

Inveemar

PROYECTO INAP

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE ADAPTACIÓN EN LAS ÁREAS INSULARES DEL CARIBE CONTINENTAL COLOMBIANO

**Lineamientos para un Plan de Manejo de arrecifes coralinos del Área
Marina Protegida Corales del Rosario, San Bernardo e Isla Fuerte en**



INFORME TÉCNICO FINAL

**Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras
José Benito Vives De Andrés**

Vinculado al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

Santa Marta, septiembre de 2009

Lineamientos para un Plan de Manejo de arrecifes coralinos del Área Marina Protegida Corales del Rosario, San Bernardo e Isla Fuerte en el contexto de Cambio Climático

Preparado por:

Kelly Gómez Campo
Tomás López Londoño
Investigadores SIMAC / INAP
Consultores

Supervisor:

David Alejandro Alonso Carvajal
Coordinador Programa Biodiversidad y Ecosistemas Marinos
(BEM)

Apoyo técnico

Diana Isabel Gómez López
Coordinadora Línea Organización y Dinámica de Ecosistemas
(ODI)

Ángela López-Rodríguez
Coordinadora Línea Técnicas e Instrumentos de Planificación (TIP)

Raúl Navas Camacho
Coordinador Sistema Nacional de Monitoreo de Arrecifes Coralinos
en Colombia (SIMAC)

Septiembre de 2009 - Santa Marta - Colombia

Imagen portada: blanqueamiento de un arrecife coralino en las Islas del Rosario. Fotografía tomada por Jaime Garzón Ferreira



INVEMAR - Cerro Punta de Betín, Santa Marta – Colombia
, Apartado Aéreo 1016,
Tel: (57) (5) 4211380 – 4214774, Fax: (57) (5) 4312986
<http://www.invemar.org.co>

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE TABLAS.....	v
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 MARCO CONCEPTUAL.....	5
2.1 Arrecifes coralinos.....	5
2.1.1 Valor.....	6
2.1.2 Distribución y extensión.....	8
2.1.2.1 Complejo arrecifal de isla Fuerte, bajo Bushnell y bajo Burbujas.....	9
2.1.2.2 Complejo arrecifal del archipiélago de San Bernardo.....	11
2.1.2.3 Complejo arrecifal del archipiélago Nuestra Señora del Rosario.....	13
2.1.3 Problemática ambiental.....	16
2.2 Cambio climático global.....	19
2.2.1 Amenazas del cambio climático y posibles impactos en los arrecifes coralinos.....	20
2.2.1.1 Aumento en la temperatura superficial del mar (TSM).....	20
2.2.1.2 Acidificación de los océanos.....	23
2.2.1.3 Aumento del nivel del mar.....	24
2.2.1.4 Cambios en la precipitación.....	25
2.3 Aspectos legales e institucionales.....	26
2.3.1 Medio ambiente y desarrollo.....	26
2.3.2 Gases invernadero y cambio climático.....	30
2.4 El reto de la adaptación.....	31
3 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL.....	33
3.1 Características generales del área.....	33
3.1.1 Ubicación geográfica.....	33
3.1.2 Clima.....	35
3.1.3 Oceanografía.....	35
3.1.4 Hidrografía.....	36
3.1.5 Geología.....	36

3.2	Problemas ambientales e impactos sobre los arrecifes del área	37
3.2.1	Anomalías térmicas: TSM	38
3.2.2	Sobrepesca	40
3.2.3	Degradación de la calidad del agua	42
3.2.4	Turismo masivo y desarrollo costero	47
3.3	Causas raíces de los impactos	52
4	LINEAMIENTOS PARA UN PLAN DE MANEJO DE ARRECIFES CORALINOS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO	53
4.1	Actores involucrados	55
4.2	Objetivo	56
4.3	Visión	57
4.4	Líneas de acción	57
4.4.1	Protección de áreas aparentemente resistentes y potencialmente resilientes	59
4.4.2	Disminución de agentes causantes de estrés en el ecosistema coralino ...	71
4.4.3	Implementación de una red de zonas prioritarias de conservación al interior del AMP	75
4.4.4	Instrumentos de planificación para el manejo	78
5	REFERENCIAS	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de las principales formaciones arrecifales alrededor del mundo (tomado de Science Online , 2006).	8
Figura 2. Vista representativa de ambientes arrecifales en el costado occidental de isla Fuerte.	10
Figura 3. Vista representativa de las formaciones coralinas en la terraza superior de bajo Bushnell.	11
Figura 4. Ubicación del archipiélago de San Bernardo y de las principales islas y bajos que lo conforman (LabSI, INVEMAR).	12
Figura 5. Vista representativa de ambientes arrecifales en el archipiélago de San Bernardo: costado norte de isla Mangle (izquierda) y noroccidental de la isla Ceycen (derecha).	13
Figura 6. Ubicación del archipiélago Nuestra Señora del Rosario y de las principales islas y bajos que lo conforman (LabSI, INVEMAR).	14
Figura 7. Vista representativa de ambientes arrecifales en el archipiélago Nuestra Señora del Rosario: costado norte de las islas Rosario y Tesoro (superior- izquierda y derecha), y costado sur de las islas Pavitos y Tesoro (inferior- izquierda y derecha).....	15
Figura 8. Ubicación y delimitación del AMP-CRSBeIF (Tomado de Alonso y Castillo, 2007).....	34
Figura 9. Impacto generado por el blanqueamiento de 2005 en el AMP-CRSBeIF. (a.) Paisaje submarino con un alto número de colonias blanqueadas. (b.) Colonia de <i>Montastraea faveolata</i> totalmente blanqueada; se observa en la parte superior tejido coralino recién muerto con inicio de colonización por algas. (c.) Corales <i>Acropora palmata</i> recién muertos durante el evento. (d. y e.) Seguimiento de los investigadores Diego L. Gil-Agudelo y Jaime Garzón-Ferreira de una colonia blanqueada de <i>Diploria labyrinthiformis</i> en agosto de 2005 y octubre de 2005, respectivamente. (f.) Reevaluación de la misma colonia en el marco del proyecto INAP en mayo de 2009.....	39
Figura 10. Colonia coralina aparentemente afectada por métodos de pesca destructivos como la dinamita.....	41
Figura 11. Esquema general de las líneas de acción e instrumento de planificación para el manejo de arrecifes coralinos en el contexto de cambio climático, AMP-CRSBeIF.....	58

