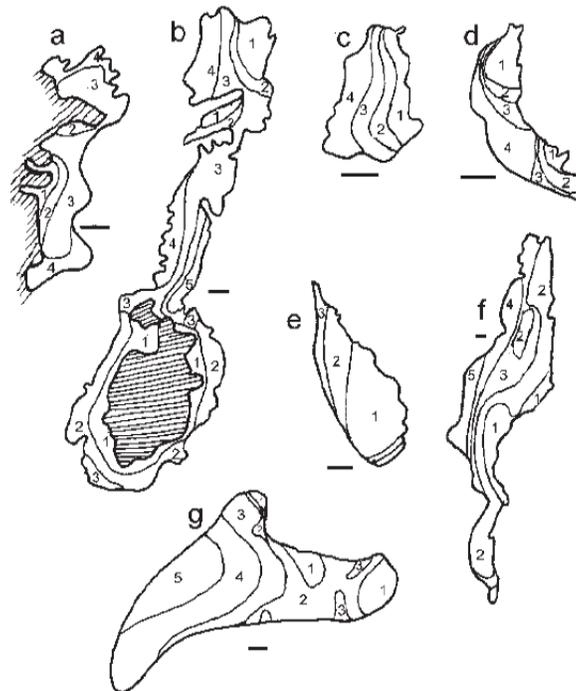


Figura 3. Niveles de energía del oleaje (1 = muy bajo a 5 = muy alto) en las islas del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina: (a) San Andrés, (b) Providencia y Santa Catalina, (c) Quitasueño, (d) Albuquerque, (e) Bolívar, (f) Roncador, (g) Serrana. La escala equivale a 1500 m. Tomado de Díaz, 2005.

Para la isla de San Andrés se seleccionaron cuatro áreas (figura 4). La zona 1 (Z1) está ubicada en el sector Noreste de la isla (Figura 4), tiene un nivel 3 de exposición al oleaje (Díaz, 2005), e incluye distintas unidades geomorfológicas como la cresta arrecifal, terraza lagunar y cuenca lagunar (CORALINA-INVEMAR, 2018). Algunas de las unidades presentes incluyen la unidad algas pétreas-*Millepora complanata*, Zoantideos (A1-2), *Acropora palmata*-*Pseudodiploria* sp. en cresta (A2-1), *Acropora palmata*-*Pseudodiploria* sp. en terraza lagunar de arrecife de barrera (C5-1), cascajo y escombros coralinos en terraza lagunar (C5-5), corales masivos y costrosos en cuenca lagunar (B3-6), *Orbicella* sp. en arrecife en parche (B4-10), *Porites porites*-Pastos marinos en cuenca lagunar (B3-13), entre otras (CORALINA-INVEMAR, 2018). Teniendo en cuenta las unidades presentes, esta zona cuenta con algunas especies de gran importancia y susceptibilidad ante huracanes como lo son *P. porites*, *P. furcata*, *Agaricia agaricites*, *A. tenuifolia*, *A. palmata*, *Dendrogyra cylindricus*, *Colpophyllia natans* y *Orbicella* spp.

La segunda zona (Z2), está ubicada en el costado Sureste de la isla (Figura 4), e incluye las geoformas cresta arrecifal de barrera, terraza lagunar del arrecife de barrera, cuenca lagunar y terraza prearrecifal (CORALINA-INVEMAR, 2018); y las unidades ecológicas algas pétreas-*Millepora complanata*, Zoantideos (A1-2), corales masivos y costrosos sobre cascajo en terraza lagunar (C5-6), algas calcáreas en cuenca lagunar (B3-15), *Orbicella* spp. en arrecife en parche (B4-10) y octocorales-corales mixtos en terraza prearrecifal de barlovento (D10-8), entre otros (CORALINA-INVEMAR, 2018). En esta zona se encuentran especies como *M. complanata*, *Orbicella* spp, *Montastraea cavernosa*, *Diploria labyrinthiformis*, *Pseudodiploria* spp, *D. cylindrus*, y *Agaricia* spp.

La tercera zona (Z3), se ubica hacia la punta sur de la isla (figura 4), presenta una exposición al oleaje nivel 4 (Díaz, 2005), y está constituida principalmente por la terraza prearrecifal de sotavento (CORALINA-INVEMAR, 2018). Las unidades ecológicas incluyen octocorales-corales costrosos en terraza prearrecifal de sotavento (D9-7), algas calcáreas (D9-15) y octocorales-corales costrosos en terraza interior (D8-8) (CORALINA-INVEMAR, 2018). En esta zona se encuentra la unidad Octocorales-corales mixtos la cual es la unidad más característica en la isla de San Andrés y presenta algunas especies como *Orbicella* spp, *M. cavernosa*, *D. labyrinthiformis*, *Pseudodiploria* spp, *D. cylindrus*, y *Agaricia* spp.

Finalmente, la cuarta zona (Z4) se ubica en el sector Oeste (figura 4) y se compone principalmente por la terraza arrecifal de sotavento. Está compuesto por las unidades ecológicas D9-7, D9-15 y D8-8 explicadas en la Z3, y octocorales-esponjas en terraza prearrecifal interior (D8-9) (CORALINA-INVEMAR, 2018). Esta zona tiene características similares a la Z3, sin embargo, varía en los porcentajes de cobertura de corales pétreos y especialmente de esponjas.

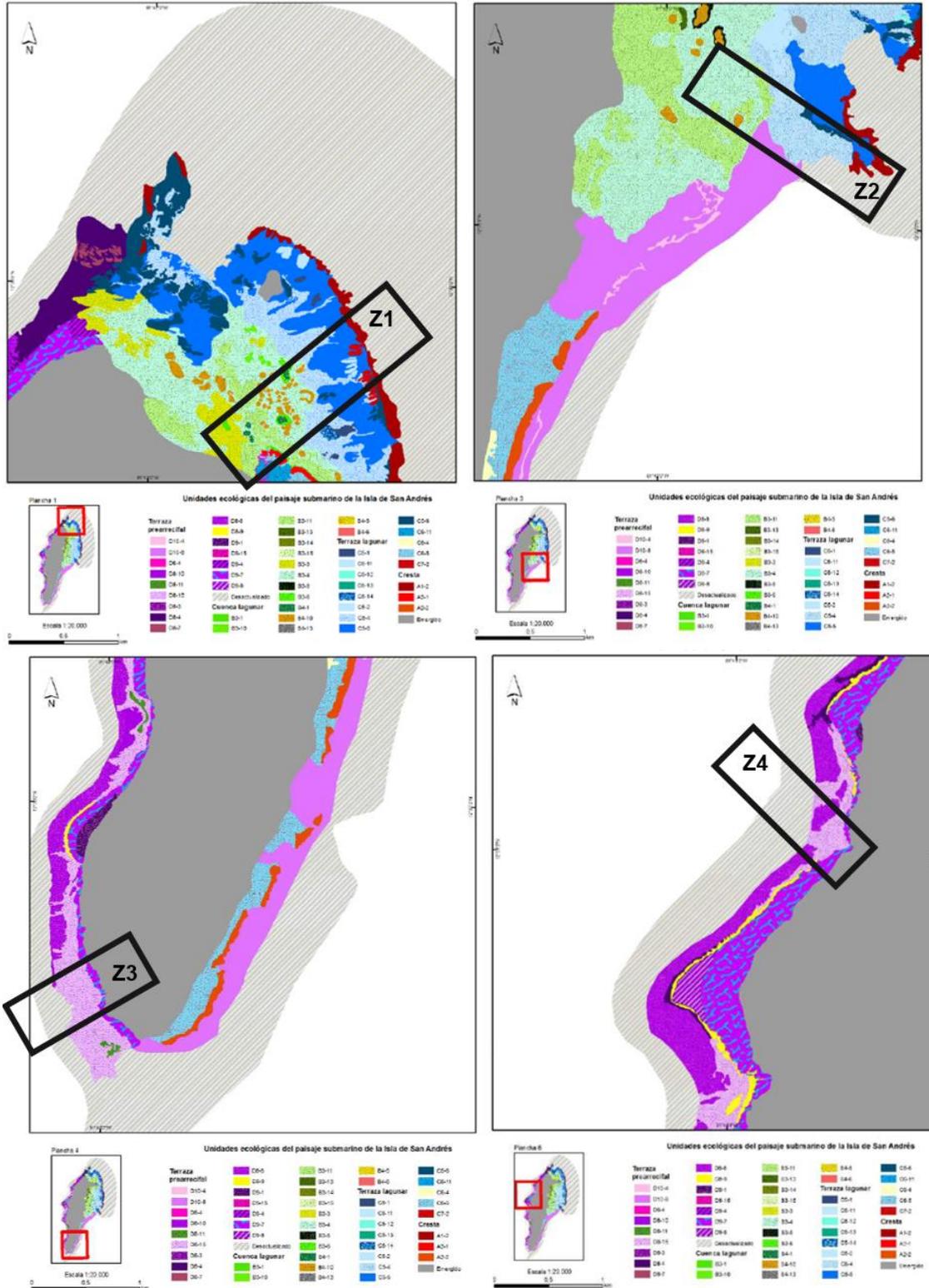


Figura 4. Zonas prioritarias y de importancia ecológica de la isla de San Andrés. Tomado y modificado de CORALINA-INVEMAR, 2018.

En el caso de las islas de Providencia y Santa Catalina, la única información correspondiente a las diferentes unidades geomorfológicas es la disponible en Díaz et al. (2000). Basados en esto, se definieron seis zonas. Cuatro de las zonas (Z1, Z2, Z5 y Z6) se ubican hacia el norte de la isla, y las zonas Z2, Z3 y Z4 se encuentran alrededor de la isla (figura 5). Al igual que como se mencionó para la isla de San Andrés, estas seis zonas incluyen todas las unidades geomorfológicas y ecológicas. La Z1 incluye la terraza prearrecifal, barrera arrecifal continua, barrera arrecifal interna, terraza lagunar y cuenca lagunar con arrecifes de parche y presenta una exposición al oleaje niveles 2 y 3 (Díaz, 2005); la Z2 está constituida principalmente por la terraza prearrecifal y pináculos; la Z3 está compuesta por la terraza prearrecifal, terraza lagunar y cuenca lagunar. La Z4 tiene la terraza prearrecifal, barrera arrecifal interna y cuenca lagunar; la Z5 está compuesta principalmente por la barrera arrecifal interna, y finalmente la Z6 que se conforma por la terraza prearrecifal (Figura 5).

La principal diferencia entre las zonas son el tipo de unidades ecológicas presentes en cada una de ellas. La Z1 aborda principalmente las unidades algas petreas- *Millepora complanata*-Zoantideos, *Acropora palmata*-*Pseudodiploria strigosa*, octocorales-corales mixtos, y *Orbicella* spp. La Z2 está altamente expuesta al oleaje (nivel 5; Díaz, 2005) y se compone principalmente de las unidades algas petreas- *Millepora complanata*-Zoantideos, costras de coral sobre roca, y octocorales-corales mixtos. En la Z3 la barrera arrecifal está ausente y está constituida principalmente por costras de coral sobre roca, los niveles normales de exposición al oleaje oscilan entre 1-3 (Díaz, 2005). Por su parte, la Z4 consta principalmente de *Acropora palmata*-*Pseudodiploria strigosa*, octocorales-esponjas, y *Agaricia* spp.-corales mixtos. La Z5 cuenta con todas las unidades ecológicas en áreas pequeñas. Finalmente, la Z6 está constituida por *Agaricia* spp. - corales mixtos y *Acropora palmata*-*Pseudodiploria strigosa*. Las zonas 4-6 presentan niveles de exposición al oleaje 3 y 4 (Díaz, 2005).

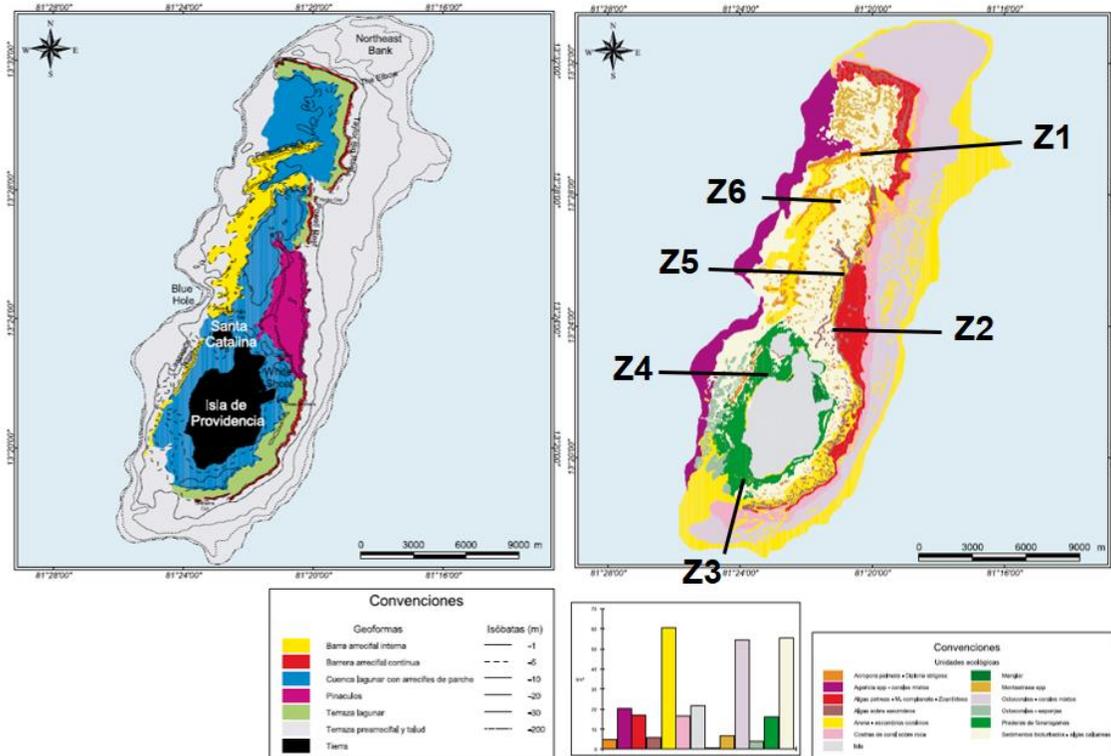


Figura 5. Zonas prioritarias y de importancia ecológica de la isla de Providencia y Santa Catalina. Tomado y modificado de Díaz et al., 2000.

La delimitación de estas zonas es importante, ya que dependiendo de las unidades geomorfológicas presentes en cada una de estas áreas se necesitarán diferentes acciones de respuesta primaria y secundaria. Las zonas que presentan la geoforma barrera arrecifal externa aportar una protección natural a las barreras arrecifales internas, la terraza lagunar y la cuenca lagunar con arrecifes de parche sin embargo, estas zonas más expuestas pueden verse más afectadas frente a eventos ciclónicos extremos que impacten sobre ellas.

3.1.4. Estaciones fijas de monitoreo arrecifal:

En cada una de las zonas prioritarias propuestas anteriormente se recomienda la instalación de estaciones fijas para el monitoreo de las áreas arrecifales con el fin de establecer una línea base del estado de los corales del archipiélago antes del paso del huracán y poder realizar una estimación precisa de los efectos tras el paso de huracanes. En cada estación se recomiendan ubicar tres transectos fijos de 10 x 1 m² y realizar el monitoreo siguiendo las metodologías AGRR (Lang et al., 2010) (Anexo 1). El número de estaciones en cada zona dependerá del número de los diferentes tipos de geoformas o unidades ecológicas presentes, **se ubicará una estación en cada unidad**. Las diferentes unidades ecológicas incluyen: cresta arrecifal, cuenca lagunar, terraza lagunar, terraza prearrecifal, barrera arrecifal interna y externa, y pináculos (Díaz, 2005; CORALINA-INVEMAR, 2018).

Para el caso de la isla de San Andrés, en las zonas Z1 y Z2 existen cuatro geoformas y se deberán ubicar cuatro estaciones en cada zona, y en las zonas Z3 y Z4 se recomienda ubicar al menos una estación en la terraza prearrecifal. Por su lado para la isla de Providencia y Santa Catalina, en la Z1 al haber cuatro geoformas se deben ubicar cuatro estaciones, en la Z2 dos estaciones, en la Z3 tres o cuatro estaciones (el número dependerá de cuantas geoformas se encuentren tras la actualización de la información para esta isla, lo cual tiene carácter prioritario), y en las zonas Z4, Z5 y Z6 tres estaciones. **Lo anterior resulta en un total de diez (10) estaciones para San Andrés y diecinueve (19) para Providencia y Santa Catalina.**

Consideraciones: Como se mencionó anteriormente, para la isla de Providencia y Santa Catalina no se tiene información actualizada sobre las unidades geomorfológicas por lo que se recomienda evaluar las zonas seleccionadas con el fin de conocer el estado actual de las mismas. Para establecer las coordenadas exactas de las estaciones fijas en cada una de las zonas identificadas para ambas islas, es necesario realizar una exploración preliminar del área.

3.1.5. Posibles especies afectadas en diferentes escenarios de huracán:

Para las diferentes especies de coral, su resistencia a las fracturas y al rompimiento depende de características como la forma del esqueleto de sus colonias y de la fortaleza del mismo esqueleto, el cual está relacionado con la densidad esquelética, la porosidad y la resistencia (Harmelin, 1991). Teniendo en cuenta estas características, junto con otras como la separación de las ramas, el tamaño, las proporciones, entre otros, se identificaron las especies que principalmente podrían ser afectadas en cada una de las zonas descritas anteriormente (ver sección 1.1.3). Las afectaciones que se contemplaron para esta categorización fueron principalmente fractura, desprendimiento y dispersión tras el paso del huracán. Cabe recordar que los corales ramificados, especialmente los de rápido crecimiento y que crecen alto como *Acropora cervicornis*, son frágiles y susceptibles a romperse sus puntas especialmente durante las tormentas. En contraste, los corales masivos que crecen despacio, pero tienen una gran área basal, pueden sobrevivir a eventos de grandes oleajes y de vientos fuertes. Los corales foliáceos son muy delgados y delicados por lo cual en general siempre se encuentran a mayores profundidades (Hughes 1987). Especies ramificadas como *Acropora palmata* y *A. cervicornis* tienen mayor densidad esquelética que especies masivas como *Colpophyllia natans*, *Diploria labyrinthiformis*, *Orbicella annularis* y *O. faveolata*. Así mismo, las especies de formas foliosas como *Agaricia* spp. y *Leptoseris* sp. y especies ramificadas pequeñas como *Porites porites* y *P. furcata* también presentan mayor densidad esquelética que las especies masivas (Hughes 1987). No obstante, la densidad del esqueleto como tal (patrón con el cual se fija ese material = mesoarquitectura) y que tiene que ver con la calcificación y la compactación, son los que favorecen las especies masivas a la hora de recibir impactos por oleaje. Estas tienen menor densidad esquelética, menor porosidad, mayor masa y volumen, mayor compactación en sus elementos de la microestructura (Bucher et al., 1998) y por lo tanto, son menos sujetos al rompimiento (fractura) y dispersión.

Por otra parte, el nivel de afectación a las colonias de coral va a depender del tipo de huracán y su severidad. Para este protocolo se plantearon tres escenarios. El primer escenario corresponde a un nivel de afectación baja, y está asociado con oleajes asociados a huracanes categoría 1 (velocidad del viento de 119-153 km/h). El segundo escenario implica un nivel de afectación medio y contempla huracanes tipo 2 (154-177 km/h) y 3 (178-208 km/h). Finalmente, el tercer escenario contempla un nivel de afectación alta especialmente debido a huracanes tipo 4 (209-251 km/h) y 5 (252 km/h o mayor). La velocidad del viento considerada para cada categoría está basada en la escala de viento en huracanes Saffir-Simpson (NOAA sf). Las posibles especies afectadas bajo estas consideraciones en cada uno de los escenarios se encuentran en la Tabla 2.

Tabla 2. Posibles especies afectadas en diferentes escenarios de severidad de huracanes. Tipos de crecimiento coralino: B: branching o ramificado, F: Folioso, M: masivo y D: columnar. Especies = PPOR: Porites porites, PFUR: P. furcata, PAST: P. astreoides, MCOM: Millepora complanata, APAL: Acropora palmata, ACER: A. cervicornis, ATEN: Agaricia tenuifolia, AAGA: A. agaricites, AGRA: A. grahamae, ALAM: A. lamarki, DCYL: Dendrogyra cylindricus, PSTR: Pseudodiploria strigosa, PCLI: P. clivosa, DLAB: Diploria labyrinthiformis, SSID: Siderastrea siderea, CNAT: Colpophyllia natans, MFAV: Orbicella faveolata, MANN: Orbicella annularis, MFRA: Orbicella franksi, MCAV: Montastraea cavernosa, MAUR: Madracis auretenra.

Área	Escenarios / Severidad		
	1 - Baja	2 – Media	3 - Alta
San Andrés			
Z1	B- PFUR, PPOR F- MCOM, ATEN, AAGA	B- PFUR, PPOR, APAL, ACER F- MCOM, ATEN, AAGA D- DCYL M- PSTR	B- PFUR, PPOR, APAL, ACER F- MCOM, ATEN, AAGA D- DCYL M- PSTR, PCLI, PAST, SSID, CNAT, MFAV, MANN, MFRA.
Z2	B- PFUR, PPOR F- MCOM, ATEN, AAGA	B- MAUR, PFUR, PPOR, APAL, ACER F- MCOM, ATEN, AAGA D- DCYL M- PSTR	B- MAUR PFUR, PPOR, APAL, ACER F- MCOM, ATEN, AAGA D- DCYL M- PSTR, PCLI, SSID, CNAT, MFAV, MANN, MFRA.
Z3	B- PFUR, PPOR F- MCOM, ATEN, AAGA	B- MAUR, APAL F- MCOM, ATEN, AAGA D- DCYL M- PSTR, DLAB	B- MAUR, APAL F- MCOM, ATEN, AAGA D- DCYL M- PSTR, PCLI, SSID, CNAT, MFAV, MANN, MFRA, DLAB, MCAV.

Z4	F- ATEN, AAGA	B- MAUR, APAL F- ATEN, AAGA D- DCYL M- PSTR, DLAB	B- MAUR, APAL F- ATEN, AAGA D- DCYL M- PSTR, PCLI, SSID, CNAT, MFAV, MANN, MFRA, DLAB, MCAV.
Providencia y Santa Catalina			
Z1	B- PFUR, PPOR F- MCOM, ATEN, AAGA	B- MAUR, PFUR, PPOR, APAL, ACER F- MCOM, ATEN, AAGA M- PSTR, DLAB	B- MAUR, PFUR, PPOR, APAL, ACER F- MCOM, ATEN, AAGA M- PSTR, PCLI, SSID, CNAT, MFAV, MANN, MFRA, DLAB, MCAV.
Z2	B- PFUR, PPOR F- MCOM, ATEN, AAGA	B- MAUR, PFUR, PPOR F- MCOM, ATEN, AAGA M- PSTR, DLAB	B- MAUR, PFUR, PPOR F- MCOM, ATEN, AAGA M- PSTR, PCLI, SSID, CNAT, MFAV, MANN, MFRA, DLAB, MCAV.
Z3		M- PSTR	M- PSTR, PCLI, SSID, CNAT, MCAV.
Z4	F- MCOM, ATEN, AAGA	B- MAUR, APAL, ACER F- MCOM, ATEN, AAGA AGRA, ALAM M- PSTR, PCLI	B- MAUR, APAL, ACER F- MCOM, ATEN, AAGA, AGRA, ALAM M- PSTR, PCLI, SSID, CNAT, MFAV, MANN, MFRA, DLAB, MCAV.
Z5	B- PFUR, PPOR F- MCOM, ATEN, AAGA	B- MAUR, PFUR, PPOR, APAL, ACER F- MCOM, ATEN, AAGA, AGRA, ALAM M- PSTR, DLAB	B- MAUR, PFUR, PPOR, APAL, ACER F- MCOM, ATEN, AAGA, AGRA, ALAM M- PSTR, PCLI, SSID, CNAT, MFAV, MANN, MFRA, DLAB, MCAV.
Z6	F- MCOM, ATEN, AAGA	B- APAL, ACER F- MCOM, ATEN, AAGA M- PSTR, PCLI	B- APAL, ACER F- MCOM, ATEN, AAGA M- PSTR, PCLI

3.2. Stock de corales o reservorios naturales de corales para restauración frente a ciclones tropicales.

Algunos arrecifes coralinos pueden estar menos expuestos a los efectos causados por los ciclones tropicales, como el fuerte oleaje y el impacto por escombros en zonas someras. Estos corales o formaciones arrecifales al estar “protegidos” pueden funcionar como potenciales reservorios para ayudar a repoblar o generar procesos de restauración coralina. A continuación se mencionan algunos de ellos:

3.2.1. Arrecifes profundos

Algunos autores como Glynn et al. (2001), Bongaerts et al. (2010) y Fogarty (2021) han planteado la hipótesis de que los arrecifes profundos pueden servir como refugio para algunas especies de coral. Los arrecifes profundos generalmente se encuentran más distantes de factores de estrés que los corales someros, estos factores incluyen desarrollo costero, presión pesquera, blanqueamiento y eventos meteorológicos como los huracanes y tormentas tropicales (Bongaerts, et al., 2010). Sumado a esto, se ha observado que los huracanes generan afectaciones principalmente sobre los arrecifes someros y su efecto negativo puede llegar hasta los 15 a 20 metros de profundidad dependiendo de la cercanía del arrecife con la trayectoria del huracán (Done et al., 1991; Fabricius et al., 2008).

Lo anterior hace que arrecifes de profundidades mayores a los 20 metros puedan ser considerados como zonas de refugio y de igual forma puedan proporcionar una reserva de corales para las actividades de restauración arrecifal posterior a la ocurrencia de un desastre. Sin embargo, en el archipiélago son muy pocos los estudios realizados en este tipo de ambiente (e.g., Chasqui et al., 2020). Para poder considerar los arrecifes profundos y en algunos casos mesofóticos, como fuente de corales después de un desastre, como un huracán, la primera acción que se debe realizar es generar una línea base en la que se describa el estado de los corales en los ambientes mesofóticos (40 - 50 m) de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Adicionalmente, se debe actualizar la información sobre los arrecifes entre los 20 y 30 metros de profundidad.

Debido al refugio natural que poseen ciertas zonas arrecifales relacionada con su profundidad (superiores a 15 o 20 m), se sugiere además de aumentar el conocimiento de estos arrecifes, poder considerar estos sitios como reservorios naturales protegidos para corales, implementar esfuerzos de restauración y conservación de dichos sitios y su inclusión en las estrategias de restauración futuras como fuente y sumidero de corales, realizando un uso sostenible de las colonias “donantes” y haciendo seguimiento del impacto de esta actividad en su condición y salud. Con esto se espera evitar “trasladar” impactos de los huracanes “devastando” otras colonias sanas en sitios arrecifales conservados para restaurar otras, y tener la responsabilidad de hacer seguimiento al estado de los arrecifes donantes.

3.2.2. Arrecifes naturalmente protegidos por su ubicación

La variedad de unidades geomorfológicas existentes en el archipiélago evidencia la existencia de arrecifes coralinos los cuales se encuentran naturalmente protegidos de la acción del viento, el oleaje y las fuertes corrientes, y podrían servir como refugios naturales ante el paso de un huracán (Prato et al., 2020). Por ejemplo, la barrera y la cresta arrecifal que se encuentran en la parte exterior de ambas islas disipa gran parte de la energía proveniente del océano (Díaz et al., 2000, Prato et al., 2020). Estas podrían servir de protección natural para los corales presentes en la barrera interna y la laguna arrecifal o cuenca lagunar antes de llegar a las unidades internas (Díaz et al., 2005). El grado de protección natural depende de si la barrera es continua o no, al igual que su forma (rectilíneo, convexo o cóncavo) (Díaz et al., 2005). Adicionalmente, dependiendo de la trayectoria de los huracanes, la porción emergida de las islas también puede actuar como protección de algunas áreas arrecifales. Sin embargo, antes de poder considerar algunas de las áreas arrecifales naturalmente protegidas como reservas de corales, es necesario adelantar evaluaciones del estado de estas barreras naturales, y realizar estudios que permitan actualizar el conocimiento sobre la dinámica oceanográfica actual y modelen posibles escenarios de trayectoria de huracanes y su afectación sobre las diferentes zonas arrecifales de las islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Dependiendo de la dirección en que se propague el viento y el oleaje por eventos ciclónicos, que puede generar oleajes que vienen principalmente desde el Oeste (como el caso del IOTA 2020 en San Andrés), o del Este (como el huracán Johan 1989 en San Andrés), se presentarán zonas que quedarán más expuestas o protegidas por las barreras arrecifales o por el territorio emergido de las islas. Dado que las barreras arrecifales en el Archipiélago están principalmente localizadas al sector Este de las Islas, el Sector Oeste (desprotegido sin barrera arrecifal) estaría más expuesto a fuertes oleajes que vengan de esa dirección, como lo ocurrido durante el huracán Iota en la Isla de San Andrés (Prato com. Pers. 2022).

Por otro lado, es importante considerar que si bien la barrera arrecifal provee protección a los ecosistemas lagunares del Este con la atenuación del oleaje (Prato et al. 2020), también resalta su exposición física al oleaje y su posible vulnerabilidad o afectación luego de eventos ciclónicos que generen oleajes que impacten sobre ella, motivo por el cual se recomienda enfocar estrategias de restauración y manejo para la protección de esta importante estructura de protección natural.

3.3. Preparación para un evento extremo de ciclón tropical (depression, tormenta, huracán, huracán mayor) - Alerta temprana:

La alerta temprana permite prepararse con anticipación para generar una **respuesta oportuna y efectiva** ante un evento meteorológico. Es función del comité el monitorear constantemente los reportes meteorológicos y las alertas de huracán en las diferentes plataformas existentes (ejemplo: NOAA, se puede consultar en línea en la página del National Hurricane Center: <https://www.nhc.noaa.gov/index.shtml>) con el fin de identificar la distancia, intensidad del

evento, velocidad del viento y tiempo estimado para el impacto (Zepeda-Centeno et al., 2019) para estimar los posibles efectos e impactos. Esto debe ser realizado **en coordinación con los grupos de respuesta a emergencias ambientales de pastos marinos y manglares**, y el Consejo Departamental de Gestión del Riesgo de Desastres, especialmente el Comité de manejo y atención del desastre departamental.

Basado en los lineamientos propuestos en el Protocolo de alerta temprana y respuesta inmediata propuesto por Zepeda-Centeno et al. (2019) y por el Departamento de recursos naturales y ambiente de Puerto Rico (DNRA, 2020), algunas de las acciones necesarias para la alerta temprana incluyen:

1. Generar y/o consultar mapas que proyecten la ruta del evento meteorológico.
2. Generar y/o consultar mapas que incluyan los arrecifes de coral que podrían verse afectados en el evento meteorológico basado en la trayectoria proyectada.
3. Establecer permisos de intervención y/o acuerdos con las instituciones gubernamentales.
4. Establecer red de comunicaciones y un equipo de respuesta que incluya los investigadores, brigadistas y actores locales que participaran en las acciones de evaluación y respuesta.
5. Inspeccionar los equipos requeridos para las acciones de evaluación y respuesta.
6. Comunicarse con los participantes de las acciones de evaluación para dar inicio a la planeación de las actividades de campo.
7. Gestionar pólizas de seguro para las personas participantes de cada una de las fases.
8. En caso de que, debido a la categoría esperada del evento, se requieran acciones adicionales, contactar a las instituciones gubernamentales para gestionar nuevos recursos que permitan una rápida rehabilitación de las áreas arrecifales.
9. Asegurar en sitio seguro tipo “bunker” equipos, materiales, vehículos e insumos necesarios para la reacción y respuesta luego del huracán.
10. Hacer disponibles los recursos económicos necesarios para la reacción y respuesta primaria.

Las acciones 1, 2 y 3 deben realizarse al menos 48 horas antes del evento. Las acciones restantes se recomienda realizarlas 36 horas antes de la ocurrencia del evento (DRNA, 2020). En el presente proyecto se generaron mapas de áreas de los ecosistemas susceptibles a ser impactados por huracanes, estos mapas se encuentran en **el Anexo 1 del informe Final general**, titulado “**Mapas de áreas de los ecosistemas susceptibles a ser impactados por huracanes - Islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina**” y también se encuentran disponibles como archivos individuales en alta resolución.

4. Procedimiento de evaluación de daños y respuesta a corto, mediano y largo plazo

Una vez las condiciones climáticas se estabilizan y son seguras para realizar trabajos en el mar se realizan las diferentes técnicas de evaluación de daños. Estas técnicas se desarrollan a dos niveles y en dos momentos distintos, empezando por una evaluación rápida que se realiza tan pronto como sea posible para poder identificar aquellas áreas arrecifales que requieren atención inmediata y el nivel general de daños de las áreas priorizadas. Luego de realizada la evaluación rápida de daños y de ejecutar las acciones de restauración inmediatas de primeros auxilios para corales, se procede a realizar una evaluación detallada de daños, con métodos más dispendiosos que también permiten obtener información cuantitativa y cualitativa de mayor detalle y que también implican mayor inversión de tiempo y recursos.

Debido a las grandes extensiones arrecifales en las islas de San Andrés y Providencia, y a las limitantes en cuanto a recursos (embarcaciones, combustible, personal, equipos) que se pueden presentar luego de un ciclón tropical, es importante también dirigir inicialmente las acciones de evaluación de daños a aquellas áreas que posiblemente han sido más afectadas. Para esto, se pueden consultar los **“Mapas de áreas de los ecosistemas susceptibles a ser impactados por huracanes - Islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina”** que están disponibles en el Anexo 1 del informe final general. Así mismo, se recomienda hacer evaluaciones de daños en otras áreas arrecifales para evaluar si efectivamente se registraron otros niveles de daño y verificar el estado de salud de dichos arrecifes, teniendo información más completa para lograr efectuar una respuesta en restauración adecuada y más efectiva.

4.1. Evaluación de daños:

Mediante la implementación de estas técnicas se pretende identificar las áreas arrecifales más afectadas por el paso del huracán y establecer la respuesta primaria.

Las observaciones sobre el nivel de daño se clasifican entre tres y seis categorías según diferentes fuentes de literatura y estudios previos. El Ministerio de Ambiente, mediante la Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades Ambientales Marino-Costeras (EDAM-AMC) (Castro, 2016), recomienda una vez analizada la información de la evaluación rápida, dividir la afectación de los corales en tres categorías, y asociarlas con su priorización para la rehabilitación. Las categorías son alta, media y baja. Según lo sugerido por Beeden *et al.* (2015) (Tabla 3), se presentan seis categorías de daño que han sido utilizadas en diferentes áreas del Caribe.

Tabla 3. Niveles y categorías de daño basado en las categorías propuestas por Beeden et al. (2015).

Nivel de daño	Categoría de daño	Características
---------------	-------------------	-----------------

0	No existe	No se aprecia ningún daño sobre el arrecife.
1	Menor	Corales ramificados: entre el 1-30% presentan puntas y orillas rotas y entre el 1-10% presentan ramas fragmentadas.
2	Moderado	Corales ramificados y masivos con señales evidentes de tejido dañado y fragmentos rotos (31-75%).
3	Mayor	Desprendimiento de entre el 11-30% de las colonias de coral, fragmentos de diversos tamaños de corales masivos y ramificados sueltos en el fondo cubriendo entre el 31-50% del sustrato.
4	Severo	Alrededor del 31-50% de colonias de coral desprendidos, fragmentos de coral enterrados (51-100%). Se observan porciones del sustrato erosionado.
5	Extremo	Superficie del fondo marino sin organismos sésiles. Porcentaje de colonias de coral desprendido entre el 51-100%. Evidencias de daño estructural en el fondo marino.

Si los recursos son limitados, la elección del método a utilizar para la evaluación de daños será definido de acuerdo con las características del área arrecifal que preliminarmente se haya identificado como la de posible mayor afectación basado en la dirección y trayectoria del huracán. Independientemente del tipo de acción a implementar se deben tomar datos del nivel de daño con el fin de identificar las áreas a priorizar durante las siguientes fases de la respuesta (Figura 6).

Nivel de daño	Recomendaciones de estabilización*	Recomendación de inclusión en acciones de restauración
0	Sin daño	Sin daño
1	Bajo: < 100 corales	Bajo: daño presente, pero probable recuperación natural
2	Medio: 100 corales (> 20 cm). Algunas especies amenazadas impactadas	Medio: daño moderado, podría requerir acciones de restauración
3	Alta: 300 corales (> 20 cm), alto número de especies amenazadas impactadas	Alto: daño significativo, acción de restauración requerida.
4		
5		

Figura 6. Datos mínimos requeridos para la evaluación de daños propuesto por Viehman et al. (2020). El nivel de daño corresponde a lo especificado en la tabla 3. *El número de corales hace referencia al número de colonias que requieren alguna acción de respuesta.

La evaluación primaria que corresponde a evaluación de tipo General o Inicial, definido por MinAmbiente (Castro, 2016), que se define como una “valoración inicial o global de las circunstancias, observación integral de las consecuencias del evento y posterior análisis de extensión y afectación a sitios sensibles. En esta se determinan las áreas de ecosistemas impactados, puntos críticos de atención y rehabilitación. Debe realizarse entre 1 y 5 días después del desastre, siempre y cuando se cuenten con las condiciones de seguridad para la vida humana necesarias.

A manera de consenso y basados en los niveles propuestos tanto a nivel nacional como internacional, en este protocolo de restauración para el Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, se propone trabajar con tres niveles de afectación (bajo, medio y alto) como sugiere el Minambiente, complementando con rangos cuantitativos de daño y dos subniveles para el nivel alto, de manera que nuestras evaluaciones puedan ser comparables a nivel internacional con otros sitios del Caribe.

Se definen entonces los siguientes niveles de afectación para la evaluación de daños en áreas de arrecifes coralinos luego de un ciclón tropical:

Nivel 1 (bajo): 1% al 10% de cobertura corales afectados o fragmentados.

Nivel 2 (medio): Entre 10% y 30% de cobertura coralina afectada, colonias desprendidas y /o fragmentadas.

Nivel 3 (Alto): Afectación mayor al 30% de la cobertura coralina (Incluye: **Severo afectación del 30% al 50%** y **Extremo del 50% a 100%**, colonias de corales masivos volcadas, fragmentación múltiple a masiva de corales ramificados, en los casos más extremos pérdida total de la cobertura bentónica coralina y de otros grupos del bentos con devastación total).

Algunos de los métodos sugeridos para realizar evaluación primaria de daños son:

4.1.1. Evaluación primaria mediante arrastre o “Manta Tow”

Manta tow es una técnica utilizada para evaluar extensas áreas coralinas someras de forma rápida, con un bajo requerimientos de equipos (Zepeda-Centeno et al., 2019) y bajo costo (Bass y Miller, 1996).

Procedimiento:

La evaluación se realiza arrastrando lentamente a una persona la cual se encuentra realizando careteo (Figura 7). La persona u observador se sujeta al asa de un cabo (se sugiere un largo de 17 metros; Bass and Miller, 1996) el cual se encuentra atado a la parte posterior de una embarcación y cuenta con dispositivos de flotación (Zepeda-Centeno et al., 2019). El bote debe realizar el arrastre a una velocidad constante de 4 km/h (Bass and Miller, 1996). El observador cuenta con una tabla acrílica en la cual se registra la información que se encuentra en la Figura 6 (nivel de daño, recomendaciones de estabilización y de inclusión en acciones de restauración), sin embargo, si las condiciones de oleaje son muy fuertes, el observador puede brindar la

información para ser registrada por el personal que va en la embarcación. El observador debe comunicarse con el equipo de superficie utilizando señales previamente acordadas, esto puede incluir señales de inicio y final en caso de peligro, entre otras. La entrada y periodicidad de registros por parte del observador se hará cada 2 minutos: se deberá registrar el tipo de comunidad evaluada (p. ej. terraza arrecifal, parche arrecifal), así como todas las observaciones de daño o impacto sobre la comunidad bentónica (p. ej. Corales volcados, blanqueamiento, sedimentación). Esto se realiza hasta que el área deseada sea evaluada.

En la embarcación deberá haber un equipo de superficie el cual además de registrar la información en el caso que las condiciones ambientales sean muy adversas, contará con un dispositivo de GPS y estará encargado de registrar las coordenadas de inicio y finalización del arrastre. Este equipo también está encargado de contabilizar el tiempo de arrastre. Adicionalmente, una de las personas del equipo de superficie (en el bote) será el encargado de tomar fotos o vídeos del área en el momento en que se pare a escribir las observaciones. Si el observador no está anotando los datos, este será el encargado de llevar la cámara. Sin embargo, estas fotos o videos no serán usadas para evaluar el daño ya que durante esta evaluación primaria se quiere prioriza la evaluación visual para estimar la extensión de la afectación.

Para más detalles sobre el procedimiento se pueden referir a Bass y Miller, 1996.

Requerimientos:

Personal: Para el uso de esta técnica se recomienda mínimo la participación de cuatro (4) personas, dentro de las cuales se encuentran: una persona denominada líder de muestreo, responsable de la planeación y los procedimientos de seguridad. Dos personas que actúan como “observador”, encargados de la toma de datos y evaluación de daños. Estos observadores estarán en el agua y serán arrastrados con el manta *tow* de forma intercalada; el observador que no se encuentre en el agua actuara como parte del equipo de superficie. Los observadores deben tener un buen conocimiento de la zona, conocer los arrecifes de coral y poder identificar organismos arrecifales hasta el nivel de especie por lo menos para corales, tener experiencia en campo (careteo y buceo preferiblemente). Finalmente, la última persona es el conductor del bote quien debe contar con las licencias exigidas por las autoridades.

De contar con los recursos de personal y embarcaciones se puede contar con más de un equipo de evaluación. Esto permitirá realizar la evaluación del daño de forma más efectiva y rápida y así mismo permitirá iniciar la respuesta a corto plazo en menor tiempo, lo cual se ha demostrado tiene beneficios importantes sobre la recuperación de los arrecifes. Esto se recomienda principalmente para las islas de Providencia y Santa Catalina debido a la extensión de los arrecifes.

Se debe tener precaución y apoyo del personal en la embarcación para ayudar a visualizar posibles depredadores que puedan seguir al buzo que está siendo arrastrado y así aportar a la seguridad de la operación.

Equipos: Los equipos pueden variar dependiendo de la disponibilidad y los recursos destinados para la evaluación. Tomando en cuenta las recomendaciones de Bassan and Miller (1996) lo mínimo con lo que se debe contar es:

- Embarcación con un motor fuera de borda de al menos 15-20 HP. Gasolina.
- Cuerda atada a la parte trasera del bote. Se recomienda que esta cuerda de 10 mm de grosor tenga una longitud aproximada de 17 metros. La cuerda debe contar con dos elementos de flotación, los cuales deben tener una distancia de 6 metros entre ellos y con respecto al observador (Figura 7).
- Tabla acrílica. Se recomienda contar con una hoja de papel sumergible en el cual se encuentre impresa una tabla con la información requerida, esto permitirá una evaluación más eficiente.
- Materiales para el registro de datos, tales como lápices 2B o de grafito, bandas de caucho, mosquetones, entre otros.
- Cámara fotográfica resistente al agua.
- GPS resistente a salpicaduras de agua.
- En el bote se puede contar con mapas del área arrecifal.
- Equipo básico de snorkel.
- Se puede contar con una “manta board” para facilitar la evaluación (Figura 7).

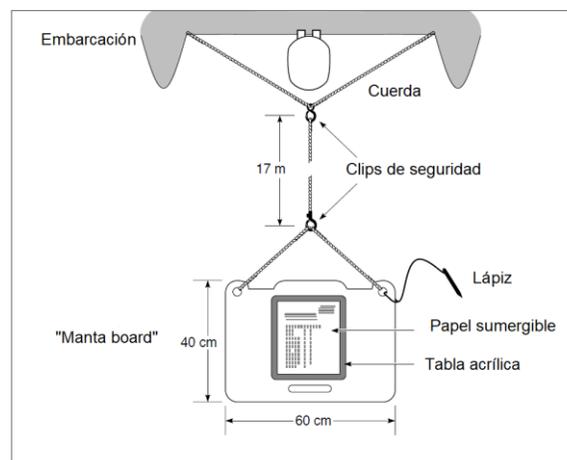
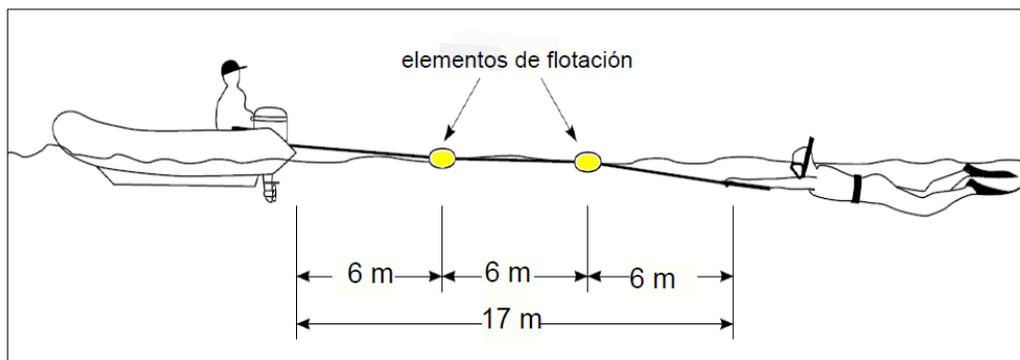


Figura 7. Técnica de arrastre o “Manta Tow” para la evaluación rápida en arrecifes. Imagen superior: estructura principal; imagen inferior: detalle del “manta board”. Tomada y modificada de Bass y Miller, 1996).

Consideraciones: Durante la evaluación rápida de daños se recomienda evaluar la mayor superficie de arrecifes posible, sin embargo, se debe dar preferencia a evaluar en el menor tiempo posible y de forma prioritaria las zonas de mayor representatividad ecológica mencionadas en la sección 1.1.3, los mapas de vulnerabilidad según la dirección y fuerza del oleaje y aquellas identificadas por la comunidad como prioritarias por los beneficios que aportan a la misma, con el fin de poder realizar la toma de decisiones para las siguientes fases.

4.1.2. Evaluación ecológica rápida

La evaluación ecológica rápida (EER) permite cubrir una mayor área coralina y posibilita estimar el estado de salud de un arrecife en un corto tiempo. Para la evaluación se generan puntos aleatorios en diferentes partes de los arrecifes alrededor de la isla y se realiza una verificación de la condición de daños. En cada punto, el evaluador se sumerge en buceo libre y observa diferentes partes del sustrato en un radio visual de seis metros hasta completar una evaluación de 360 grados (CORALINA-INVEMAR, 2018); durante esta evaluación se puede estimar el porcentaje de cada nivel de daño (Tabla 3) y el tipo (Figura 6). De igual forma se puede registrar la profundidad, el tipo de sustrato y demás información relevante.

Para un correcto uso de esta técnica se requiere de la existencia de una línea base de los arrecifes del área por lo que solo se recomienda en casos donde la evaluación mediante arrastre no sea posible. Adicionalmente, las personas que lo realizan deben tener la capacidad de identificar las especies de los arrecifes coralinos y es una ventaja si tienen conocimiento de los arrecifes del área. En el Anexo 4 del presente documento se presentan resultados de EER para las Islas de San Andrés y Providencia que son parte de las contribuciones de este protocolo para la restauración de ecosistemas luego de eventos ciclónicos extremos.

Requerimientos:

Personal: Idealmente se debe contar con tres (3) personas en cada equipo para la aplicación de este método. El número de equipos dependerá de los recursos disponibles. Se recomienda contar con al menos dos equipos trabajando simultáneamente para realizar la evaluación de los daños en el menor tiempo posible. Funciones: La primera persona será la encargada de manejar la embarcación para lo cual debe tener conocimiento de la zona y con licencia de patrón de bote vigente. Las otras dos personas serán las encargadas de realizar la evaluación de forma intercalada; estas personas deben contar con conocimientos sobre los arrecifes de coral (experiencia en campo e identificación de especies) y tener habilidades para el buceo libre o apnea.

Equipos:

- Embarcación con motor fuera de borda. Gasolina.
- Equipo básico de buceo para realizar buceo libre.
- Materiales para el registro de datos, tales como tablas acrílicas, lápices 2B o de grafito, bandas de caucho, mosquetones, entre otros.
- GPS
- Boyas de marcación, cuerda y lastres.

Consideraciones:

Esta metodología se recomienda únicamente en situaciones en las que no sea posible realizar la metodología de Manta Tow (arrastre) por condiciones climáticas o restricciones logísticas u operativas.

4.1.3. Evaluación de arrecifes someros mediante dron

Esta técnica es recomendada para estimar los daños ocasionados en lugares poco profundos (p. ej. la cresta arrecifal) donde sea difícil el acceso por medio de embarcaciones (Zepeda-Centeno et al., 2019; Prato et al., sometido). Se basa en la fotogrametría, que incorpora métodos de estructura del movimiento 'Structures-from-Motion' (SfM) y de reconstrucción en estéreo (Scharstein & Szeliski, 2002; Seitz et al., 2006). La implementación de este tipo de evaluación en arrecifes someros requiere de las siguientes condiciones para evitar distorsiones en las imágenes, causadas por los movimientos de la superficie del agua y/o su turbidez: 1) Poco viento 2) Marea baja 3) Claridad suficiente del agua 4) Sol en posición oblicua con respecto al agua para evitar reflexiones de luz (Castellanos-Galindo et al., 2019).

Para realizar los vuelos, es necesario fijar puntos de control terrestre (GCP), cuya geolocalización se debe tomar a través de un GPS con una precisión similar o mejor que la del GPS interno del vehículo aéreo no tripulado. Durante el vuelo, las fotos son geolocalizadas por el sistema de localización GPS/GLONASS integrado del dron, que tiene una precisión horizontal y vertical de hasta $\pm 1,5$ m y $\pm 0,5$ m respectivamente (especificaciones: www.dji.com).

Las imágenes capturadas, son posteriormente procesadas con un software de fotogrametría (ej. Agisoft Metashape) que entrega un ortofotomosaico ortorectificado y un Modelo Digital de Elevación (DEM). Dichos resultados fotogramétricos se pueden usar para estimar diferentes variables ambientales, como calcular el área cubierta por cada categoría de interés como, por ejemplo, área cubierta por coral vivo o cascajo, para esto se requiere un procesamiento de las imágenes posterior con clasificaciones de en categorías del bentos guiadas y no guiadas y conformaciones en campo de las categorías generales (Prato et al., sometido). Para el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina esta técnica puede utilizarse especialmente en las áreas de cresta de la barrera arrecifal ubicadas en el Este y Noreste de las islas y cayos del archipiélago, así como en otras zonas someras de difícil acceso (Díaz et al., 2000). En el presente convenio, se realizaron salidas de campo para generar insumos para la elaboración de los presentes protocolos de restauración, durante dichas salidas, se lograron obtener

imágenes aéreas de un arrecife somero en San Andrés, a manera de ejemplo de los ortofotomosaicos que se pueden generar mediante esta técnica con drones el cual se presenta a continuación en la Figura 8 .

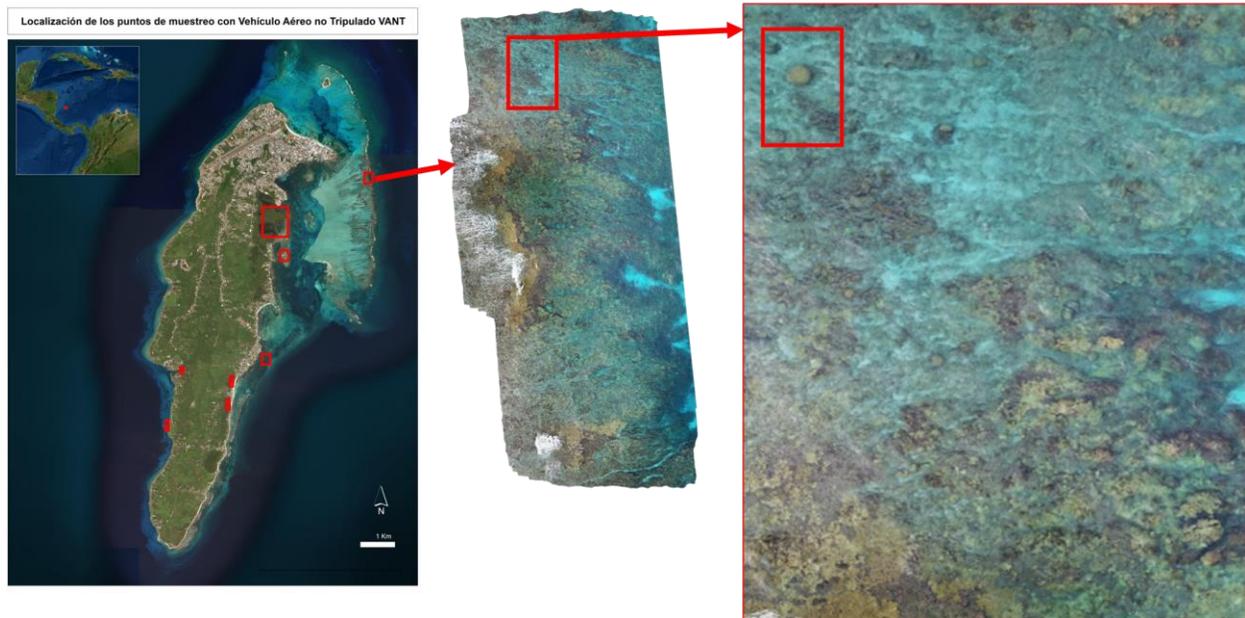


Figura 8. Ortofotomosaico de arrecifes someros obtenido mediante evaluación con dron. La imagen satelital de la Izquierda muestra la Isla de San Andrés con el área muestreada en un rectángulo rojo. La imagen del centro representa la imagen evaluada y a la derecha se presenta un acercamiento del mosaico en el cual se puede observar una colonia de coral masivo del género *Diploria*. Imágenes tomadas, procesadas y elaboradas por Juan Carlos Mejía con análisis realizado por Julián Prato.

Requerimientos:

Personal: Para aplicar este método se requiere de tres (3) personas. Una capacitada y con licencia para el vuelo de drones, un asistente de dron, y una persona que analice las imágenes obtenidas. Es posible que la persona con licencia para volar drones sea la misma que analice las imágenes obtenidas. Es primordial contar con un equipo de personas con experiencia previa y conocimientos de sistemas de información geográfica (SIG).

Equipos: Los mínimos requerimientos en términos de equipos incluyen:

- Dron profesional con cámara, dentro de las características mínimas requeridas para el dron este debe contar con GPS, estabilizador de altura y alta autonomía (tiempo de vuelo).

- Computador, equipos informáticos y software especializado para procesamiento de imágenes.
- Memorias SD de alta velocidad
- GPS para confirmación de coberturas en campo

Software: Se requiere la compra de diferentes programas (software) para el procesamiento de las imágenes (construcción de mosaicos), análisis posteriores (clasificaciones) y cuantificaciones de áreas. El tipo de software dependerá de las licencias disponibles o que se logren adquirir y las necesidades de análisis y evaluación, pero se incluyen software SIG como ARGIS o QGIS.

4.1.4. Evaluación detallada o secundaria

Una vez se tiene una idea general de la extensión y severidad de los daños, se realiza una evaluación más detallada de la afectación, categorizada como evaluación específica por MinAmbiente (Castro, 2016). La evaluación detallada es un análisis específico de los daños ocasionados por el evento a los ecosistemas y servicios ecosistémicos por sectores, con la participación de profesionales y métodos específicos con el tiempo que sea necesario y comparaciones pre-evento. Esta evaluación detallada se inicia una vez finalizada la evaluación rápida entre 10 a 30 días después del paso del huracán. Con base en la evaluación rápida se seleccionan los sitios con los niveles de afectación más alta para realizar la evaluación detallada.

Para tener como referente, existen diferentes metodologías para la evaluación detallada de los arrecifes de coral. Se pueden utilizar metodologías como Transectos de Banda de 20 m x 2 m (40 m²), con 1 metro a cada lado de la línea principal en los cuales se estima el número, especie y tamaño de las colonias afectadas (NOAA, 2019), parcelas circulares de cinco metros de radio (78.5 m²) para registrar el impacto (Puotinen, 2013), o el protocolo AGRRA para la evaluación de comunidades bentónicas “AGRRA Benthic survey” y arrecifes coralinos “AGRRA coral survey” (Lang et al. 2010). De igual forma, existen otras metodologías para la evaluación de la condición del ecosistema. El Ministerio de Ambiente, mediante la Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades Ambientales Marino-Costeras (EDAM-AMC), recomienda que se realicen transectos de 10 m de largo en estaciones someras (2-7 m), medias (8-12 m) y profundas, registrando en una tabla acrílica, manualmente, el porcentaje de cobertura de categorías bentónicas: coral vivo (corales pétreos incluyen los masivos incrustantes foliáceos y ramificados) y/o de macroalgas (incluye en tapete o frondosas, calcáreas o incrustantes), esponjas (incrustantes, erectas) o corales blandos (gorgonáceos erectos o incrustantes), o sustrato abiótico (coral duro muerto, rocas, arena, cantos cascajo). Recomiendan, además registrar biomasa de peces herbívoros (loros y cirujanos) y carnívoros (pargos, chernas y meros) (Castro, 2016).

No obstante lo anterior, en este protocolo se recomienda utilizar la metodología AGRRA para evaluación de comunidades bentónicas y arrecifes de coral (los detalles metodológicos se

encuentran en el Anexo 1 de la presente Sección), debido a que se encuentra estandarizadas, es utilizada en la mayoría de los arrecifes del Gran Caribe, y tiene una gran efectividad costo - beneficioso. Esta metodología usa cinco (5) transectos de 10m en cada punto de muestreo.

Personal: Para aplicar el método AGRRA se requiere de al menos un equipo de ocho buzos

especializados con conocimiento en arrecifes de coral y las dos personas encargadas de la embarcación. El equipo de buzos estará dividido en dos estaciones aledañas (cuatro buzos en cada estación) que serán evaluadas simultáneamente. En el equipo deben participar especialistas en corales y comunidad bentónica y al menos uno en peces arrecifales. En este protocolo se recomienda tener un equipo operando en San Andrés y dos equipos operando en Providencia y Santa Catalina simultáneamente, para poder generar la información necesaria para las acciones de respuesta en los menores tiempos posibles con el fin de disminuir el daño permanente en los arrecifes.

Equipos:

- Embarcación con motor fuera de borda. Gasolina.
- Equipos de buceo autónomo (SCUBA), 1 chaleco y 1 regulador por persona, más 1 equipo completo adicional de respaldo.
- Equipos básicos de buceo.
- Tanques de buceo llenos con aire comprimido.
- Compresor para llenado de tanques (en tierra) o prestador del servicio disponible.
- Lastres de buceo.
- Materiales para la toma y registro de datos, tales como flexómetros de longitud requerida 10m, 20m, 30m o 50m (se conocen también como decámetros, se recomiendan los que tienen cintas métricas de plástico), tablas acrílicas, lápices 2B o de grafito, bandas de caucho, mosquetones, entre otros.
- GPS.
- Computadores de buceo (1 por buzo)
- Cámaras fotográficas resistente al agua. Se requieren como mínimo 3 cámaras, una para cada equipo, sin embargo, se sugiere contar con una de respaldo (2 por equipo).
- Boyas de marcación, cuerda y lastres.

Consideraciones: La evaluación detallada debe realizarse principalmente en las zonas identificadas como de importancia ecológica que fueron seleccionadas “a-priori” (ver sección 1.1.3). **Se recomienda realizar cinco transectos en cada una de las áreas a evaluar.** Sin embargo, si la disponibilidad de personal y recursos no lo permite, el número mínimo es de tres transectos en cada área.

En caso de ser requerido, la información obtenida siguiendo la metodología AGRRRA y registrada en la hoja de evaluación recomendada (Anexo 2 de la presente sección), puede ser utilizada para diligenciar la sección de “Fauna” y “Flora y fauna asociada” de la tabla “Procedimiento de reporte de evaluación de daños y necesidades ambientales Marino Costeras EDAN-AMC (Código EDAN-AMC-F-4, Sección 12.4 EDAN-AMC CORALES). Dicha tabla se encuentra en Castro (2016).

4.2. Respuestas a corto, mediano y largo plazo:

4.2.1. Priorización de sitios para respuesta inmediata - corto plazo

De 10 a 30 días después del evento meteorológico, después de la fase de evaluación detallada de daños.

Con el fin de priorizar los sitios para la fase de respuesta primaria se utilizan los resultados obtenidos durante la evaluación de daños, los cuales deben ser analizados de forma inmediata, y se debe generar un mapa en el que se incluyan los impactos generales y los sitios más afectados (Zepeda-Centeno et al., 2019).

El Ministerio de Ambiente, mediante la Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades Ambientales Marino-Costeras (EDAM-AMC) (Castro, 2016), recomienda una vez analizada la información de la evaluación rápida, dividir la afectación de los corales en tres categorías, y asociarlas con su priorización para la rehabilitación. Las categorías son alta, media y baja (Figura 9).

Alta	<ul style="list-style-type: none"> • Si hay volcamiento de colonias masivas en buen estado, o hay más de 2 grupos faunísticos afectados, si el sitio es diverso y hay alta y/o media mortalidad y morbilidad, ó si hay re-suspensión o depósito de esta en las colonias.
Media	<ul style="list-style-type: none"> • Si solo se afectó un grupo faunístico si la mortalidad o morbilidad son bajas y es un sitio poco diverso ó si las colonias o corales afectados estaban blanqueados (coral muerto).
Baja	<ul style="list-style-type: none"> • Si hubo colonias pequeñas vivas afectadas, ó las afectadas tenían blanqueamiento, si se observa poco desprendimiento de fauna asociada a corales, si no hay mortalidad y es un sitio poco diverso.

Figura 9. Categorías generales del nivel de afectación de los corales tras la ocurrencia de eventos meteorológicos.

Como se mencionó previamente, estas categorías son complementadas en este protocolo teniendo como categorización definitiva para la evaluación de daños en áreas de arrecifes coralinos luego de un ciclón tropical:

Nivel 1 (bajo): 1% al 10% de cobertura corales afectados o fragmentados.

Nivel 2 (medio): Entre 10% y 30% de cobertura coralina afectada, colonias desprendidas y /o fragmentadas.

Nivel 3 (Alto): Afectación mayor al 30% de la cobertura coralina (Incluye los dos subniveles **Severo: afectación del 30% al 50%** y **Extremo del 50% a 100%**, colonias de corales masivos volcadas, fragmentación múltiple a masiva de corales ramificados, en los casos más extremos pérdida total de la cobertura bentónica coralina y de otros grupos del bentos con devastación total).



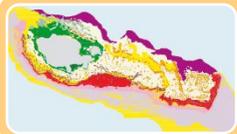
Sitios con corales grandes desprendidos o volcados. Esto es debido a que estos son propensos a una mayor recuperación que los corales pequeños.



Sitios con especies de coral formadoras de arrecife o especies catalogadas en estado de amenaza según UICN o listados nacionales.



Sitios con fragmentos de coral grandes y corales masivos enterrados en el sedimento.



Sitios pertenecientes a las zonas identificadas como de importancia ecológica. Sitios con importancia ecológica alta que tengan daño mayor o superior.



Sitios con un porcentaje alto de escombros provenientes del evento meteorológico, los cuales pueden causar un mayor daño al arrecife de no ser removidos.

Figura 10. Criterios para la priorización de las áreas en las que se requiere una respuesta primaria. Fotos 1, 4 y 5: Tomadas de Zepeda-Centeno et al., 2019. Foto 2: JVanegas, 2018. Foto 3: Tomada de Díaz et al., 2000.

Sumado a esto, una vez realizada la evaluación primaria de daños, se pueden elaborar mapas de áreas afectadas (ejemplo en Figura 11) servirá para priorizar las áreas en las que se requiere una **respuesta primaria**.

Para la ejecución de la respuesta, será importante contar con algunos criterios para priorizar qué zonas se deberán atender primero, para esto, se presentan acá algunos de los criterios (organizados en orden descendente por nivel de importancia) para la priorización de las áreas arrecifales para ejercer acciones de restauración inmediata o de primeros auxilios (Figura 10).

Así mismo, basados en las diferentes unidades ecológicas descritas por Díaz et al. (2000) y el posible impacto por parte de eventos como huracanes, se sugiere tener en cuenta las áreas priorizadas a priori, que son siete zonas en la isla de Providencia y Santa Catalina, y cuatro en la isla de San Andrés como de alta representatividad ecológica (ver sección 1.1.3 “Zonas de importancia ecológica y stock de corales”).

Otro criterio importante al momento de priorizar las áreas arrecifales para la restauración, es el nivel de importancia que cada área tenga para el bienestar de las comunidades locales (isleñas y/o Raizales) presentes en las Islas, por ejemplo aquellas barreras arrecifales que protejan la integridad de la vida, las costas e infraestructura del fuerte oleaje, áreas importantes para la provisión de alimentos (productos pesqueros), o zonas clave para desarrollo de actividades económicas como el ecoturismo.

De acuerdo al nivel de daño, aquellas áreas con daños significativos (nivel alto, Figura 9) sobre la cobertura coralina deben ser priorizadas para las acciones de corto plazo, y se recomienda incluirlos en las acciones de largo plazo o de rehabilitación.

Además de los anteriores criterios para la priorización de áreas que requieren respuesta primaria, es importante considerar la afección a la cobertura total en donde puede haber remoción de la mayoría de la biomasa presente considerando la severidad del disturbio (cantidad de biomasa viva muerta o removida como resultado del huracán). En este caso, sitios con especies en estado de amenaza según la UICN o listados nacionales (ejemplo: *Acropora palmata*, *A. cervicornis*) y que sufran una afectación de más del 80% de la cobertura total, serán priorizados para búsqueda y reubicación de los fragmentos o colonias que se encuentren.

Posteriormente se dará prioridad a aquellas zonas cuya afección a la cobertura de coral sea mayor al 50% y presente especies amenazadas y/o tridimensionales, siguiendo lo expresado en la Figura 10.

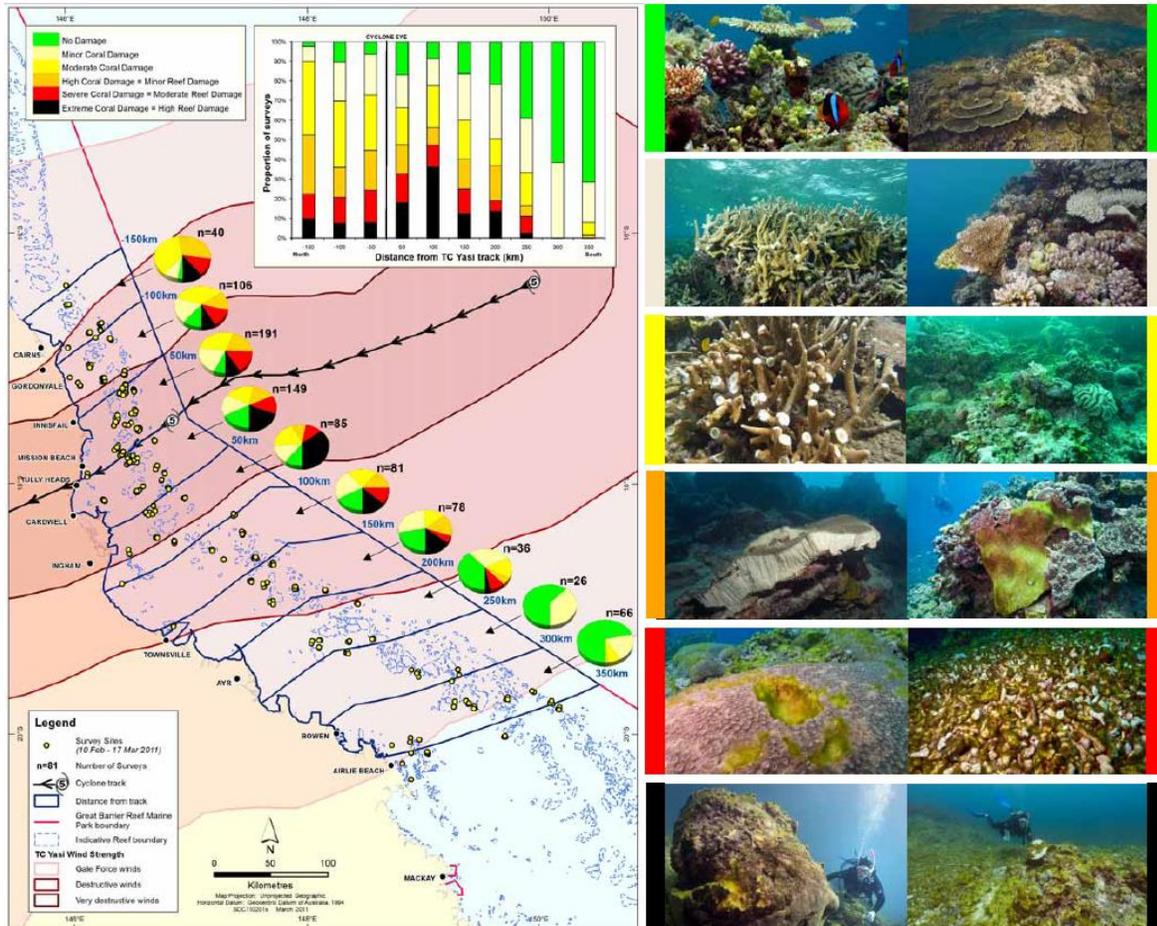


Figura 11. Izquierda: Ejemplo de mapa de afectación tras el paso de un ciclón sobre los arrecifes de coral. Derecha: Fotografías ejemplificando arrecifes con los diferentes niveles de afectación. Imágenes tomadas y modificadas de: Great Barrier Reef Marine Park Authority, 2011.

Sitios con afectación del 100% (Nivel 3 Alto- Extremo) no se priorizarán para primeros auxilios del arrecife (corto plazo) pero podrán ser considerados para acciones de rehabilitación y restauración (mediano plazo).

4.3. Respuestas a corto plazo

4.3.1. Limpieza marina

Se realiza de 10 a 30 días después del evento meteorológico, después de la fase de evaluación rápida de daños.

Una vez las condiciones climáticas se han estabilizado, se deben retirar escombros de origen terrestre u escombros de desastre del arrecife. La limpieza debe estar enfocada en remover estructuras grandes que puedan generar daño adicional a los corales. En caso de ser necesario se puede contar con apoyo desde superficie o playa. Dicho trabajo lo realizan buzos SCUBA, con apoyo de un equipo de superficie. Los residuos se disponen en un lugar seguro, en sacos y se

coordina con la empresa de aseo su recolección y disposición final en el relleno sanitario de cada isla.

Requerimientos:

Personal: Esta acción puede ser realizada por brigadistas o voluntarios previamente capacitados (al menos 1 persona, 4 personas mínimo). Para esta actividad no es necesaria la presencia de personal biólogo especializado, sin embargo, la coordinación de la limpieza debe contar con personal del comité de salvamento de arrecifes coralinos ante huracanes. Se requiere el conductor de la embarcación y de los vehículos en tierra.

Equipos: Se recomienda utilizar herramientas como:

- Bote con motor fuera de borda. Gasolina
- Vehículos en tierra con capacidad de transportar grandes escombros al sitio de disposición
- Bolsas de izaje.
- Canastas plásticas.
- Guantes de jardinería o de carnaza, y demás elementos de protección personal (EPPs).
- Embarcaciones,
- Cuerdas
- Zunchos o ganchos, mosquetones de acero inoxidable.
- Cuchillos de buceo.

4.3.2. Primeros auxilios del arrecife

Una vez se hayan identificado las áreas priorizadas se debe brindar los primeros auxilios al arrecife. Las actividades o métodos por utilizar, al igual que el número de áreas arrecifales a auxiliar dependerá de la disponibilidad de recursos. Áreas que impliquen el mayor costo-beneficio basado en los criterios mencionados en la sección 4.2.1 (Figura 10), deben ser priorizadas (Viehman et al., 2020), otras consideraciones incluyen: accesibilidad, seguridad durante la realización de las acciones y la existencia de tráfico marítimo. Las acciones de primeros auxilios deberán realizarse en buceo libre o buceo autónomo.

Requerimientos:

Personal: Los biólogos pertenecientes al comité de salvamento de arrecifes coralinos ante huracanes y los brigadistas son los responsables de liderar las acciones de primeros auxilios del arrecife, la comunidad raizal, isleña y voluntarios previamente identificados pueden ser capacitados de manera que puedan también liderar participar como personal de apoyo en estas actividades. Para las actividades a realizar se necesita contar con al menos un equipo de cuatro buzos capacitados; sin embargo, contar con más de un equipo permitirá una respuesta más eficiente, esto se puede lograr aumentando el capital humano mediante capacitaciones

específicas para estas actividades y procesos de práctica o entrenamiento periódicos (1 o dos veces al año) con prácticas en campo invitando integrantes de la comunidad local.

Equipos y materiales: La cantidad y tipo de equipos puede variar dependiendo de las acciones a realizar y los recursos financieros disponibles. Los mínimos requerimientos de equipos incluyen:

- Bote con motor fuera de borda. Gasolina y aceite en caso de ser requerido.
- Equipos de buceo autónomo (SCUBA) (uno por buzo, mínimo 4 por equipo).
- Computadores de buceo (1 por buzo)
- Tanques de aire comprimido
- Compresor para aire para llenado de tanques o proveedor del servicio disponible (después de un huracán no es fácil de conseguir).
- Bolsa de izaje.
- Cuerdas.
- Elementos de fijación: hilo alquitranado, zunchos plásticos, cemento o pegamento epóxico, varillas de acero galvanizado o acero inoxidable.
- Elementos básicos como: zunchos plásticos, cuerdas, martillo o porra, canastas plásticas, guantes para manejar las colonias.
- Cepillos para limpieza del sustrato.
- Martillo grande plástico (Porra, maso)
- Varillas

Procedimientos primeros auxilios para el arrecife:

- ***Reposicionamiento y estabilización de corales masivos y fragmentos de coral grandes desprendidos, rotos o volcados:***

La fuerza de los eventos extremos puede generar el volcamiento o fractura de los organismos arrecifales (Zepeda-Centeno et al., 2019). El reposicionamiento y estabilización es importante para evitar que dichos organismos sean movidos continuamente y se generen daños irreparables debidos a la abrasión y la falta de luz, entre otros (Zepeda-Centeno et al., 2019). Diferentes estudios han demostrado que si los fragmentos de coral son estabilizados en corto tiempo después de los impactos físicos (huracán) la probabilidad de supervivencia es de alrededor del 90% (Moore, 2016 en: DRNA, 2020). Esta acción debe ser liderada por personal especializado y puede contar con el apoyo de voluntarios previamente capacitados en las diferentes técnicas a utilizar.

El procedimiento básico se observa en la Figura 12. Se recomienda el uso de bolsas de izaje (o en su defecto neumáticos inflados bajo el agua con aire de los tanques de buceo) para ayudar a reposicionar colonias de coral grandes y pesadas que se han volcado. Adicionalmente, se

recomiendan algunos pasos antes de la fijación de colonias como la limpieza de la superficie de fijación antes utilizando cepillos de cerdas de alambre antes de sujetar las colonias de coral.

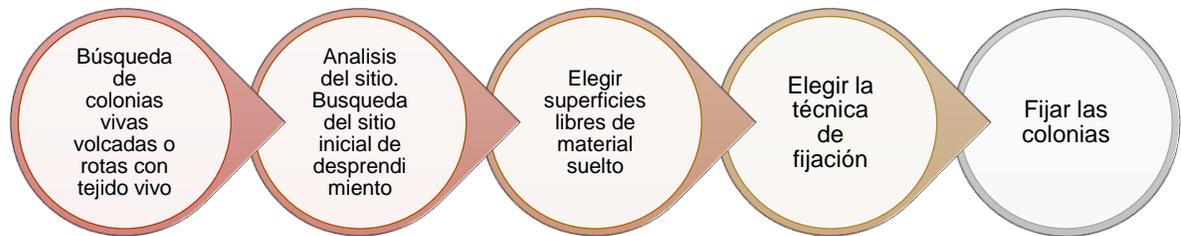


Figura 12. Procedimiento para el reposicionamiento y estabilización de las colonias de coral afectadas por los huracanes.

La elección de la técnica de fijación (para amarrar o para pegar) dependerá del tipo de fragmento, tipo de sustrato y materiales disponibles. Algunas opciones son:

- Hilo alquitranado
- Zunchos plásticos
- Cemento o pegamentos epóxico.
- Varillas de acero galvanizado o acero inoxidable, a la cual se amarra la colonia y se martilla al sustrato.

Para áreas con daños severos en que las condiciones marinas aún no sean adecuadas para su estabilización, por ejemplo, baja calidad de agua o condiciones de estrés adicionales, se recomienda realizar la movilización de los fragmentos a un área alterna (DRNA, 2020). Para esto, se transportan las colonias utilizando baldes o cajas plásticas llenos de agua y preferiblemente cubiertas del sol, con el apoyo de una lancha. Al realizar la reubicación de cualquier colonia se debe tener en cuenta factores como:

- Profundidad en su sitio de origen.
- Función ecológica en su sitio de origen.
- Densidad previa al disturbio.

La presencia de otros corales de la misma especie puede ser tomado como un indicador de la idoneidad de la nueva área. De igual forma se recomienda la marcación de las colonias para su posterior monitoreo.

En casos en los que las colonias sean muy pequeñas, existan demasiados fragmentos, o las condiciones no sean favorables para su fijación, es recomendable recolectar los fragmentos para estabilizarlos en **guarderías de coral durante las fases de respuesta a mediano y largo plazo.**

Se recomienda marcar al menos el 10% de las colonias atendidas utilizando etiquetas para corales (Figura 13) con el fin de monitorear su supervivencia post desastre. Adicionalmente, se debe tomar datos como: lugar, especie, tamaño, condición de salud, y acción realizada. De ser posible, se deben tomar fotos de toda la colonia o videos para facilitar las acciones posteriores de monitoreo. El equipo de trabajo acordará previamente el ángulo de las fotos y el tipo de marca que se usará para las colonias.

- **Remoción de las corales enterradas bajo la arena:**

Algunas colonias o fragmentos de coral pueden quedar enterrados bajo la arena tras el paso de un huracán. Es necesario desenterrar, remover el sedimento y volver a fijar las colonias en los casos que sea necesario.

Zepeda-Centeno et al. 2019 recomienda:

- Si la capa de sedimento es gruesa, utilizar la manguera de aire alternativa del regulador (u *octopus*) para proporcionar suficiente aire que elimine el sedimento. Esto se debe hacer a una distancia superior a los 15 cm del coral para evitar daños. La desventaja principal de esta técnica es que reduce el tiempo en fondo del buzo que la realice.
- Ante una baja sedimentación, los sedimentos pueden ser removidos realizando movimientos oscilatorios para mover el agua alrededor del coral.

En caso de encontrar colonias de gran tamaño que se encuentren enterradas en la arena, se puede utilizar una bolsa de izaje para desenterrarla. Una vez desenterrada, se fija al sustrato usando cemento, masa epóxica o varillas metálicas. El uso de una u otra, depende del tamaño de la colonia.

- **Remoción y estabilización del cascajo de coral muerto y escombros que estén sueltos:**

Es frecuente encontrar escombros y cascajo de coral muerto tras la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos. El material suelto debe ser removido o estabilizado con el fin de evitar daños en los corales vivos del área. Este trabajo lo realizan buzos especializados con apoyo del personal voluntario capacitado, de forma manual. En algunos casos se usan boyas de izaje.

Para el cascajo de coral muerto se recomienda realizar agregaciones o montículos con los fragmentos. Los montículos deben ser realizados en zonas protegidas donde la dinámica de las olas y las corrientes no favorece su movilización. Para la contención de los fragmentos se pueden utilizar diferentes materiales: alambre, redes biodegradables, mallas metálicas, o cabos, dependiendo de lo que se encuentre disponible. La forma y especialmente la altura de los montículos debe ser establecida acorde con la rugosidad y el relieve del arrecife en el que se ubicará. Estos montículos permitirán cementar el cascajo de forma que constituya nuevo sustrato para el reclutamiento natural. Los sitios con una afectación del 100%, compuestos en su totalidad por cascajo muerto, no se priorizarán.

4.4. Respuesta secundaria o de rehabilitación - mediano plazo

Se realiza de 30 días a 12 meses después del evento meteorológico.

Una vez realizada la respuesta primaria o los primeros auxilios al arrecife, el comité puede decidir comenzar la respuesta secundaria o de **rehabilitación**. Durante esta fase se van a atender todas las colonias o los fragmentos que no pudieron ser estabilizados durante la respuesta primaria y los fragmentos que fueron recolectados para ser estabilizados en guarderías de coral.

Requerimientos generales:

Los requerimientos de personal y equipos varían dependiendo de las acciones a realizar y la magnitud de los impactos. Los requerimientos generales incluyen:

- Personal ambiental (biólogos, biólogos marinos) con conocimientos en ecosistemas arrecifales, y restauración coralina.
- Equipo de buceo autónomo (SCUBA) (uno por buzo).
- Tanques de aire comprimido.
- Computador de buceo (uno por buzo).
- Bote con motor fuera de borda. Gasolina.

4.4.1. Estabilizar fracturas de colonias de gran tamaño

Esta acción está enfocada en rehabilitar colonias de coral de gran tamaño que hayan sido fracturadas como consecuencia del desastre. Las fracturas estructurales en colonias de mayores dimensiones pueden ser estabilizadas utilizando materiales como pegante epóxico o cemento. Si bien se menciona esta técnica dentro de la respuesta secundaria, se recomienda implementar antes en caso que se cuente con los recursos necesarios y una vez se hayan cumplido los pasos de la respuesta primaria. En los casos en los que la fractura es grande o profunda Zepeda-Centeno et al. (2019) recomiendan agregar un refuerzo mecánico utilizando varillas de acero inoxidable y rellenarlas con plastilina epóxica (Figura 13).



Figura 13. Estabilización de lesiones en colonias de gran tamaño. a) Lesión en coral cerebro (*Pseudodiploria strigosa*). b) Restauración de lesión con cemento c) restauración de lesión con plastilina o masilla epóxica. Tomado de Zepeda-Centeno et al., 2019.

Al aplicar esta medida es importante asegurarse de que las piezas o fragmentos de coral que se están estabilizando pertenezcan a la misma colonia, esto con el fin de evitar problemas futuros en el crecimiento de la colonia como, por ejemplo, competencia.

Para realizar el **monitoreo de la supervivencia de los corales reparados** se deben marcar al menos el 10% de las colonias (Zepeda-Centeno et al., 2019). El monitoreo se puede realizar un mes, seis meses y un año después de hacer la estabilización. Se toma datos de sobrevivencia: colonia viva, fusión entre los fragmentos, mortalidad (%) parcial o total.

Requerimientos: los requerimientos mínimos de personal y equipos incluyen:

- Biólogos pertenecientes al comité de salvamento de arrecifes coralinos ante huracanes, y brigadistas y personas de la comunidad capacitados.
- Bote con motor fuera de borda. Gasolina.
- Equipo de buceo autónomo (SCUBA).
- Herramientas para la estabilización de fracturas como pegante epóxico, cemento, varillas de acero inoxidable, entre otros.
- Herramientas para el marcaje de las colonias, estas marcas pueden ser etiquetas plásticas (Figura 13 A,B), metálicas (Figura 14 C) o del material que esté disponible pero que sean resistentes, ya que estarán sumergidos en el mar.



Figura 14. Ejemplos de diferentes tipos de etiquetas que pueden ser colocados en las colonias de coral que han auxiliadas durante alguna de las fases. (A: etiquetas con zuncho plástico, B: etiqueta de ganado con numeración embebida con laser, C: etiquitas metálicas).

4.4.2. Guarderías de coral

Tras la ocurrencia de los eventos meteorológicos, como huracanes, se pueden presentar fragmentos de coral desprendidos o rotos y los corales de tamaño pequeño los cuales pueden ser difíciles de fijar nuevamente en el arrecife con las acciones de respuesta primaria o primeros

auxilios a los arrecifes. Como se mencionó anteriormente, en caso de contar con este tipo de fragmentos se recomienda recolectarlos para su posterior cría en guarderías de coral.

Dentro de las **técnicas de restauración arrecifal más utilizadas alrededor del mundo** (Pizarro et al., 2014) se encuentran las guarderías o viveros de coral (Figura 15). Esta técnica consta de dos pasos, en el primero se crían colonias (o fragmentos) de coral in-situ o ex-situ en diferentes estructuras, el segundo paso consta del posterior trasplante de regreso a los arrecifes naturales, o a arrecifes degradados, una vez han alcanzado mayores tamaños que permitan su supervivencia (Shafir et al., 2006; Herlan y Lirman, 2008; Pizarro et al., 2014). Tras la obtención de las colonias o fragmentos, estos son llevados a la guardería para permitir su aclimatación y posteriormente criarlos hasta que alcancen un tamaño específico. Los fragmentos recolectados después del huracán se fragmentan en piezas más pequeñas y se fijan a un sustrato y se instalan en la guardería para su crecimiento (Rinkevich, 2006; Pizarro et al., 2014).

Para diseñar una guardería de coral se recomienda tener en cuenta las condiciones del lugar en el que se ubicará. Algunos parámetros para tener en cuenta son profundidad, turbidez, exposición al oleaje y probabilidad de impactos humanos. **El tipo de guardería a utilizar dependerá de los requisitos del lugar y las especies que necesiten ser auxiliadas después del evento** (Herlan y Lirman, 2008). En la Figura 15 se muestran algunas de las variedades de guarderías que se pueden usar.

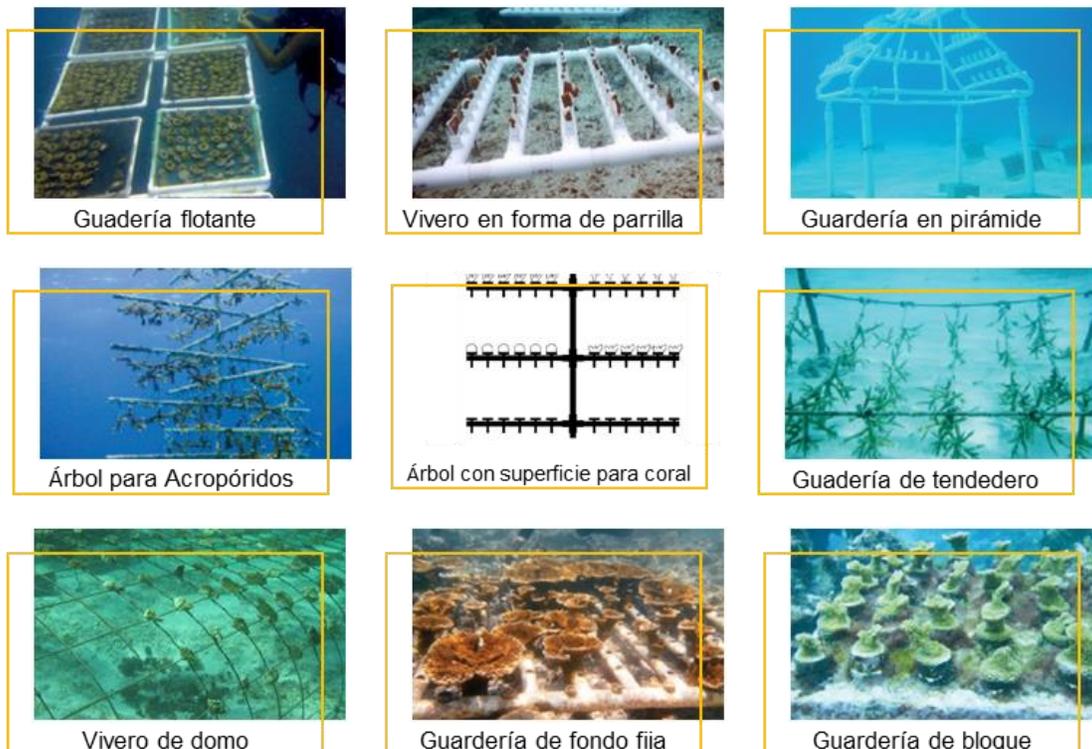


Figura 15. Algunos de los diferentes tipos de guarderías de coral implementados en el Caribe. (Fotos: 1: Pizarro et al., 2014. 2, 3, 7: Zepeda-Centeno et al., 2019. 4: Johnson et al., 2011. 5: Nedimyer et al., 2011).

A continuación, se describen algunas de las más comúnmente utilizadas, sin embargo, todas las guarderías de coral permiten la cría de fragmentos de forma exitosa. Como se mencionó anteriormente la elección y uso de la guardería depende de los factores propios del área donde se ubicará y del objetivo de estas. Se sugiere que los sitios que se seleccionen para la instalación de las guarderías estén retirados de los arrecifes coralinos naturales y con buena calidad de agua. La profundidad de donde se instalen las guarderías dependerá del tipo de guardería y las especies a criar, sin embargo, se recomienda que no sea menor a 2 m y mayor a 10 m de profundidad.

- **Guardería flotante a media agua:**

Las guarderías flotantes permiten cultivar colonias de coral de forma masiva y a un bajo costo (Rinkevich, 2006). Este tipo de guardería consta de una estructura flotante a la cual se le adicionan estructuras más pequeñas en forma de marco o bandeja en los cuales se disponen los sustratos de fijación. Se deben instalar aproximadamente a 200 metros del arrecife más cercano con el fin de disminuir la depredación, la sedimentación y la propagación de enfermedades (Pizarro et al., 2014).

Construcción: Existen diferentes tipos y formas de guarderías a media agua (Figura 15) y dependiendo de esto existen algunas diferencias en los materiales requeridos para su construcción. En general, la estructura consta de un marco, se recomienda 10 m de largo y 1 m de ancho (Pizarro et al. 2012), una serie de bandejas o paneles donde se ubicarán los fragmentos, un sistema de flotación, y un sistema de anclaje (Figura 16).

- La estructura se construye utilizando tubos de PVC de ½ pulgada.
- Las bandejas o paneles se construyen utilizando tubos de PVC de un diámetro menor al utilizado para la estructura, y malla plástica o metálica.
- Se utilizan cuerdas marineras para la unión de la estructura y los sistemas de flotación y anclaje.
- Se agregan las boyas o dispositivos de flotación. Pueden utilizarse boyas plásticas, recipientes plásticos o cualquier material que soporte el peso de la estructura y los fragmentos.
- Realizar el sistema de anclaje. Algunas opciones de anclaje incluyen:
 - Anclas de hierro.
 - Muertos de cemento.
 - Galones o canecas plásticas rellenos de cemento.

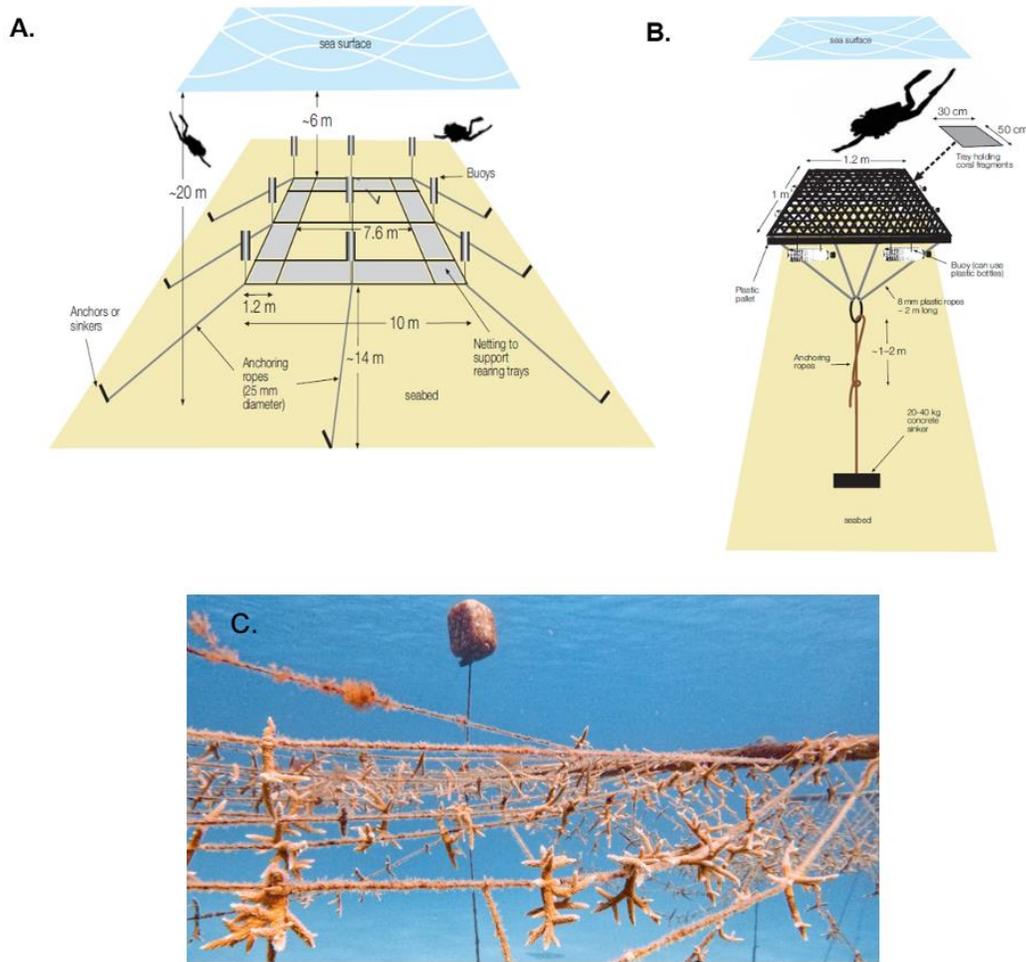


Figura 16. Ejemplo de diseños de guardería flotante a media agua. A. Guardería flotante en forma de marco para aguas abiertas, B. Mini-guardería (Tomado de Edwards, 2010). C. Guarderías flotantes con *Acropora cervicornis* en el sector suroccidental de San Andrés (foto: Blue Indigo Foundation).

- **Guarderías colgantes en forma de árbol:**

Estas guarderías son estructuras simples que asemejan la forma de un árbol (Figura 15). La estructura consta de una boya o elemento de flotación en la parte superior, un dispositivo de anclaje, y una serie de brazos los cuales pueden estar construidos en diferentes materiales. Una de las principales ventajas de este tipo de guardería es su resistencia a los movimientos del agua asociados a tormentas o fuertes corrientes, y el poco mantenimiento que es requerido (Nedimyer et al., 2011).

Construcción: Los siguientes lineamientos son adaptados de Nedimyer et al. (2011). Para la construcción de este tipo de guarderías se requieren:

- Construir una columna con PVC de 19 mm, de la cual saldrán las ramificaciones. Se recomienda que la columna tenga un largo de 1.3 metros con brazos de PVC de 0.5 mm alternándose cada 13 cm. Esta estructura está diseñada para 20 brazos.
 - Los brazos pueden ser agregados utilizando cruces de PVC o mediante la realización de orificios en la columna.
 - Agregar los materiales de los que se colgarán los corales, esto puede ser alambre, cuerda marina, entre otros. También se pueden perforar hoyos de 9.5 mm en los brazos de la estructura para agregar distintos tipos de sustratos o discos sobre los que se pegan o cementan los fragmentos.
- Para el caso de corales ramificados como los Acropóridos se puede ubicar el fragmento entre cuerdas a través de la torsión de estas.
- Agregar el dispositivo de flotación de mínimo 15.2 cm de diámetro en la parte superior de la columna.
 - Algunos tipos incluyen: boyas de icopor, flotadores, boyas plásticas.
 - Se deben contar con dispositivos extra para ser agregados a la estructura en casos de condiciones adversas.
- Anclaje de la estructura. En fondos arenosos se puede utilizar un muerto u otro sistema de anclaje, mientras que en fondos rocosos la estructura puede ser sujeta del sustrato. La estructura puede ser atada al sistema de anclaje utilizando cables, nylon, cuerdas de polipropileno, o cualquier fibra resistente.

Las dimensiones y los materiales pueden ser modificadas dependiendo de la disponibilidad de materiales.

Consideraciones: Estructuras más grandes pueden incrementar la capacidad de la guardería y albergar un mayor número de corales, sin embargo, se requieren dispositivos de flotación de mayor tamaño. Adicionalmente, al tener mayor número de corales el peso de la estructura es mayor y su resistencia a eventos oceanográficos puede verse reducida. Se recomienda ubicar un mayor número de estructuras en lugar de estructuras más grandes.

- **Tendederos de media agua:**

La guardería tipo tendedero de media agua (Figura 15) son estructuras simples que constan de una estructura de cuerdas, un sistema de flotación y un sistema de anclaje. Estas estructuras pueden ser ubicadas en sistemas de fondos arenosos más retirados del área arrecifal.

Construcción: La construcción de la guardería puede variar dependiendo del tamaño y del lugar donde vaya a ser construida. Siguiendo lo propuesto por Zarza et al. (2014) algunas características que debe tener la guardería tipo tendedero son:

- La estructura principal consta de dos cuerdas verticales de polipropileno multifilamento de ½ pulgada de calibre y 5 m de longitud.
- A las cuerdas principales se sujetan cuatro líneas horizontales de nylon monofilamento de 40 lb y 4 m de longitud. A cada una de las líneas se le realizan nudos distanciados por 20 cm entre ellos para el amarre de las colonias o fragmentos de coral.
- El sistema de fijación puede ser realizado utilizando anclas de penetración (Duckbill), bloques de cemento o canecas de plástico rellenas con cemento, entre otros.
- En la parte superior de las cuerdas se ubican dos boyas para darle flotabilidad.

- **Guardería de bloque:**

Este tipo de guardería ha sido ampliamente utilizado en La Florida (Johnson et al., 2011), y consiste en el uso de diferentes bloques de cemento, ladrillos o tubos de PVC llenados con cemento, en los cuales se crían fragmentos de coral cerca del fondo marino, asimilando las condiciones normales del arrecife (Figura 15). Se recomienda su ubicación en fondos arenosos, aunque se puede ubicar en fondos duros con suficiente espacio para que su ubicación no genere ningún daño a las comunidades bentónicas existentes.

Construcción: Una guardería de bloque consiste en unidades modulares de concreto o cemento. Estas unidades sirven de base para estructuras más pequeñas que pueden ser de cemento o PVC y será a lo que se pegará el coral.

- Las estructuras pequeñas o discos se pegan al bloque utilizando cemento o pegamento epóxico.
 - Los discos de PVC pueden contener varias piezas de PVC acopladas. Por ejemplo, el uso de tapas de PVC con rosca permite que la pieza sea removida y utilizada para el trasplante.
 - Se debe realizar el marcaje de al menos el 10% de las colonias para su posterior monitoreo.
- Los corales se pegan o aseguran a la guardería utilizando pegamento epóxico, pegamento para coral (p. ej. IC-GEL Coral frag glue), alambre o zunchos plásticos.
- Si se utiliza más de un bloque de concreto, estos pueden ser atados utilizando zunchos plásticos o cuerdas. No se recomienda cementarlos entre ellos.

Consideraciones: Este tipo de guarderías no se debe construir hasta que las condiciones oceanográficas no se han estabilizado completamente, ya que una alta carga de sedimentos puede desencadenar en la muerte de los corales que se están criando.

- Cuando la guardería se ubica en zonas de baja sedimentación se recomienda ubicar los fragmentos de forma horizontal con el fin de tener dos lados con tejido de coral vivo

expuesto lo que agilizará el crecimiento (Johnson et al., 2011). Si no se conoce la dinámica oceanográfica del área, se recomienda usar una combinación de colonias pegadas de forma horizontal y vertical para garantizar la supervivencia de una proporción de los corales.

- Los materiales utilizados para la estructura deben ser fáciles de remover o trasladar, esto con el fin de garantizar que la guardería pueda ser reubicada.

4.4.3. Guarderías de coral: recomendaciones para el archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina

En los años recientes en las islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina se han adelantado algunos esfuerzos de restauración. Organizaciones como CORALINA, Corales de Paz, la Fundación Blue Indigo y el Parque Nacional Natural Old Providence McBean Lagoon han instalado guarderías en diferentes lugares de ambas islas. Hasta el momento este tipo de guarderías han sido efectivas y su implementación ha sido posible considerando las características del archipiélago.

Las experiencias actuales de cría de corales en el archipiélago generan una base para la elección de las metodologías a utilizar después de un huracán. **En este protocolo se recomienda utilizar guarderías de tendedero, flotantes y de media agua** debido a los bajos costos, la efectividad para la cría de corales y las experiencias positivas en la zona y en el país. Sin embargo, la elección de la guardería y sus características se pueden modificar dependiendo de los materiales disponibles y las especies de coral a criar. De igual forma, se sugiere combinar metodologías de restauración como el **uso de microfragmentación** para alimentar las guarderías. Adicionalmente, se puede utilizar la técnica de microfragmentación y fijar los fragmentos directamente en el arrecife para evitar los costos asociados con la cría en guarderías o en instalaciones *ex-situ*.

Adicionalmente, se recomienda realizar las acciones de rehabilitación en más de una localidad y emplear diversos tipos de guardería con el fin de garantizar la efectividad de las acciones y garantizar que se proteja la redundancia funcional. De igual forma, tener diferentes acciones en distintas zonas de las islas crea la posibilidad de que algunas de estas no sean afectadas ante un nuevo evento y puedan ser utilizadas como stock de corales ante un nuevo evento de desastre.

Si ya se tienen guarderías de coral, se recomienda que, en los casos que sea posible, mover o trasladar las guarderías a zonas más profundas. De no ser posible, hacer una revisión general de toda la guardería y los corales de manera que todos los materiales estén en buen estado y asegurarlos lo mejor posible. Dentro de lo anterior está el asegurar las cuerdas y los nudos con zunchos plásticos, cambiar cualquier boya que no esté en buen estado, asegurarse que las cuerdas con corales no se vayan a enredar los unos con los otros, entre otros. Esto puede hacerse una vez se emita una alerta de huracán cuya trayectoria pueda impactar el lugar de las guarderías.

4.4.4. Mantenimiento de sitios asistidos y guarderías de coral - mediano y largo plazo

Para garantizar la efectividad de las acciones realizadas durante la fase de respuesta, es necesario dar mantenimiento tanto a los sitios asistidos como a las guarderías de coral. El mantenimiento

permite prevenir el crecimiento de macroalgas y otros organismos que puedan competir o afectar las colonias rescatadas (Johnson et al., 2011, Zepeda-Centeno et al. 2019).

Actividades:

- Remover organismos potencialmente dañinos para el coral con ayuda de cepillos de cerdas plásticas o metálicas: tapetes algales, algas frondosas, tunicados, esponjas, hidroides.
- Remover manualmente especies depredadoras de coral como gusanos de fuego.
- Remover de la guardería los fragmentos de coral muertos.
- Estabilizar nuevamente los fragmentos que así lo necesiten.
- Reparar las estructuras que lo necesiten. En las guarderías, revisar y reemplazar los sistemas de flotación y anclaje de ser necesario.

Requerimientos:

Personal: Las actividades de mantenimiento pueden ser realizadas por voluntarios, buzos voluntarios y brigadistas, ya que no es necesario un amplio conocimiento de las comunidades bentónicas. Sin embargo, se recomienda realizar una capacitación corta en la que se enseñan las técnicas a utilizar y cuáles son los organismos que se deben remover. Se recomienda tener un equipo de trabajo de mínimo 4 personas por isla.

Equipos: Para el mantenimiento se pueden utilizar diferentes elementos:

- Cepillos de cerdas de alambre o fibra.
- Cuchillos de buceo para remover organismos incrustantes.
- Guantes para protección de los organismos que puedan irritar la piel.
- Equipo de buceo autónomo SCUBA.
- Materiales para reemplazar los sistemas de anclaje y flotación en caso de ser necesario.

Dependiendo de la ubicación de las guarderías y las áreas en las que se realizaron las acciones se puede requerir el uso de embarcaciones con motor fuera de borda.

Consideraciones: La frecuencia del mantenimiento depende de las condiciones particulares de cada lugar, en el caso de las islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina se recomienda realizar el mantenimiento y limpieza de las guarderías una vez al mes.

4.4.5. *Trasplante de las colonias obtenidas mediante los esfuerzos de restauración - largo plazo*

Una vez los fragmentos han alcanzado un tamaño suficiente para ser competentes en el arrecife, estos deben ser trasplantados nuevamente al arrecife. Algunas condiciones o factores que se deben tener en cuenta a la hora del trasplante son la importancia de la selección del sitio (Figura 17) y las características propias de los fragmentos a trasplantar (preferencia de exposición al oleaje, profundidad, entre otros).



Figura 17. Factores por considerar para la elección del sitio de trasplante (Johnson et al., 2011).

Los recuadros en color naranja se consideran prioritarios a la hora de seleccionar el sitio para el trasplante, escoger sitios en los que se encuentra la especie, o se encontraba recientemente, indica que las condiciones ambientales son propicias para su desarrollo. La profundidad también es importante para la mayoría de las especies, el sitio debe tener una profundidad similar a la de la guardería en la que fueron criados y a la de la distribución de la especie.

Actividades:

- Transporte de las colonias de la guardería a las zonas de trasplante. Esto se puede realizar utilizando canastas de plástico si se realiza a través de buceo, o recipientes plásticos con agua, si la distancia requiere que se movilice en bote.
- Sujeción de los corales al arrecife receptor. Esto puede realizarse utilizando cemento, pegamento epóxico, zunchos plásticos, alambre o clavos.
- Marcaje de al menos 10% de las colonias trasplantadas.

Requerimientos:

Personal: Esta acción debe ser realizada por biólogos o personas con conocimiento de las comunidades bentónicas mediante el uso de buceo autónomo. Los brigadistas pueden hacer parte del equipo, pero este debe ser coordinado por un biólogo. Cada equipo debe constar mínimo de tres (3) buzos experimentados.

Equipos: Los requerimientos mínimos para la actividad de trasplante incluyen:

- Bote o embarcación con motor fuera de borda. Gasolina.
- Equipos de buceo autónomo (SCUBA). Se requiere contar con dispositivos para medir la profundidad: profundímetro de buceo o computador de buceo.
- Materiales para movilización: canastas plásticas, contenedores plásticos.
- Materiales de sujeción: cemento, pegamento epóxico, zunchos plásticos, alambre o clavos.
- Materiales de marcaje: marcas plásticas, marcas metálicas.

Consideraciones: Se recomienda trasplantar las nuevas colonias obtenidas de una misma colonia donante (mismo genotipo) en diferentes áreas arrecifales, para promover la diversidad genética. En este sentido, se sugiere incluir la mayor cantidad de colonias de diferentes orígenes (diferentes genotipos). Adicionalmente, se recomienda seleccionar más de un sitio de trasplante con el fin de evitar una pérdida total en el caso de un evento de desastre.

4.5. Otras técnicas de restauración - mediano y largo plazo

La mayoría de las técnicas de restauración utilizando guarderías de coral se enfocan en especies de rápido crecimiento las cuales permiten recuperar grandes áreas arrecifales en un menor tiempo (Page et al., 2018). Sin embargo, en el Caribe la mayoría de especies constructoras del arrecife son de crecimiento lento. Por esto, se recomienda utilizar técnicas adicionales de restauración que propendan por su crecimiento. Algunas de las técnicas más utilizadas son la microfragmentación, y la cría de larvas para generar nuevas colonias.

4.5.1. Microfragmentación

La microfragmentación es una técnica que consiste en cortar fragmentos de $\sim 1 \text{ cm}^2$ o menos, y criarlas hasta los $\sim 6 \text{ cm}^2$ antes de ser trasplantados (Page et al., 2018). Algunos autores aseguran que con este método se puede restaurar a una mayor escala ya que se generan seis fragmentos utilizando la misma colonia donadora que con las técnicas tradicionales de fragmentación sólo se generaría uno, y la tasa de crecimiento de los microfragmentos es mayor, lo que resulta en la obtención de fragmentos trasplantables en menor tiempo.

Para realizar microfragmentación se utilizan sierras de diamante (por ejemplo: Gryphon C40 Diamond Band Saw For Stained Glass - GBC40) las cuales permiten cortar el tejido del coral con precisión. Primero, se generan fragmentos de tejido vivo de 1 cm^2 , posteriormente se elimina el exceso de mucus y se fijan en sustratos de alrededor de 2.5 cm utilizando pegamentos como el pegamento epóxico o gel de cianoacrilato (ejemplo: IC-GEL Coral frag glue). Este proceso estimula la expansión lateral de tejido en lugar de una expansión tridimensional (Page y Vaughan, 2014). Estos fragmentos pueden ser criados en sistemas ex-situ (acuarios) o en guarderías.

- Esta técnica se recomienda para especies de crecimiento masivo como *Orbicella faveolata*, *Montastraea cavernosa*, *Pseudodiploria clivosa*, entre otros.
- Los microfragmentos pueden ser trasplantados en arreglos del mismo genotipo para abarcar mayores áreas (Page et al., 2018).

Consideraciones: Esta técnica puede tener un alto costo si se decide criar los microfragmentos en sistemas *ex-situ*, para minimizar costos se sugiere **reducir el tiempo de la fase *ex-situ*** y realizar la mayor parte de la cría en guarderías *in-situ*.

4.5.2. Cría de larvas: propagación sexual

La cría de larvas o propagación larval es una técnica que utiliza gametos producidos durante la reproducción sexual para producir y criar embriones y larvas. Para el uso de esta estrategia se debe conocer los días y horas en que cada especie que se quiere criar desova, lo cual es usualmente en la noche. Durante esa o esas noches específicas de desove se colectan los gametos con colectores de gametos (son en forma de embudo invertido con un frasco colector al final). Para las especies liberadoras de gametos hermafroditas la colecta inicia una vez se observen las bolsas gaméticas en las bocas de los pólipos posicionando el colector de gametos encima de la colonia y se espera que desoven. Una vez las bolsas gaméticas se han acumulado en los frascos colectores, estos son llevados a tierra donde se realiza la fertilización. Para especies liberadoras de gametos gonocóricas los colectores solo colectan los huevos, mientras que el esperma se colecta con jeringas. Para estas especies se debe conocer no sólo el día y la hora del desove, pero el sexo de la colonia (masculinas y femeninas).

La fertilización (que se hace en tierra, *ex-situ*) que es la mezcla de gametos masculinos y femeninos, sólo se debe hacer si se tienen gametos de más de una colonia de la misma especie. Una vez se han mezclado los huevos y el esperma de dos colonias diferentes se espera dos a cuatro horas y se hace seguimiento al desarrollo del embrión. Se considera que ha sido efectiva la fertilización cuando en una muestra o alícuota hay más del 85% de fertilización (desarrollo de embriones). A partir de ahí, se sigue el desarrollo embrionario.

Las larvas se mantienen en sistemas cerrados y se proveen sustratos artificiales precondicionados para su asentamiento y reclutamiento. Este precondicionamiento debe ser de un tiempo mínimo de dos semanas antes del desove. Para esto los sustratos se colocan en el arrecife en lugares donde haya una alta cobertura de algas calcáreas incrustantes. Lo que se espera que es durante este tiempo crezca en los sustratos por lo menos un *biofilm* de microorganismos. Los reclutas pueden ser mantenidos en sistemas cerrados hasta que alcancen

un tamaño apropiado para ser trasplantados al arrecife. Se recomienda que los reclutas se mantengan en sistemas cerrados o en guarderías por periodos que van desde un mes hasta varios años antes de ser trasplantadas al arrecife para incrementar su sobrevivencia (Chamberland et al., 2015, Bayraktarov et al., 2020).

Existen diferente tipo de sistemas cerrados que pueden ser utilizados para su cría. Estos van desde acuarios, contenedores de plástico con agua marina y aireación, o tanques de agua, hasta estructuras flotantes para cría *in-situ* como el Coral Rearing *In-situ* Basin (CRIB; Miller et al., 2021). De igual forma, existen diferentes sustratos artificiales que pueden utilizarse para el asentamiento de las larvas, dentro de esto se pueden utilizar fragmentos de coral muerto, estructuras de cerámica o arcilla, galletas de cemento, entre otras (Pizarro et al., 2014; Chamberland et al., 2015).

La principal ventaja de esta técnica es que permite mantener y aumentar la diversidad genética de las poblaciones de coral en los sitios de trasplante (Van Oppen et al. 2017), lo cual puede generar poblaciones más resilientes al cambio climático, eventos de blanqueamiento, e incluso a eventos meteorológicos (Bayraktarov et al., 2020).

Considerando la relación costo-beneficio y la implementación de técnicas innovadoras, se recomienda para las islas, la cría de reclutas en piscinas *in-situ* durante un mes. Se estima que con esta metodología es posible la producción de 960 sustratos con al menos un recluta (CRIB; Miller et al., 2021). Pasado un mes aproximadamente, se realiza la transferencia de los sustratos (con reclutas) a guarderías, también *in-situ*, en donde podrán permanecer dos meses. Posteriormente, se lleva a cabo el trasplante de dichos sustratos, marcando el 10% de estos para su monitoreo, que debe hacerse cada tres meses por tres años.

Consideraciones: Es importante tener en cuenta que, aunque esta técnica es mejor para la diversidad genéticas de las especies, puede tener costos altos, necesita conocimientos especializados y experiencia. Adicionalmente este tipo de restauración es a **largo plazo**.

5. Métodos de seguimiento y monitoreo de los esfuerzos de rehabilitación y restauración - Acciones post-respuesta

5.1. Monitoreo de los esfuerzos de rehabilitación en sitios intervenidos

De 2 a 36 meses después del evento meteorológico

Es necesario realizar acciones de monitoreo de los corales sobre los que se realizaron las acciones de rehabilitación para **determinar si los esfuerzos fueron efectivos**. Se monitorea 10% de corales intervenidos durante la fase de auxilio (ver sección 2.2.3), en todas las zonas intervenidas.

Actividades:

- Recolectar la información básica de la colonia como:
 - Número de la marca/ marcaje.
 - Tamaño.
 - Número de ramas (en corales ramificados).
 - Condición de salud (blanqueamiento, enfermedades, etc.).
 - Porcentaje de tejido vivo.
- Se recomienda la toma de fotografías para el seguimiento de la colonia.
- Colectar los datos de monitoreo en una base de datos unificada.

Consideraciones: Para la fase de monitoreo se puede involucrar personal capacitado de comunidad local, realizar diferentes capacitaciones y entrenamientos periódicos para la confirmación y fortalecimiento de capacidades y capital humano local. Los miembros de la comunidad local o de instituciones locales como la academia pueden trabajar conformando y/o apoyando al equipo científico del comité de salvamento de arrecifes coralinos ante huracanes.

5.2. Monitoreo de las guarderías de coral:

De 2 a 12 meses después del evento meteorológico.

Es necesario establecer el monitoreo de las guarderías para evaluar la efectividad de las acciones realizadas. Teniendo en cuenta lo propuesto por Johnson et al. (2011) algunas acciones incluyen:

- Estimación del crecimiento de los fragmentos.
- Número de ramas nuevas en corales ramificados.
- Tamaño de las ramas (en corales ramificados).
- Condición: enfermedades, depredación, blanqueamiento, sobrecrecimiento de algas, pérdida de tejido.
- Mortalidad (pérdida total de tejido vivo).
- Calidad del agua: temperatura, luz. Se pueden usar instrumentos sensores que registran los datos como los de la marca Hobo®.

Se recomienda realizar monitoreos simplificados de supervivencia y crecimiento de los fragmentos en las guarderías de coral. Para la supervivencia, se cuenta el número de fragmentos vivos (con presencia de tejido vivo) y fragmentos muertos. Si es posible, se evalúa supervivencia para todo el stock. En caso de no tener los recursos y personal suficiente, se debe evaluar mínimo el 10%. Para el monitoreo de crecimiento de corales ramificados, se mide la longitud de cada una de sus ramas para obtener la extensión lineal total (TLE, en inglés) (Schopmeyer et al., 2017), mientras que para corales masivos, se toman fotografías de los corales desde arriba, junto a un objeto de área conocida. A partir de esto, con ayuda del software Image J, se obtiene el área. El

monitoreo de crecimiento se debe realizar mínimo al inicio y al final de la fase de guarderías, en una muestra de 3-5% del stock (Frías-Torres et al., 2018).

5.3. Monitoreo de sitios de trasplante:

De 12 a 36 meses después del evento meteorológico.

De igual forma, se deben monitorear los sitios intervenidos mediante el trasplante de colonias de coral criadas en guarderías. Se evalúa el cambio en la composición de la comunidad bentónica. La metodología recomendada para esto es AGRRA para la evaluación de comunidades bentónicas, que se detalla en el numeral 4.1.4 y el anexo 1.

Como alternativa, se sugiere el uso de fotomosaicos para una evaluación detallada de la comunidad bentónica, lo que permitirá estimar la recuperación o no después de ser afectada por un huracán. Por fotomosaicos se entiende al uso de la metodología llamada *Structures-from-Motion* o fotogrametría (Carlot et al., 2020), en la cual se toman fotografías de un área arrecifal para generar una imagen del bentos de áreas hasta 20 x 20 m² de alta resolución que permite identificar los organismos bentónicos hasta género o especie.

5.4. Otras recomendaciones de manejo para la restauración efectiva:

5.4.1. Monitoreo post-huracán de las áreas arrecifales del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.

De 2 a 36 meses después del evento meteorológico. Cada dos meses durante el primer año, cada 6 meses durante el segundo y tercer año.

Se recomienda instalar estaciones de monitoreo en las áreas en las que se realizaron las acciones de rescate o rehabilitación post-huracán y utilizar la metodología AGRRA (Lang et al., 2010), descrita en la evaluación detallada y el Anexo 1 de la presente sección.

Adicionalmente, se recomienda continuar con las evaluaciones en las estaciones de monitoreo con transectos fijos de INVEMAR-CORALINA en San Andrés, Providencia y Santa Catalina, con el fin de poder realizar una comparación temporal. En este caso se debe seguir la misma metodología utilizada por CORALINA-INVEMAR (2019).

Finalmente, como se mencionó anteriormente, se recomienda establecer estaciones fijas en las zonas identificadas como prioritarias previamente (3.1.4) y realizar su monitoreo utilizando la metodología AGRRA para evaluación de comunidades bentónicas y comunidades arrecifales (Lang et al., 2010) (Anexo 1).

5.4.2. Monitoreo de las comunidades asociadas.

Como recomendación final, con el fin de estimar si el **ecosistema se está recuperando después del evento meteorológico** se pueden realizar evaluación de comunidades asociadas, como invertebrados vágiles y peces arrecifales. Para la primera, se registra la abundancia de invertebrados clave como el erizo negro *Diadema antillarum*, o de importancia comercial como

la langosta espinosa *Panulirus argus*. Para la segunda, se estima la biomasa de peces herbívoros. Para las dos se usan censos visuales (Rodríguez-Rincón et al., 2014) y se pueden seguir diferentes metodologías. Se recomienda seguir la metodología de evaluación de peces del AGRRA (“AGRRA Fish Surveys”, Lang et al., 2010).

Adicionalmente, se puede considerar evaluar métricas socio-económicas, como la construcción de capacidad local, la creación de oportunidades económicas (especialmente de ecoturismo responsable), la satisfacción de los usuarios del arrecife y/o el aumento de consciencia mediante educación y divulgación (Goergen et al., 2020).

5.5. Evaluación y actualización del protocolo:

Una vez ha pasado la temporada de huracanes y se han completado las actividades del protocolo, es necesario realizar la evaluación de la efectividad de implementación del mismo con el fin de identificar acciones de mejora para el siguiente año. En la evaluación deben participar el Comité de salvamento de arrecifes coralinos ante huracanes, un líder de los brigadistas o buzos, representantes de las instituciones educativas (academia), miembros de la comunidad local y las ONG que estén participando en la aplicación del protocolo, CORALINA como autoridad ambiental.

La evaluación debe incluir aspectos administrativos como:

- velocidad de respuesta.
- coordinación y comunicación entre los diferentes participantes del protocolo.
- ejecución del presupuesto.
- artículos y equipos dañados o perdidos durante las diferentes acciones del protocolo.
- lista de aliados actuales y aliados potenciales.
- accidentes, incidentes o eventos imprevistos durante las actividades del protocolo.
- Nuevas técnicas o tecnologías disponibles

Y aspectos técnicos o científicos como:

- Número de colonias atendidas.
- efectividad de los esfuerzos de rehabilitación.
- Recomendaciones del Grupo de Respuesta y de la Comunidad

Consideraciones: Durante cada evaluación anual se debe actualizar el protocolo teniendo en cuenta todos los nuevos avances en las técnicas de rehabilitación y restauración de corales. Por ejemplo, avances en las metodologías de cría de corales o en los materiales de sujeción para los fragmentos de coral. De igual forma, si existen avances que permitan utilizar otras técnicas como la criopreservación de gametos de coral se recomienda incluirlas.

6. REFERENCIAS

- Bass, D. & Miller, I. (1996). Crown-of-thorns starfish and coral surveys using the manta tow and scuba search techniques. Australian Institute of Marine Science. Townsville, Australia. 38 p.
- Bayraktarov, E., Banaszak, A.T., Montoya, M.P., Kleypas, J., Arias-González, J.E., Blanco, M., Calle-Triviño, J., Charuvi, N., Cortés-Useche, C., Galván, V., García, M.A., Gnecco, M., Guendulain-García, S.D., Hernández, E.A., Marín, J.A., Maya, M.F., Mendoza, S., Mercado, S., Morikawa, M., Nava, G., Pizarro, V., Sellares-Blasco, R., Suleimán, S.E., Villalobos, T., Villalpando, M.F. & Frías-Torres, I. (2020). Coral reef restoration efforts in Latin American countries and territories. PLoS ONE 15(8): e0228477. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228477>
- Brander, L. M., Van Beukering, P. & Cesar, H. S. J. (2007). The recreational value of coral reefs: A meta-analysis. *Ecological Economics*, 63(1), 209–218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.11.002>
- Bongaerts, P., Ridgway, T., Sampayo, E.M. & Hoegh-Guldberg, O. (2010). Assessing the ‘deep reef refugia’ hypothesis: focus on Caribbean reefs. *Coral Reefs*, 29:309–327.
- Bucher, D. J., Harriott, V. J., & Roberts, L. G. (1998). Skeletal micro-density, porosity and bulk density of acroporid corals. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 228(1), 117–136. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(98\)00020-3](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(98)00020-3).
- Budd, A.F., Fukami, H., Smith, N.D. and Knowlton, N. (2012). Taxonomic classification of the reef coral family Mussidae (Cnidaria: Anthozoa: Scleractinia). *Zoological Journal of the Linnean Society* 166 465–529. doi: 10.1111/j.1096-3642.2012.00855.x.
- Burke, L. (2011). Reefs at risk revisited. World Resources Institute.
- Carlot, J., Rovere, A., Casella, E., Harris, D., Grellet-Muñoz, C., Chancerelle, Y., ... & Parravicini, V. (2020). Community composition predicts photogrammetry-based structural complexity on coral reefs. *Coral Reefs*, 39(4), 967-975.
- Castellanos-Galindo, G. A., Casella, E., Mejía-Rentería, J. C., & Rovere, A. (2019). Habitat mapping of remote coasts: Evaluating the usefulness of lightweight unmanned aerial vehicles for conservation and monitoring. *Biological Conservation*, 239, 108282. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108282>
- Castro, V. (2016). Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades Ambientales Marino-Costeras en zonas impactadas por eventos naturales y/o antrópicos (Contrato No. 235-2016). MinAmbiente-DAMCRA. 48 p.
- Chamberland, V. F., Snowden, S., Marhaver, K. L., Petersen, D. & Vermeij, M.J. (2017). The reproductive biology and early life ecology of a common Caribbean brain coral, *Diploria labyrinthiformis* (Scleractinia: Faviinae). *Coral Reefs*, 36(1), 83-94.
- Chasqui, L., Mejía-Quintero, K. & González, J.D. (2020). Biodiversity and Ecological Units of

the Mesophotic Coral Ecosystems in San Andrés Island, SeaFlower Biosphere Reserve. *Frontiers in Marine Science*. 7:559273. doi: 10.3389/fmars.2020.559273

Cheal, A. J., MacNeil, M. A., Emslie, M. J. & Sweatman, H. (2017). The threat to coral reefs from more intense cyclones under climate change. *Global Change Biology*, 23(4), 1511–1524. <https://doi.org/10.1111/gcb.13593>

CORALINA-INVEMAR, (2018). Levantamiento de información biofísica marino costera para la gestión ambiental del Departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina CORALINA. Convenio Especial de Cooperación No. 002 de 2018. ITF. INVEMAR- CORALINA, Santa Marta, 318 p. + 3 anexos (Mapa y CD-ROM).

CORALINA-INVEMAR, (2019). Diagnóstico del estado actual de los ambientes marinos y costeros en jurisdicción de la corporación para el desarrollo sostenible del archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (CORALINA) ITF. Convenio Especial de Cooperación No. 001 de 2019. Informe Técnico Final. INVEMAR- CORALINA, Santa Marta, 355 p. + 3 anexos.

Díaz, J. M. (2005). Esquemas espaciales de zonación ecológica y morfología de las lagunas de los atolones y complejos arrecifales de un archipiélago oceánico del Caribe: San Andrés y Providencia (Colombia). *Revista Academia Colombiana de Ciencia*, 29 (112): 357-369.

Díaz, J. M. , L. M. Barrios, M. H. Cendales, J. Garzón-Ferreira, J. Geister, M. López-Victoria, G. H. Ospina, F. Parra-Velandia, J. Pinzón, B. Vargas-Angel, F. A. Zapata & Zea, S. (2000).

Áreas coralinas de Colombia. INVEMAR, Serie Publicaciones Especiales No. 5, Santa Marta, 176 p.

Done, T.J., Ayling, A.M. & Van Woesik, R. (1991). Broudscale Survey of Impacts of Cyclone Ivor on Coral Reefs. Research publication N. 25. Great Barrier Reef Marine Park Authority. 42 p.

DRNA (2019). Rapid response protocol for coral reef emergencies. Department of Natural and Environmental Resources and Territorial Coral Reef Conservation Cooperative Agreement. 44 p.

Edwards, A. (ed). (2010). Reef rehabilitation manual. Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Programme, St. Lucia, Australia. 173 p.

Fabricius, K.E., De'ath, G., Puotinen, M.L., Done, T., Cooper, T.F. & Burgess, S.C. (2008). Disturbance gradients on inshore and offshore coral reefs caused by a severe tropical cyclone. *Limnology Oceanography*, 53(2): 690–704.

Ferrario, F., Beck, M. W., Storlazzi, C. D., Micheli, F., Shepard, C. C. & Airoidi, L. (2014). The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation. *Nature Communications*, 5. <https://doi.org/10.1038/ncomms4794>

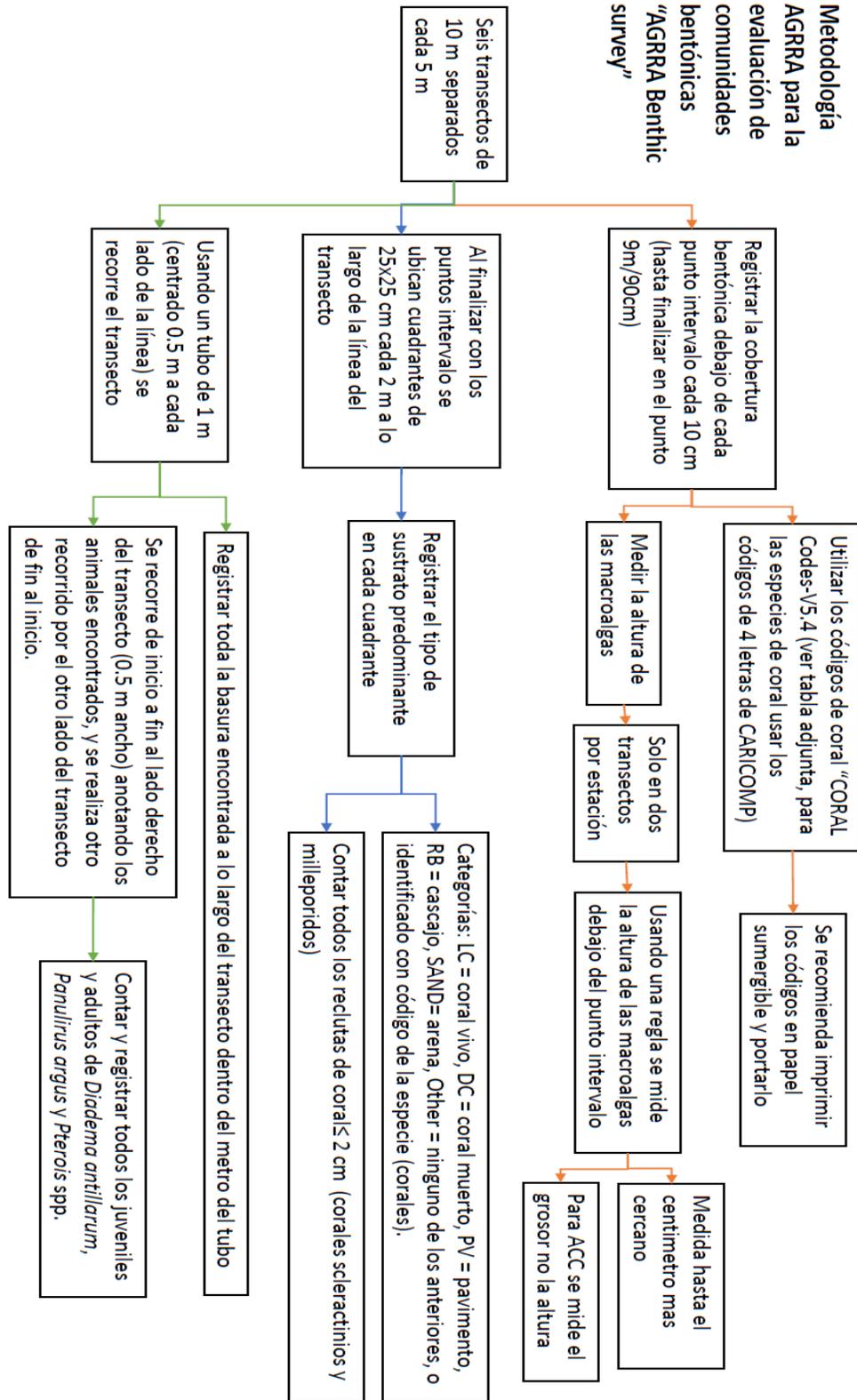
Frías-Torres, S., Montoya-Maya, P., & Shah, N. (Eds.). (2018). *Coral Reef Restoration Toolkit: A Field-Oriented Guide Developed in the Seychelles Islands*. Mahe, Republic of Seychelles: Nature Seychelles. 73 p.

- Gardner, T. A., Côté, I. M., Gill, J. A., Grant, A. & Watkinson, A. R. (2005). Hurricanes and Caribbean coral reefs: Impacts, recovery patterns, and role in long-term decline. *Ecology*, 86(1), 174–184. <https://doi.org/10.1890/04-0141>
- Goergen, E. A., Schopmeyer, A. L., Moulding, A., Moura, P., Kramer, P. & Viehman, T.S. (2020). Coral reef restoration monitoring guide: Methods to evaluate restoration success from local to ecosystem scales. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 279., 145. <https://doi.org/10.25923/XNDZ-H538>
- Harmelin-Vivien, M. L. & Laboute, P. (1986). Catastrophic impact of hurricanes on atoll outer reef slopes in the Tuamotu (French Polynesia). *Coral Reefs*, 5(2), 55–62.
- Glynn P.W., Mate J.L., Baker A.C. & Calderon, M.O. (2001). Coral bleaching and mortality in Panama and Ecuador during the 1997–1998 El Niño–Southern Oscillation event. Spatial/ temporal patterns and comparison with the 1982–1983 event. *Bulletin of Marine Science*, 69:79–109.
- Goldenberg, S. B., Landsea, C. W., Mestas-Nuñez, A. M., & Gray, W. M. (2001). The recent increase in Atlantic hurricane activity: Causes and implications. *Science*, 293(5529), 474-479.
- Great Barrier Reef Marine Park Authority (2011). Impacts of tropical cyclone Yasi on the Great Barrier Reef: a report on the findings of a rapid ecological impact assessment, July 2011, GBRMPA, Townsville.
- Herlan, J. & Lirman, D. (2008). Development of a coral nursery program for the threatened coral *Acropora cervicornis* in Florida. *Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium*, 1244 - 1247.
- Johnson, M.E., Lusic, C., Bartels, E., Baums, I.B. & Gilliam, D.S. (2011). Caribbean *Acropora* restoration guide: best practices for propagation and population enhancement. 64 p. https://nsuworks.nova.edu/occ_facreports/71.
- Lang, J.C., Marks, K.W., Kramer, P.A., Kramer, P.R. & Gisburg, R.N. (2010). AGRRA Protocols version 5.4. *ReVision A Journal of Consciousness and Transformation*. 31 p.
- Miller, M., Latijnhouwers, K., Bickel, A., Mendoza-Quiroz, S., Schick, M., Burton, K. & Banaszak, A.T. (2021). Settlement yields in large-scale in situ culture of Caribbean coral larvae for restoration. *Restoration Ecology*, 8p. <https://doi.org/10.1111/rec.13512>.
- Nedimyer, K., Gaines, K. & Roach, S. (2011). Coral Tree Nursery©: An innovative approach to growing corals in an ocean-based field nursery. *AAAL Bioflux*, 4(4): 442-446.
- NOAA. (sin fecha). Saffir-Simpson Hurricane Wind Scale. National hurricane center and Central Pacific hurricane center. Recurso electrónico. Disponible en: <https://www.nhc.noaa.gov/aboutsshws.php>
- Page, C.A. & Vaughan, D.E. (2014). The cultivation of massive corals using "micro-fragmentation" for the "reskinning" of degraded coral reefs.

- Page, C.A., Muller, E.M. & Vaughan, D.E. (2018). Microfragmenting for the successful restoration of slow growing massive corals. *Ecological Engineering* 123: 86–94.
- Pizarro, V., Carrillo, V., García-Llano, C., Charuvi, N. & Castaño, R. (2012). Informe de avance: Proyectos piloto de cría de fragmentos con fines de restauración realizados en el parque nacional natural Tayrona. Santa Marta, Colombia. 22 p.
- Pizarro, V., Carrillo, V. & García-Rueda, A. (2014). Revisión y estado del arte de la restauración ecológica de arrecifes coralinos. *Biota Colombiana*, 15(2): 132-149.
- Prato J., Santos-Martínez A., Castaño D., Cupul-Magaña A., Schuhmann P., Mancera-Pineda J.E. Robles A., Macariz A., Hudson A. & Medina J. (2020). Natural shields for Caribbean insular territories: Wave and wind attenuation by coral reef barriers and mangroves at San Andrés Island, Seaflower Biosphere Reserve, Colombian Caribbean. GCFI 73th. Book of abstracts. Gulf and Caribbean Fisheries Institute. 72 p.
- Puotinen, M., Drost, E., Lowe, R., Depczynski, M., Radford, B., Heyward, A., & Gilmour, J. (2020). Towards modelling the future risk of cyclone wave damage to the world's coral reefs. *Global Change Biology*, 26(8), 4302–4315. <https://doi.org/10.1111/gcb.15136>
- Rinkevich, B. (2006). The coral gardening concept and the use of underwater nurseries: lessons learned from silvics and silviculture. Pp. 291-301. En: Precht, W. (Ed.). *Coral reef restoration handbook*. CRC Press, United States of America.
- Rodríguez-Rincón, A. M., Navarrete-Ramírez, S. M., Gómez-López, D. I. & Navas-Camacho, R. (2014). Protocolo Indicador Condición Tendencia Áreas Coralinas (ICTac). Indicadores de monitoreo biológico del Subsistema de Áreas Marinas Protegidas (SAMP). INVEMAR.
- Scharstein, D., & Szeliski, R. (2002). A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-Frame Stereo Correspondence Algorithms. *International Journal of Computer Vision*, 47(1/3), 7-42. <https://doi.org/10.1023/A:1014573219977>
- Seitz, S. M., Curless, B., Diebel, J., Scharstein, D., & Szeliski, R. (2006). A Comparison and Evaluation of Multi-View Stereo Reconstruction Algorithms. 2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition - Volume 1 (CVPR'06), 1, 519-528. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2006.19>
- Shafir, S., van Rijn, J. & Rinkevich, B. (2006). Steps in the construction of underwater coral nursery, an essential component in reef restoration acts. *Marine Biology*, 149: 679-687.
- Shafir S., Edwards, A., Rinkevich, B., Bongiorno, L., Levy, G. & Shaish, L. (2010). Constructing and managing nurseries for asexual rearing of corals. In: Edwards, A (ed). *Reef Rehabilitation Manual. Coral Reef Targeted Research & Capacity Building For Management*, St. Lucia, Australia. 49-72 p.
- Schopmeyer, S. A., Lirman, D., Bartels, E., Gilliam, D. S., Goergen, E. A., Griffin, S. P., Johnson, M. E., Lustic, C., Maxwell, K., & Walter, C. S. (2017). Regional restoration benchmarks for *Acropora cervicornis*. *Coral Reefs*, 36(4), 1047–1057. <https://doi.org/10.1007/s00338-017-1596-3>

- Souter, D. W. & Lindén, O. (2000). The health and future of coral reef systems. *Ocean y Coastal Management*, 43(8–9), 657–688. [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(00\)00053-3](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(00)00053-3)
- Storlazzi, C.D., Reguero, B.G., Yates, K.K., Cumming, K.A., Cole, A.D., Shope, J.B., Gaido L., C., Zawada, D.G., Arsenault, S.R., Fehr, Z.W., Nickel, B.A. & Beck, M.W. (2021). Rigorously valuing the impact of projected coral reef degradation on coastal hazard risk in Florida: U.S. Geological Survey Open-File Report 2021–1055, 27 p., <https://doi.org/10.3133/ofr20211055>.
- Van Oppen M.J.H., Gates R.D., Blackall L.L., Cantin N., Chakravarti L.J., Chan W.Y., Cormick, C., Crean, A., Damjanovic, K., Epstein, H., Harrison, P.L., Jones, T.A., Miller, M., Pears, R.J., Peplow, L.M., Raftos, D.A., Schaffelke, B., Stewart, K., Torda, G., Wachenfeld, D., Weeks, A.R. & Putnam, H.M. (2017). Shifting paradigms in restoration of the world’s coral reefs. *Global Change Biology*, 23(9): 3437–48.
- Viehman, T.S., Nemeth, M., Groves, S.H., Buckel, C.A., Griffin, S., Field, D., Moore, T.D. & Moore, J. (2020). Coral assessment and restoration in the U.S. Caribbean after 2017 hurricanes. NOAA National Ocean Service, National Centers for Coastal Ocean Science. NOAA Technical Memorandum 278. Silver Spring, MD. 64 pp. doi: 10.25923/7r0b-wc52.
- Wilkinson C. & Souter D. (Eds.). (2008). *Status of Caribbean Coral Reefs after Bleaching and Hurricanes in 2005*. Townsville, Australia: Global Coral Reef Monitoring Network, and Reef and Rainforest Research Centre. 152 p.
- Whitall, D., Menza, C. & Hill, R. (2014). *A Baseline Assessment of Coral and Fish Bays (St. John, USVI) in Support of ARRA Watershed Restoration Activities*. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 178. Silver Spring, MD. 74 p.
- Zarza, E., Vargas, A., Londoño, L., Pacheco, A. & Duque, D. (2014). Ensayo preliminar de crecimiento de fragmentos del 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*. 15(2): 102-113.
- Zepeda-Centeno C., Padilla C., Huitrón J.C., Macías-Constantino M., Shaver E., Nava-Martínez G. & García-Salgado M.A. (2019). Protocolo de alerta temprana y respuesta inmediata: Acciones para mitigar el impacto de los ciclones tropicales en los arrecifes coralinos. The Nature Conservancy. 69 p.

7. ANEXO 1: Esquema metodología AGRRA para evaluación de comunidades bentónicas y arrecifes de coral



**Metodología AGRRA
para la evaluación de
comunidades coralinas
"AGRRA Coral survey"**

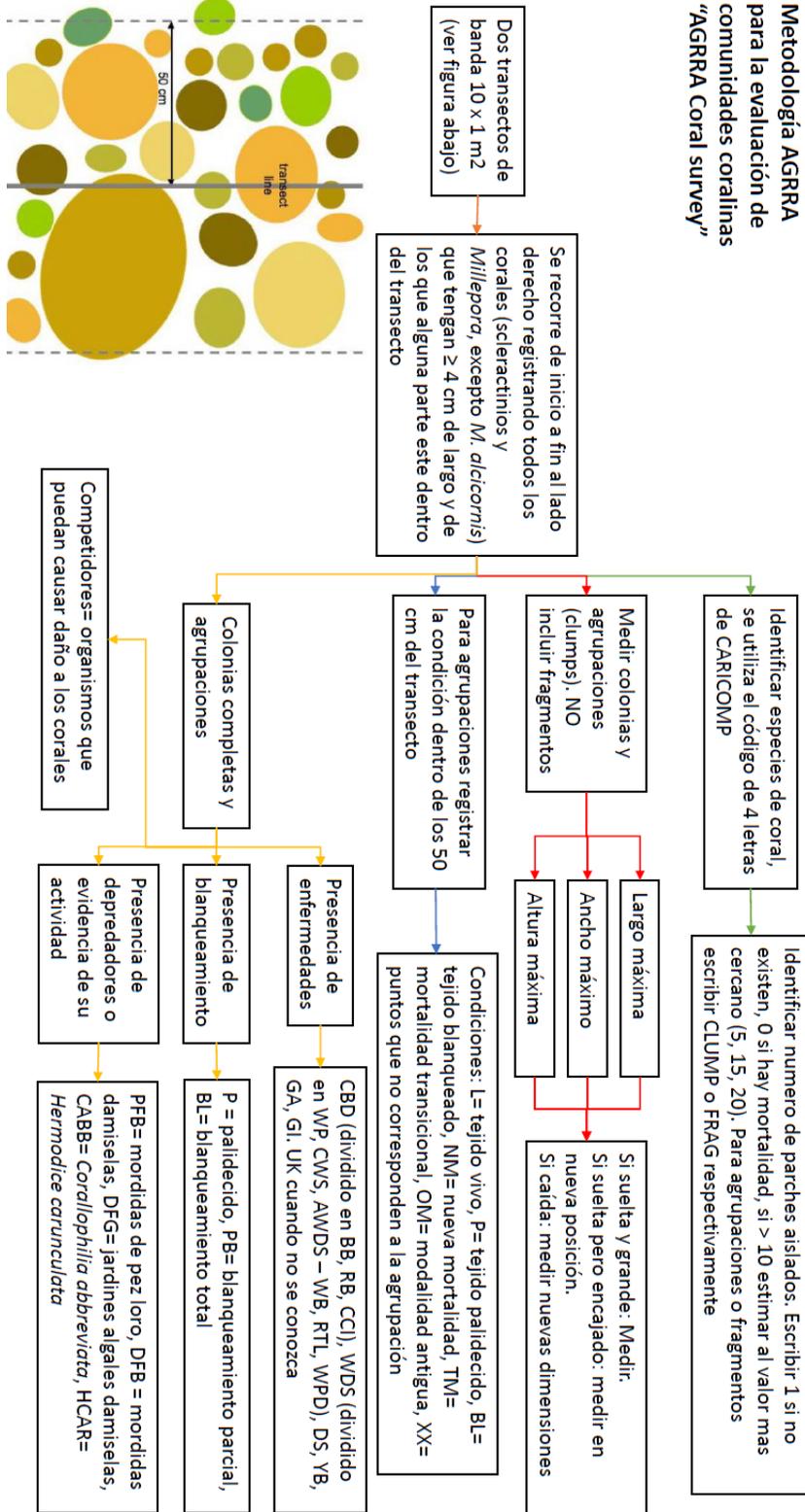


Tabla 4. Adjunta Anexo 1. Categorías, códigos and para la evaluación bentónica.

CATEGORY	CODE	RATIONALE
CORALS Live coral by species (or genus) name Bleached (live) coral by species (or genus) name Newly dead coral by species (or genus) name	4-letter coral code BL-coral code ND-coral code	Construct coral reefs; universal reef condition indicator. <i>e.g.</i> , PAST = <i>P. astreoides</i> ; AGAR = <i>Agaricia</i> sp. Indicate altered reef conditions (often thermal stress when large scale) <i>e.g.</i> , BL-MCOM = fully bleached <i>M. complanata</i> May indicate ongoing disease, bleaching, predation, competition, or other perturbation(s). <i>e.g.</i> , ND-CNAT=newly dead <i>C. natans</i>
OTHER CALCIFIERS Crustose coralline algae OR distinguish <i>Porolithon pachydermum</i> Newly dead crustose coralline algae ¹ Calcified worm tubes Peyssonnelid algae ²	CCA POR ND-CCA CWT PEY	Construct or cement reef framework; may indicate good conditions for recruitment of coral larvae May indicate ongoing disease; outbreaks have occurred on some reefs Potential coral larval recruitment site Rarely contribute to reef construction or binding; unlikely to be coral larval recruitment sites
MISCELLANEOUS Sediment (at least 2.5 cm/1 inch thick) OR distinguish as sand or mud Hard surface OR distinguish as dead coral or pavement Rubble Unknown, invisible (<i>e.g.</i> , in a hole)	SED SAND or MUD ROCK DC or PV RB XXX	Subtract from total as not a potential coral larval recruitment site. ignore associated epibenthos (<i>e.g.</i>, macroalgae) Potential coral larval recruitment site; often considered “barren,” but probably covered with biofilms of bacteria, diatoms and/or other microalgae Subtract from total as not a potential recruitment site for most reef corals; ignore associated epibenthos (<i>e.g.</i>, turf algae, macroalgae) Subtract from total as no specific information of any effects on corals or their larvae

<p>“ALGAE” Conspicuous (“nuisance”) cyanobacteria</p> <p>Turf algae</p> <p>Turf algae-sediment mat</p> <p>Fleshy macroalgae</p> <p>OR <i>Dictyota</i> OR <i>Lobophora variegata</i></p> <p>OR name of any other common FMA</p>	<p>CYAN</p> <p>TA</p> <p>TAS</p> <p>FMA</p> <p>DIC LOB</p> <p>name or create a code, e.g., SAR = <i>Sargassum</i></p>	<p>May indicate altered reef conditions (possibly increased nutrients, temperature, few herbivores); may prevent coral larval recruitment or kill/overgrow corals and crustose coralline algae (CCA)</p> <p>Eaten by many herbivorous fishes; when thick or tall indicate few herbivores</p> <p>Thick TA mats can trap sediment, inhibit coral larval recruitment, and may kill/overgrow corals and CCA</p> <p>All are eaten by some herbivorous fishes although some are chemically defended; some inhibit coral larval recruitment or kill/overgrow corals and CCA; may provide refuge for some corallivores or be a repository for some coral pathogens</p> <p>May inhibit coral larval recruitment or kill small corals and CCA</p> <p>Inhibit coral larval recruitment, can kill/overgrow some corals (especially small ones) and CCA, generally avoided by fishes</p> <p>As for FMA</p>
<p>Calcareous macroalgae</p> <p>OR <i>Halimeda</i> OR <i>Halimeda</i> mat³ OR <i>H. goreauii</i> mat OR <i>H. opuntia</i> mat OR name of any CMA</p> <p>Mixtures of fleshy & calcareous macroalgae</p>	<p>CMA</p> <p>HAL HAM HGM HOM</p> <p>name or create a code (as above)</p> <p>FMA-CMA or names or create codes (as above)</p>	<p>Have calcareous (and some have chemical) defenses against herbivorous fishes; at least a few inhibit coral larval recruitment or kill/overgrow corals and CCA; may provide refuge for some corallivores or be a repository for some coral pathogens</p> <p>As for CMA</p> <p>Inhibit coral larval recruitment; probably kill whatever they overgrow; avoided by some fishes; good refuge for some corallivores; may be a repository for some coral pathogens</p> <p>As for CMA</p> <p>Will be scored 0.5 as FMA and 0.5 as CMA</p>
<p>INVERTEBRATES Aggressive invertebrates OR <i>Chondrilla caribensis</i>⁴ OR <i>Cliona</i> OR <i>Cliona delitrix</i> OR zooxanthellate clionid OR <i>Briarium asbestinum</i> OR <i>Erythropodium caribaeorum</i> OR <i>Palythoa caribaeorum</i> OR <i>Trididemnum solidum</i> OR name any other overgrowing invertebrate Other Invertebrates OR Epibenthic sponge OR Gorgonian holdfast OR name of any other OINV</p>	<p>AINV CHON CLIO CDEL⁵ CZOO⁶ BRI ERY</p> <p>PAL TRI</p> <p>name or create a code (as above)</p> <p>OINV</p> <p>SPO GOR</p> <p>name or create a code(as above)</p>	<p>Kill/expand over corals and CCA as they grow</p> <p>As for AINV</p> <p>As for AINV + bioeroding activities weaken coral skeletons</p> <p>As for CLIO</p> <p>As for CLIO</p> <p>As for AINV</p> <p>Epibenthic invertebrates that usually don’t kill/ expand over corals and CCA as they grow</p> <p>As for OINV</p> <p>As for OINV</p> <p>As for OINV</p>

¹ Visible as orange tissues or freshly exposed white skeleton around green algae in dead skeleton. ² If uncertain of identity, scratch the surface with a sharp instrument: crustose coralline algae have white skeletons and the skeletons of peyssonnelids are dark

8. ANEXO 2: Ejemplo de formato de evaluación en campo.

HOJA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO EN LOS ARRECIFES

INFORMACIÓN DEL OBSERVADOR Y SITIO	Nombre del observador:		Día:		Hora:		
	Organización:		Email:		Snorkel <input type="checkbox"/> o Buceo <input type="checkbox"/>		
	Información del sitio						Bentos: Macroalgas _____ %
	Sitio:		LAT:		LONG:		Coral vivo _____ %
EVALUACIÓN DEL BENTOS	Profundidad:		Foto: SI <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		Coral muerto _____ %		
	Visibilidad: <input type="checkbox"/> <5m <input type="checkbox"/> 5-10 m <input type="checkbox"/> >10 m		Video: SI <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		Escombros _____ %		
	Hábitat: <input type="checkbox"/> Cresta <input type="checkbox"/> Laguna <input type="checkbox"/> Terraza		<input type="checkbox"/> Barrera <input type="checkbox"/> Pináculos		Arena _____ %		
	Otro: _____				Otros _____ %		
	Transecto #:		tamaño transecto: _____ m				
	Basura marina: <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> No Descripción: (tamaño, dificultad de recoger, etc.)						
	Observaciones del fondo coralino						
	TIPO*:						
	cobertura %						
	Proporción con muerte reciente %						
INFORMACIÓN DE IMPACTOS SOBRE LAS ESPECIES DE CORAL	Macroalgas						
	TIPO*:						
	cobertura %						
* Categorías tomadas de Great Barrier Reef Marine Park Authority (2013) y Whitall et al. (2014).							
observación afectación coralina							
Especie	Estado	Tamaño		Especie	Estado	Tamaño	
		M (20-50cm)	L(51-100cm)			M (20-50cm)	L(51-100cm) XL(>101cm)
ACER	Sin daño			APAL	Sin daño		
	Ruptura				Ruptura		
	Volcamiento				Volcamiento		
DCYL	Sin daño			CNAT	Sin daño		
	Ruptura				Ruptura		
	Volcamiento				Volcamiento		
OFAV	Sin daño			OANN	Sin daño		
	Ruptura				Ruptura		
	Volcamiento				Volcamiento		
OFRA	Sin daño			MCAV	Sin daño		
	Ruptura				Ruptura		
	Volcamiento				Volcamiento		
DLAB	Sin daño			PSTR	Sin daño		
	Ruptura				Ruptura		
	Volcamiento				Volcamiento		
PFUR	Sin daño			PPOR	Sin daño		
	Ruptura				Ruptura		
	Volcamiento				Volcamiento		
AAGA	Sin daño			MAUR	Sin daño		
	Ruptura				Ruptura		
	Volcamiento				Volcamiento		
	Sin daño				Sin daño		
	Ruptura				Ruptura		
	Volcamiento				Volcamiento		
Basura/ Escombros Presentes: <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Fotos: <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO							
TIPO:	Redes pesca	Plástico	Cuerdas	Madera	Escombros terrestres	Otros:	
Número de piezas							
Información adicional: (Por ejemplo: condiciones del sitio, impactos, especies amenazadas)							

Microalga: Cianobacteria. Filamento: Cladophora, Wrangelia, Turf. Frondosa: Dictyota, Padina. Macrofitas: Laurencia, Acanthophora, Sargassum. Calcareo articulada: Halimeda, Udotea. CCA: Lithothamnion, Peyssonnelia

9. ANEXO 3: Tablas de presupuestos de actividades con precios a 2022

Evaluación primaria

Metodología de evaluación primaria Manta Tow			
Rubro	Ítem	Valor unitario	Cantidad
Personal	Líderes de jornada (x6 - 2 SAI, 4 PRV)	\$1.800.000	5
Auxiliares de campo (x6 - 2 SAI, 4 PRV)	Auxiliares de campo (x6 - 2 SAI, 4 PRV)	\$600.000	
Salidas de campo San Andrés	Lancha (combustible + capitán)	\$800.000	
Seguro de buceo x 4	Seguro de buceo x 4	\$16.000	
Refrigerio (x6 personas)	Refrigerio (x6 personas)	\$90.000	
Transporte terrestre (de materiales)	Transporte terrestre (de materiales)	\$50.000	
Salidas de campo Providencia	Lancha (combustible + capitán) x 2	\$1.600.000	
Seguro de buceo x 8	Seguro de buceo x 8	\$32.000	
Refrigerio (x12 personas)	Refrigerio (x12 personas)	\$180.000	
Transporte terrestre (de materiales)	Transporte terrestre (de materiales)	\$80.000	
Materiales y equipos	Materiales (Manta Tow, cuerda, tablas)	\$500.000	1
Equipos básicos (aletas, máscara, snorkel) x 12 evaluadores (4 SAI, 8 PRV)	Equipos básicos (aletas, máscara, snorkel) x 12 evaluadores (4 SAI, 8 PRV)	\$180.000	12

Gestión, administración y trámites	10%
Imprevistos	5%
TOTAL COP	\$33.019.000
TOTAL USD (cambio \$3900)	\$8.466

Metodología Evaluación Primaria Dron				
Rubro	Ítem	Valor unitario	Cantidad	Total
Personal	Piloto dron (por día)	\$500.000	1	\$700.000
	Auxiliar (por día)	\$200.000		
Registro y procesamiento de imágenes	Procesamiento de imágenes	\$500.000		\$1.300.000
	Alquiler de bote	\$800.000		
Viajes y viáticos	Tiquetes aéreos (Ida y vuelta x1 persona)	\$500.000	1	\$500.000
	Viáticos diarios (x1 persona)	\$200.000	2	\$400.000
Equipos	Disco sólido (almacenamiento información)	\$400.000	2	\$800.000
Gestión, administración y trámites		10%		\$370.000
Imprevistos		5%		\$185.000
TOTAL COP			\$4.255.000	
TOTAL USD (cambio \$3900)			\$1.091	

Evaluación secundaria

Evaluación secundaria				
Rubro	Ítem	Valor unitario	Cantidad	Total
Personal	Líderes de jornada (x2)	\$600.000	1	\$1.800.000
	Buzos especializados (x6)	\$1.200.000		
Salidas de campo	Lancha (combustible + capitán)	\$800.000		\$1.832.000
	Seguro de buceo x 8 buzos	\$32.000		
	Tanques - 25 tanques (8 buzos x 3 buceos + extra). Tanque: 12.000	\$300.000		
	Equipos (chaleco y regulador x8) (60.000 por equipo)	\$480.000		
	Refrigerio (x10 personas)	\$150.000		
	Transporte terrestre (de materiales y tanques)	\$70.000		
Materiales	Materiales (decámetros, tablas, etc.)	\$400.000	1	\$400.000
Gestión, administración y trámites		10%		\$403.200
Imprevistos		5%		\$201.600
TOTAL COP				\$4.636.800
TOTAL USD (cambio \$3900)				\$1.189

Respuesta primaria

Respuesta Primaria Remoción de Escombros								
Rubro	Ítem	Valor unitario	Cantidad Nivel 1	Total Nivel 1	Cantidad Nivel 2	Total Nivel 2	Cantidad Nivel 3	Total Nivel 3
Personal	Líderes de jornada (x2) - Líder de buceo y líder de superficie	\$600.000						
	Buzos especializados (x6)	\$900.000						
	Auxiliares de superficie (x5)	\$500.000						
Salidas de remoción de escombros	Lancha (combustible + capitán)	\$800.000						
	Seguro de buceo x 7 buzos	\$28.000	1	\$3.987.000	3	\$11.961.000	5	\$19.935.000
	Tanques - 22 tanques (7 buzos x 3 buceos + extra). Tanque: 12.000	\$264.000						
	Equipos (chaleco y regulador x7) (60.000 por equipo)	\$420.000						
	Refrigerio (x15 personas)	\$225.000						

Respuesta Primaria Remoción de Escombros								
Rubro	Ítem	Valor unitario	Cantidad Nivel 1	Total Nivel 1	Cantidad Nivel 2	Total Nivel 2	Cantidad Nivel 3	Total Nivel 3
	Transporte terrestre (materiales, tanques y residuos)	\$250.000						
Materiales	Materiales (guantes, baldes, cuerda, bolsas de levante)	\$700.000	1	\$700.000	1,3	\$910.000	1,5	\$1.050.000
	Gestión, administración y trámites	10%		\$468.700		\$1.287.100		\$2.098.500
	Imprevistos	5%		\$234.350		\$643.550		\$1.049.250
TOTAL COP				\$5.390.050		\$14.801.650		\$24.132.750
TOTAL USD (cambio \$3900)				\$1.382		\$3.795		\$6.188

Respuesta primaria Primeros Auxilios del Arrecife								
Rubro	Ítem	Valor unitario	Cantidad Nivel 1	Total Nivel 1	Cantidad Nivel 2	Total Nivel 2	Cantidad Nivel 3	Total Nivel 3
Salidas primeros auxilios del arrecife	Líderes de jornada (x2)	\$600.000	1	\$3.472.000	3	\$10.416.000	5	\$17.360.000
	Buzos especializados (x6)	\$1.200.000						
	Lancha (combustible + capitán)	\$800.000						
	Seguro de buceo x 8 buzos	\$32.000						

Respuesta primaria Primeros Auxilios del Arrecife

Rubro	Ítem	Valor unitario	Cantidad Nivel 1	Total Nivel 1	Cantidad Nivel 2	Total Nivel 2	Cantidad Nivel 3	Total Nivel 3
	Tanques - 25 tanques (8 buzos x 3 buceos + extra). Tanque: 12.000	\$300.000						
	Equipos (chaleco y regulador x8) (40.000 por equipo)	\$320.000						
	Refrigerio (x10 personas)	\$150.000						
	Transporte terrestre (de materiales y tanques)	\$70.000						
Salidas de monitoreo	Líderes de jornada (x2)	\$600.000						
	Buzos especializados (x4)	\$800.000						
	Lancha (combustible + capitán)	\$800.000						
	Seguro de buceo x 6 buzos	\$24.000	1	\$3.002.000	1	\$3.002.000	1	\$3.002.000
	Tanques - 19 tanques (6 buzos x 3 buceos + extra). Tanque: 12.000	\$228.000						
	Equipos (chaleco y regulador x8) (60.000 por equipo)	\$360.000						

Respuesta primaria Primeros Auxilios del Arrecife								
Rubro	Ítem	Valor unitario	Cantidad Nivel 1	Total Nivel 1	Cantidad Nivel 2	Total Nivel 2	Cantidad Nivel 3	Total Nivel 3
	Refrigerio (x8 personas)	\$120.000						
	Transporte terrestre (de materiales y tanques)	\$70.000						
Materiales	Materiales (guantes, cinceles, cemento, baldes, cuerda)	\$800.000	1	\$800.000	1,3	\$1.040.000	1,5	\$1.200.000
	Gestión, administración y trámites	10%		\$727.400		\$1.445.800		\$2.156.200
	Imprevistos	5%		\$363.700		\$722.900		\$1.078.100
TOTAL COP			\$8.365.100		\$16.626.700		\$24.796.300	
TOTAL USD (cambio \$3900)			\$2.144,90		\$4.263,26		\$6.358,03	

Respuesta secundaria

Respuesta secundaria				
Rubro	Ítem	Valor unitario	Cantidad	Total
Personal	Líderes de jornada (x2)	\$600.000	40	\$48.000.000
	Buzos especializados (x4)	\$600.000		
Salidas de campo (instalación, mantenimiento y monitoreo de guarderías & trasplante y monitoreo de colonias)	Lancha (combustible + capitán)	\$800.000		\$60.880.000
	Seguro de buceo x6	\$24.000		
	Tanques - 19 tanques (6 buzos x 3 buceos x por salida + extra). Tanque: 12.000	\$228.000		

Respuesta secundaria				
Rubro	Ítem	Valor unitario	Cantidad	Total
	Equipos (chaleco y regulador x8) (40.000 por equipo)	\$320.000		
	Refrigerio (x10 personas)	\$150.000		
	Transporte terrestre (de materiales y tanques)	\$50 000.00		
Materiales	Materiales instalación y alimentación de guardería flotante x 1000 fragmentos corales ramificados (tubos, cuerda, anclas)	\$2.000.000	1	\$8.200.000
	Materiales instalación y alimentación guardería de mesa x 4000 (4 microfragmentos = 1 colonia) microfragmentos corales masivos (muertos de cemento, varillas, malla)	\$3.000.000		
	Cortadora de diamante	\$2.500.000		
	Cuchilla de repuesto	\$200.000		
	Monitoreo y mantenimiento guarderías (cepillos, reemplazos materiales, tablas)	\$500.000		
	Trasplante de colonias (cemento, mangas pasteleras, baldes)	\$500 000.00		
Gestión, administración y trámites			10%	\$11.708.000
Imprevistos			5%	\$5.854.000
		TOTAL COP		\$134.642.000
		TOTAL USD (cambio \$3900)		\$34.524

Respuesta secundaria Reproducción Sexual				
Rubro	Ítem	Valor unitario	Cantidad	Total
1. Fase de preparación de sustratos				
Personal	Líderes de jornada (x2)	\$600.000		\$1.400.000
	Buzos especializados (x4)	\$800.000		
Salidas de campo	Lancha (combustible + capitán)	\$800.000	1	\$1.318.000
	Seguro de buceo x 6 buzos	\$24.000		
	Tanques - 7 tanques (6 buzos x 1 buceos + extra). Tanque: 12.000	\$84.000		
	Equipos (chaleco y regulador x6) (40.000 por equipo)	\$240.000		
	Refrigerio (x8 personas)	\$120.000		
	Transporte terrestre (de materiales y tanques)	\$50.000		
Materiales	Baldosas de cerámica (56x56 cm aprox.)	\$30.000	120	\$4.070.000
	Pliego papel lija	\$2.000	10	
	Taladro + pulidora	\$300.000	1	
	Cuerda 3mm (100m)	\$50.000	1	
	Varilla corrugada 1/2 pulgada x 6m	\$25.000	2	
	Almadana 8 lb	\$50.000	1	
			Subtotal	\$6.788.000
2. Fase observaciones de campo y colecta de gametos				
Personal	Líderes de jornada (x2)	\$600.000	4	\$7.200.000

Respuesta secundaria Reproducción Sexual				
Rubro	Ítem	Valor unitario	Cantidad	Total
	Buzos especializados (x6)	\$1.200.000		
Salidas de campo	Lancha (combustible + capitán)	\$800.000		\$5.840.000
	Seguro de buceo x 8 buzos	\$32.000		
	Tanques - 9 tanques (8 buzos x 1 buceos + extra). Tanque: 12.000	\$108.000		
	Equipos (chaleco y regulador x8) (40.000 por equipo)	\$320.000		
	Refrigerio (x10 personas)	\$150.000		
	Transporte terrestre (de materiales y tanques)	\$50.000		
Materiales	Tablas acrílicas	\$4.000	8	\$2.459.000
	Lápices de grafito	\$3.000	24	
	Boyas de marcaje (icopor)	\$15.000	20	
	Boyas de buceo	\$100.000	6	
	Etiquetas numeradas para colonias X 100	\$70.000	2	
	pita para boyas (icopor)	\$45.000	1	
	Colectores de gametos	\$100.000	6	
	Tubos falcon colectores (con tapa y graduados)	\$2.000	20	
	Bandeja frascos colectores	\$30.000	2	
	Silicona	\$20.000	1	
Pistola de silicona	\$40.000	1		

Respuesta secundaria Reproducción Sexual				
Rubro	Ítem	Valor unitario	Cantidad	Total
	Linterna submarina	\$170.000	3	
			Subtotal	\$15.499.000
3. Fase Fertilización y cría de embriones y larvas en piscina				
Personal	Líderes de jornada (x1)	\$300.000		\$4.200.000
	Buzos especializado (x2)	\$400.000		
Salidas de campo de mantenimiento (de costa)	Seguro de buceo x 3 buzos	\$12.000	6	\$1.650.000
	Tanques - 4 tanques (3 buzos x 1 buceo + extra). Tanque: 12.000	\$48.000		
	Equipos (chaleco y regulador x3) (40.000 por equipo)	\$120.000		
	Refrigerio (x3 personas)	\$45.000		
	Transporte terrestre (de materiales y tanques)	\$50.000		
Materiales	Caneca de agua filtrada	\$60.000	1	\$6.380.000
	Piscina flotante para larvas	\$3.000.000	1	
	Cuerda 6mm (100m)	\$70.000	1	
	Cuerda 10mm (100m)	\$120.000	1	
	Zunchos plásticos (paquete x100)	\$15.000	5	
	Anclaje tipo flecha	\$500.000	1	
	Recipiente separador de grasa (1 L)	\$185.000	6	
	Marcadores permanentes punta fina	\$26.000	1	

Respuesta secundaria Reproducción Sexual				
Rubro	Ítem	Valor unitario	Cantidad	Total
	Beaker graduado 1000 ml	\$35.000	5	
	Frasco lavador 500 ml	\$17.000	2	
	Jarra plástica 1 L	\$5.000	3	
	Caja organizadora plástica 48 L	\$45.000	3	
	caneca plástica 110 L (lavado colectores)	\$50.000	3	
	Cloro	\$10.000	20	
	Tiosulfato de sodio pentahidratado	\$260.000	1	
	Cepillos	\$5.000	6	
	Balde 12 L	\$18.000	2	
	Canastas plásticas	\$32.000	12	
			Subtotal	\$12.230.000
4. Fase de guarderías de larvas				
Personal	Líderes de jornada (x1)	\$300.000	4	\$3.600.000
	Buzos especializados (x3)	\$600.000		
Salidas de campo de mantenimiento (de costa)	Seguro de buceo x 4 buzos	\$16.000		\$1.384.000
	Tanques - 5 tanques (4 buzos x 1 buceo + extra). Tanque: 12.000	\$60.000		
	Equipos (chaleco y regulador x4) (40.000 por equipo)	\$160.000		
	Refrigerio (x4 personas)	\$60.000		

Respuesta secundaria Reproducción Sexual				
Rubro	Ítem	Valor unitario	Cantidad	Total
	Transporte terrestre (de materiales y tanques)	\$50.000		
Materiales	Tubos PVC 2" x 6m	\$65.000	2	\$2.062.000
	Tapa de tubo PVC	\$8.000	4	
	Uniones tubos PVC	\$5.000	12	
	Varilla metálica (barra redonda lisa ½" x 6m)	\$30.000	2	
	Tuerca + arandela 3/8 (x10 un)	\$7.000	120	
	Anclaje tipo flecha	\$500.000	2	
			Subtotal	\$7.046.000
5. Fase de trasplante de sustratos				
Personal	Líderes de jornada (x2)	\$600.000	3	\$5.400.000
	Buzos especializados (x6)	\$1.200.000		
Salidas de campo	Lancha (combustible + capitán)	\$800.000		\$4.668.000
	Seguro de buceo x 8 buzos	\$32.000		
	Tanques - 17 tanques (8 buzos x 2 buceos + extra). Tanque: 12.000	\$204.000		
	Equipos (chaleco y regulador x8) (40.000 por equipo)	\$320.000		
	Refrigerio (x10 personas)	\$150.000		
	Transporte terrestre (de materiales y tanques)	\$50.000		
Materiales	Cepillos	\$50.000	1	\$450.000

Respuesta secundaria Reproducción Sexual				
Rubro	Ítem	Valor unitario	Cantidad	Total
	Cemento y mangas pasteleras	\$300.000		
	Tanque 65 L	\$50.000	2	
			Subtotal	\$10.518.000
6. Fase monitoreo de sustratos (10% marcado - cada 3 meses/36 meses)				
Personal	Líderes de jornada (x2)	\$600.000	12	\$12.000.000
	Buzos especializados (x2)	\$400.000		
Salidas de campo	Lancha (combustible + capitán)	\$800.000		\$14.880.000
	Seguro de buceo x 8 buzos	\$32.000		
	Tanques - 9 tanques (4 buzos x 2 buceos + extra). Tanque: 12.000	\$108.000		
	Equipos (chaleco y regulador x4) (40.000 por equipo)	\$160.000		
	Refrigerio (x10 personas)	\$90.000		
	Transporte terrestre (de materiales y tanques)	\$50.000		
Materiales	Tablas acrílicas	\$4.000	5	\$1.320.000
	Linternas luz azul	\$650.000	2	
			Subtotal	\$26.880.000
Gestión, administración y trámites		10%		\$7.896.100
Imprevistos		5%		\$3.948.050
			TOTAL COP	\$90.805.150
			TOTAL USD (cambio \$3900)	\$23.283

Entrenamiento fotomosaicos				
Rubro	Ítem	Valor unitario	Cantidad	Total
Entrenamiento del personal	Honorarios, viajes y viáticos de experto en fotomosaicos. Salidas de campo de entrenamiento para cuatro profesionales locales	\$32.000.000		\$32.000.000
Software y equipos	Cámara Sony a6600	\$5.600.000	1	\$5.600.000
	Lente Rokinon 12mm	\$1.600.000		\$1.600.000
	Housing con domo (Seafrog)	\$3.000.000		\$3.000.000
	Licencia de software (Metashape)	\$14.000.000		\$14.000.000
	MacBook Pro 16"	\$16.000.000		\$16.000.000
Gestión, administración y trámites			10%	\$7.220.000
Imprevistos			5%	\$3.610.000
TOTAL COP				\$83.030.000
TOTAL USD (cambio \$3900)				\$21.290

Costos adicionales (a salidas de campo) Fotomosaicos				
Rubro	Ítem	Valor unitario	Cantidad	Total
Procesamiento de imágenes	Jornada de trabajo (1000 m ²)	\$500.000	4	\$2.000.000
Materiales campo	Materiales para marcación de parcelas (1000 m ²)	\$300.000	1	\$300.000
Gestión, administración y trámites			10%	\$230.000

Imprevistos	5%	\$115.000
TOTAL COP		\$2.645.000
TOTAL USD (cambio \$3900)		\$678

Monitoreo de la intervención (costo por salida)

Monitoreo de intervención				
Rubro	Ítem	Valor unitario	Cantidad	Total
Personal	Líderes de jornada (x2)	\$700.000	1	\$1.300.000
	Buzos especializados (x4)	\$600.000		
Salidas de campo (instalación, mantenimiento y monitoreo de guarderías & trasplante y monitoreo de colonias)	Lancha (combustible + capitán)	\$800.000		
	Seguro de buceo x6	\$24.000		
	Tanques - 19 tanques (6 buzos x 3 buceos x por salida + extra). Tanque: 12.000	\$228.000		
	Equipos (chaleco y regulador x8) (40.000 por equipo)	\$320.000		
	Refrigerio (x10 personas)	\$150.000		
Transporte terrestre (de materiales y tanques)	\$50 000.00			
Gestión, administración y trámites			10%	\$282.200

Monitoreo de intervención				
Rubro	Ítem	Valor unitario	Cantidad	Total
		Imprevistos	5%	\$141.100
TOTAL COP				\$3.245.300
TOTAL USD (cambio \$3900)				\$832

10. Anexo 4. Verificación de coberturas coralinas en campo como insumos para los protocolos de restauración luego de eventos climáticos extremos caso huracanes, aportes a línea base para el manejo.

Metodología:

Entre el 11 y el 22 de abril de presente año, se realizó la evaluación de 13 puntos alrededor de la isla de San Andrés y 21 puntos alrededor de la isla de Providencia y Santa Catalina, y a lo largo de su laguna arrecifal de barlovento. En la Tabla 1 se reportan las coordenadas finales de las estaciones evaluadas.

Para la obtención de las coberturas de sustrato, se llevó a cabo el método de estimación visual denominado Evaluación Ecológica Rápida (EER), usado para este mismo fin por CORALINA e INVEMAR (CORALINA-INVEMAR, 2018) para la generación de mapas de sustratos marinos. Dicha metodología consistió en observaciones visuales por parte de dos o más investigadores(as) en buceo o apnea, en un radio de observación de máximo 6m. A partir de esta observación, se anotó el porcentaje de cobertura de categorías bentónicas (Figura 1-A), promediando lo observado entre los buzos.

En cada punto, se lanzó una boya lastrada, que será el punto de referencia para la observación en radio. A continuación, se tomó el punto exacto en el GPS y se anotó la profundidad. Dependiendo de la profundidad y las condiciones, se accedió al punto en apnea o en buceo autónomo. Una vez hecha la observación, se anotó en una tabla con el formato de toma de datos (Figura 1) el porcentaje de cobertura de las categorías bentónicas: corales duros, octocorales, esponjas, zoantídeos, macroalgas (frondosas, calcáreas, incrustantes y tapete) y sustrato (duro, escombros, cascajo/arena). Además, se registró la rugosidad en una de las categorías de baja, media y alta. Para los corales duros, también se registró la cobertura relativa por especie. Además del registro de las especies del formato predeterminado, se anotaron especies adicionales.

En cada lugar se tomó registro videográfico para la visualización del paisaje (Folder online anexo: https://drive.google.com/drive/folders/1rz_M9pgOLCSc_Hh-r2KGGszAe4NoVP8P?usp=sharing) y varias fotografías de organismos conspicuos. El registro videográfico constó de un video de 360° del fondo marino, rotando sobre el mismo eje del punto en donde se lanzó la boya lastrada.

Las coordenadas de cada estación previamente marcada en el GPS fueron verificadas o modificadas en campo, de acuerdo con la accesibilidad y profundidad del sitio y la disponibilidad de sustrato a evaluar. En las tablas 1 y 2 se reportan las coordenadas finales y la profundidad registrada para cada estación en ambas islas.

Tabla 1. Coordenadas de estaciones evaluadas para verificación de coberturas de sustrato en la isla de San Andrés.

Lugar	Estación	Coordenadas		Prof
		N	W	
San Andrés	1	12°28'40.3"	081°43'44.1"	8.7
	2	12°29'38.6"	081°42'57.3"	6.8
	3	12°32'02.4"	081° 41'55.3"	3.3
	4	12°32'20.00"	081°41'08.9"	7.55
	5	12°33'30.1"	081°40'47.8"	1
	6	12°34'52.9"	081°41'10.3"	1.8
	7	12°35'18.19"	081°41'19.0"	3.1
	8	12°35'26.9"	081°40'54.0"	2.45
	9	12°35'06.2"	081°41'13.3"	3.1
	10	12°35'19.9"	081°42'59.5"	5
	11	12°32'37.4"	081°44'06.2"	13.6
	12	12°33'11.4"	081°44'12.2"	15.1
	13	12°35'21.5"	081°42'56.4"	12.3

En el caso de las islas de Providencia y Santa Catalina, se comprobaron todas las estaciones suministradas por la supervisión del contrato, sin embargo, por motivos de seguridad no se realizó la verificación de las coberturas de sustrato en aquellas estaciones que presentasen una profundidad superior a los 30 m de profundidad. Estas estaciones se presentan marcadas con asterisco.

Coordenadas de estaciones evaluadas para verificación de coberturas de sustrato en las islas de Providencia y Santa Catalina. *Estaciones con profundidades mayores a 30 m en las cuales no se pudo realizar la verificación.

Tabla 2. Coordenadas de estaciones evaluadas para verificación de coberturas de sustrato en las islas de Providencia y Santa Catalina. *Estaciones con profundidades mayores a 30 m en las cuales no se pudo realizar la verificación.

Lugar	Estación	Coordenadas		Prof
		N	W	
Providencia y Santa Catalina	1	13°28'56,3"	081°18'52,9"	9.5
	2	13°28'26,2"	081°19'36,4"	8.9
	3*	13°23'36,7"	081°19'6,6"	+30.0
	4	13°23'33,4"	081°20'11,6"	6.2
	5	13°23'33,4"	081°21'20,1"	3.9
	6	13°19'30,4"	081°21'37,4"	5.0
	7	13°20'33,4"	081°21'1,2"	3.4
	8*	13°16'47,1"	081°23'47,2"	+40.0
	9*	13°17'15,4"	081°24'12,9"	+30.0
	10	13°17'29,8"	081°24'0,5"	21.8
	11	13°19'06,2"	81°23'28,4"	8.1
	12	13°20'45,3"	081°24'2,6"	4.5
	13	13°18'59,6"	081°22'59,2"	7.8
	14	13°22'16,8"	081°24'14,6"	14.5
	15	13°22'16,8"	081°23'19,8"	4.2
	16	13°23'7,3"	081°23'5,0"	4.7
	17	13°25'19,9"	081°23'45,5"	13.1
	18	13°25'19,9"	081°22'11,4"	6.4
	19*	13°21'21,9"	081°19'40,8"	+30.0
	20	13°27'28,0"	081°22'11,6"	6.8
	21	13°27'24,5"	081°21'3,2"	3.5

A continuación, se relacionan las tablas con los datos obtenidos en las estaciones de San Andrés (Tablas 3 y 4) y de Providencia y Santa Catalina (Tablas 5 y 6). En cada punto o estación, se tomaron datos de sustrato y especies de coral duro. De esta última categoría, se anotaron todas las especies que se observaron en el rango designado. Esto incluyó las especies listadas en el formato predeterminado además de especies relativamente menos conspicuas o comunes. Dicho registro se reporta en tablas independientes para facilitar la lectura y corresponde a un indicativo. Todos los valores numéricos de las tablas corresponden a porcentaje de cobertura.

Tabla 3. Porcentaje de cobertura de sustrato obtenidos en la isla de San Andrés. Abreviaturas: C. duros= corales duros. C. blandos = corales blandos. Esp = esponjas. Frond = macroalgas frondosas. Calc/erec = macroalgas calcáreas o erectas. Tape = tapete algal. Duro = sustrato duro. Escom = escombros. Casc/arena = cascajo o arena. Rug = rugosidad. Obs = Observaciones.

Est.	C. duros	C. blandos	Esp	Zoan	Otrs	Macroalgas				Sustrato			Total	Rug	Obs
						Frond	Calc/erec	Incr	Tape	Duro	Escom	Casc/arena			
1	10	10	11	0	2.5	11	3.5	0	0	47	2.5	2.5	100	Baja	
2	25	9	21	0	2.5	25	0	0	0	17.5	0	0	100	Baja	
3	6.5	0	4	1	0	30	17.5	2.5	0	13.5	0	25	100	Media	
4	17.5	27.5	3.5	0	0	15	0	0	0	15	0	21.5	100	Media	
5	29.5	2	2	0	1.5	20	12	4	0	0	15	14	100	Baja	
6	0	0	0	0	84	15	0	0	0	0	1	0	100	Baja	Pastos
7	35	1	4	0	0	10	0	0	2.5	27.5	10	10	100	Media	
8	27.5	0	0	5	0	12.5	3.5	0	5	7.5	27.5	11.5	100	Media	
9	25	1.5	0	0	10	35	12.5	4	2.5	4.5	0	5	100	Media	
10	20	17.5	7.5	0	2.5	17.5	3.5	1.5	1.5	28.5	0	0	100	Baja	
11	17.5	15	9	0	0	25	5	0	10	5	10	3.5	100	Media	
12	22.5	27.5	11.5	1	1.5	15	4	6.5	0	5.5	0	5	100	Alta	
13	22.5	17.5	5.5	0.5	0	22.5	7.5	7.5	2.5	7.5	1.5	5	100	Alta	

Tabla 4. Especies de coral duro presentes en las estaciones de la isla de San Andrés. Porcentaje de cobertura de especies de coral observadas. Abreviaturas: APAL = *Acropora palmata*, ACER = *Acropora cervicornis*, SRAD = *Siderastrea radians*, PCLI = *Pseudodiploria clivosa*, PSTR = *Pseudodiploria strigosa*, PAST = *Porites atreoides*, PPOR = *Porites porites*, DLAB = *Diploria labyrinthiformis*, MCOM = *Millepora complanata*, MALC = *Millepora alcicornis*, OFAV = *Orbicella faveolata*, OANN = *Orbicella annularis*, OFRA = *Orbicella franksi*, AAGA = *Agaricia agaricites*, FFRA = *Favia fragum*, SSID = *Siderastrea sidérea*.

Est	APAL	ACER	SRAD	PCLI	PSTR	PAST	PPOR	DLAB	MCOM	MALC	OFAV	OANN	OFRA	AAGA	FFRA	SSID
1	0	0	10	5	25	10	0	0	2.5	7.5	0	0	0	0	0	32.5
2	0	0	2.5	5	46	12.5	0	0	7.5	0	6.5	0	0	0	0	20
3	0	0	0	0	7.5	45	0	0	30	2.5	0	0	0	12.5	0	0
4	0	0	12.5	15	12.5	2.5	2.5	0	1	1	13.5	2.5	0	5	0	25
5	0	0	2.5	0	0	14	0	15	6.5	0	10	0	0	9	1	0
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	57.5	0	1	5	3.5	12.5	0	4.5	7.5	0	0	0	0	7.5	0	1

8	7.5	25	0	1	17.5	22.5	5.5	0	17.5	0	0	0	0	0	3	0
9	9	5	0.5	5.5	19.75	10	5	0	17.5	2.5	0	10	0	11	0.5	3.5
10	0	0	2	0	26	12.5	0.5	15	5	2.5	0	0	0	9	0.5	16
11	0	0	1	0	10	7.5	2.5	4	0	1	17.5	0	1	15	0	20
12	0	0	2.5	2.5	6	4.5	1	1	2.5	1.25	10	4.5	1	8.5	0.5	15
13	0	2.5	0	0	16.5	8.5	0	7.5	1	3	19	10	0	9	0.5	1.5

... **Continuación Tabla 4.** Especies de coral duro presentes en las estaciones de la isla de San Andrés. Porcentaje de cobertura de especies de coral observadas, y sumatoria total de coberturas. Abreviaturas: AGA: *Agaricia* spp., AHUM = *Agaricia humilis*, CNAT = *Colpophyllia natans*, DSTO = *Dichocoenia stokesi*, EFAS = *Eusmilia fastigiata*, IRIG = *Isophyllia rigida*, ISIN = *Isophyllia sinuosa*, MAUR = *Madracis auretenra*, MCAV = *Montastraea cavernosa*, MMEA = *Meandrina meandrites*, MYCE = *Mycetophyllia* sp. PDIV = *Porites divaricata*, SINT = *Stephanocoenia intersepta*.

Est.	AGA	AHUM	CNAT	DSTO	EFAS	IRIG	ISIN	MAUR	MCAV	MMEA	MYCE	PDIV	SINT	TOTAL
1	0	0	0	0	0	0	0	0	7.5	0	0	0	0	100

2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
3	0	0	0	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
4	0	0	0	0.5	0	0	0	0	6.5	0	0	0	0	100
5	5	0	0	0	0	0	0	37	0	0	0	0	0	100
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
8	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
9	0	0	0	0.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
10	0	0	0	0	0	0	3.5	0	7.5	0	0	0	0	100
11	0	0	1	0	1	1	2.5	0	15	0	0	0	0	100
12	7.5	0	12.5	0	0.75	0.5	1.5	0	15	0.5	0	0	1	100
13	1	0	10	0	0	0	0	0	2	0	4	4	0	100

Tabla 5. Porcentaje de cobertura de sustrato obtenidos en la isla de San Andrés. Abreviaturas: C. duros= corales duros. C. blandos = corales blandos. Esp = esponjas. Frond = macroalgas frondosas. Calc/erec = macroalgas calcáreas o erectas. Tape = tapete algal. Duro = sustrato duro. Escom = escombros. Casc/arena = cascajo o arena. Rug = rugosidad. Obs = Observaciones. *Estaciones con profundidades mayores a 30 m en las cuales no se pudo realizar la verificación.

Est.	C. duros	C. blandos	Esp	Zoan	Otrs	Macroalgas				Sustrato			Total	Rug	Obs
						Frond	Calc/erec	Incr	Tape	Duro	Escom	Casc/arena			
1	10	2	8	2	0	55	5	0	3	10	0	5	100	Baja	
2	8	2	2	0	1	20	2	0	5	0	0	60	100	Media	
3*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	16	3	0	1	0	30	5	15	0	10	0	20	100	Baja	
5	7	5	1	0	0	50	20	0	2	0	0	15	100	Media	
6	30	5	5	0	1	30	2	0	0	0	2	25	100	Media	
7	3	1	0	0	1	40	15	5	0	0	5	30	100	Media	
8*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	1	20	12.5	0	0	5	0	0	2	0	0	59.5	100	Baja	
11	0	0	0	0	90	0	0	0	0	0	0	10	100	Baja	Pastos
12	4	10	5	0	1	37.5	17.5	0	0	10	0	14	100	Baja	
13	44.5	4.5	3	0	0	11	2	1	2.5	0	2.5	29	100	Media	
14	0	0	0	0	20	50	0	0	0	0	0	30	100	Baja	Pastos
15	0	0	0	0	95	5	0	0	0	0	0	0	100	Baja	Pastos

16	22.5	22.5	5	1	0	22.5	2	3.5	7	7	5	2	100	Media
17	5	10	5	0	0	10	0	15	5	10	0	40	100	Baja
18	15	10	5	0	0	40	5	5	0	0	5	15	100	Media
19*														
20	10	20	2	0	0	35	0	0	1	20	10	2	100	Baja
21	5	5	5	0	0	50	5	0	0	0	0	20	100	Baja

Tabla 6. Especies de coral duro presentes en las estaciones de la isla de Providencia y Santa Catalina. Porcentaje de cobertura de especies de coral observadas. Abreviaturas: APAL = *Acropora palmata*, ACER = *Acropora cervicornis*, SRAD = *Siderastrea radians*, PCLI = *Pseudodiploria clivosa*, PSTR = *Pseudodiploria strigosa*, PAST = *Porites atreoides*, PPOR = *Porites porites*, DLAB = *Diploria labyrinthiformis*, MCOM = *Millepora complanata*, OFAV = *Orbicella faveolata*, OANN = *Orbicella annularis*, AAGA = *Agaricia agaricites*, FFRA = *Favia fragum*, SSID = *Siderastrea siderea*, AGA = *Agaricia* spp.
*Estaciones en las que se realizó la evaluación, pero no se observó ninguna especie de coral duro.

Est	APAL	ACER	SRAD	PCLI	PSTR	PAST	PPOR	DLAB	MCOM	OFAV	OANN	AAGA	FFRA	SSID	AGA
1	0	0	10	25	20	10	0	0	10	0	0	5	0	20	0
2	0	0	0	0	0	15	0	10	5	0	0	15	1	40	0
4	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	10	35	1	0	4
5	0	0	8	0	0	4	0	0	0	0	0	5	0	80	0
6	0	0	0	0	3	0	5	7	0	45	30	0	0	0	0
7	0	0	0	0	5	25	1	0	0	15	5	2	0	47	0
10	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

12	0	0	10	0	0	22	5	0	5	0	0	12	0	35	0
13	0	0	1	0	3	5	0	5	2	15	44	5	2	7	0
14*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	0	0	0	0	0	25	5	5	10	2	30	0	13	1	0
17	0	0	0	20	0	9	5	5	0	5	5	0	0	0	0
18	0	0	0	0	5	15	15	15	0	2	0	38	5	0	0
20	0	0	5	0	15	5	5	5	0	0	0	5	5	2	0
21	0	0	10	0	2	29	29	0	0	0	0	0	2	0	0

... **continuación Tabla 6.** Especies de coral duro presentes en las estaciones de la isla de Providencia y Santa Catalina. Porcentaje de cobertura de especies de coral observadas, y sumatoria total de coberturas. Abreviaturas: AHUM = *Agaricia humilis*, CNAT = *Colpophyllia natans*, DSTO = *Dichocoenia stokesi*, DCYL = *Dendrogyra cylindrus*, MAUR = *Madracis auretenra*, MCAV = *Montastraea cavernosa*, MMEA = *Meandrina meandrites*, MANI = *Manicina* sp. PDIV = *Porites divaricata*, SINT = *Stephanocoenia intersepta*. *Estaciones en las que se realizó la evaluación, pero no se observó ninguna especie de coral duro.

Est.	AHUM	CNAT	DSTO	DCYL	MAUR	MCAV	MMEA	MANI	PDIV	SINT	TOTAL
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
2	0	0	5	0	0	0	0	0	9	0	100

4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
5	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	100
6	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	100
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
11*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
12	0	0	0	0	0	5	0	1	0	5	100
13	0	0	0	1	0	10	0	0	0	0	100
14*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
15*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
16	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	100
17	0	0	0	0	0	55	0	1	0	0	100
18	0	0	0	5	0	5	0	0	0	0	100
20	0	0	0	0	0	30	3	0	0	5	100
21	0	0	2	0	5	0	0	0	0	0	100

En San Andrés, la estación 6 correspondió a una pradera de pastos marinos mixtos con un alto porcentaje de macroalgas frondosas (Tabla 3). Por su parte, las estaciones 11, 14 y 15 de Providencia y Santa Catalina corresponden también a praderas de pastos marinos. Las estaciones 11 y 15 eran praderas mixtas conformadas por las especies *Thalassia testudinum* y *Syringodium filiforme*, mientras que la pradera de la estación 14 presentaba únicamente *Syringodium filiforme*.

Es importante resaltar que para las islas de Providencia y Santa Catalina se observan aún los impactos de los huracanes IOTA y ETA sobre los arrecifes coralinos, especialmente en las estaciones 6 y 10, estaciones en las que se registró la presencia de corales duros y blandos volcados y desprendidos del sustrato. En el caso de la isla de San Andrés, también se observaron algunas colonias de coral duro volcados, especialmente en estaciones como la 12 y 13, las cuales se encuentran ubicadas en el lado oeste de la isla.

Referencias:

CORALINA-INVEMAR, (2018). Levantamiento de información biofísica marino costera para la gestión ambiental del Departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina CORALINA. Convenio Especial de Cooperación No. 002 de 2018. ITF. INVEMAR- CORALINA, Santa Marta, 318 p. + 3 anexos (Mapa y CD-ROM).