Figura 12. Árbol de decisiones para identificar áreas potencialmente resilientes al interior de AMPs en un escenario de cambio climático (modificado de Done, 2001; Marshall y Schuttenberg, 2006).68

Figura 13. Diagrama que contextualiza la relación entre el manejo efectivo de los tensores generados por actividades humanas (sobrepesca, degradación de la calidad del agua y el turismo masivo y desarrollo costero) y los impactos generados del cambio climático. En un sistema ideal, la estabilidad del ecosistema sería menos afectada si en un escenario de cambio climático los tensores antropogénicos son manejados efectivamente.72

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Lista detallada de las principales amenazas sobre los arrecifes coralinos del Caribe y Pacífico colombiano (modificado de Garzón-Ferreira <i>et al.</i> , 2003)	18
Tabla 2. Identificación de las condiciones que generan un impacto sobre los arrecifes coralinos en los diferentes sectores que comprenden el AMP. 0: no hay impacto 1: impacto bajo, 3: impacto medio, 5: impacto alto (2 y 4 son niveles intermedios). NI: no se dispone de información, NA: no aplica (modificado de Alonso y Castillo, 2007).	50
Tabla 3. Matriz de funciones institucionales y autoridades con competencia funcional y territorial en el AMP (tomado de Alonso y Castillo, 2007).	56
Tabla 4. Listado de factores que se conocen le confieren resiliencia a un área coralina. A cada factor se le deberá otorgar un valor de acuerdo a su condición en cada sitio: (1) mala; (3) regular; (5) buena; (ND) no hay información.....	70
Tabla 5. Tipos de área con atributos ecológicos estratégicos en el funcionamiento del ecosistema coralino.	76

1 INTRODUCCIÓN

Las actividades asociadas al desarrollo de la humanidad están afectando directamente el ambiente en una escala global, alterando el equilibrio de ecosistemas terrestres y marinos e induciendo un deterioro generalizado percibido desde hace algunas décadas. El Cambio Climático Global se une a la larga lista de factores ambientales y es considerado por muchos como una de las amenazas más serias que atenta contra el bienestar de la humanidad y de ciertos ecosistemas naturales.

Ante esta situación, y teniendo en cuenta la alta vulnerabilidad de Colombia ante los impactos potenciales del cambio climático (IDEAM, 2000), se hace urgente la implementación y ajuste de estrategias de manejo en los programas nacionales de desarrollo, orientadas a mejorar la capacidad de adaptación de ecosistemas altamente sensibles a la variabilidad climática. Los lineamientos de manejo, como estrategia de adaptación, requieren de la formulación de proyectos piloto de investigación que permitan comprender como las medidas de manejo frente al cambio climático pueden ser efectivamente implementadas.

Partiendo de esta necesidad, se formuló el “Proyecto Piloto Nacional de Adaptación al Cambio Climático (INAP, por sus siglas en Inglés)”, una iniciativa del Banco Mundial que tiene como objetivo apoyar los esfuerzos de Colombia para la conservación de ecosistemas y bienes estratégicos (entre los que se incluyen ecosistemas de alta montaña, áreas insulares y salud humana), a través de la definición e implementación de medidas piloto de adaptación y opciones de política para prever anticipadamente los impactos del cambio climático. El conocimiento y la experiencia adquirida a través de numerosos proyectos de mitigación y adaptación al cambio climático apoyados por el Banco Mundial, han sido útiles para la definición e implementación de dichas medidas. El proyecto INAP proporciona igualmente información y conceptos de gran valor a nivel mundial sobre la problemática ambiental del cambio climático y la forma de responder

anticipadamente a los pronósticos, así como de la efectividad de las medidas de adaptación que se tomen para cumplir con las metas de conservación.

El arrecife coralino es uno de los ecosistemas más sensibles frente a cambios en el sistema climático, debido a la susceptibilidad de los corales ante variaciones de temperatura y/o condiciones físico-químicas del medio marino (Hoegh-Guldberg, 1999; Kleypas y Hoegh-Guldberg, 2008; Graham *et al.*, 2008). Así, el aumento de la temperatura superficial del agua, la acidificación de los océanos, el aumento del nivel del mar y la mayor intensidad de eventos climáticos y meteorológicos extremos, como condiciones ligadas al cambio climático, representan un impacto potencial para los arrecifes coralinos y los recursos asociados a ellos. Este ecosistema estratégico, reconocido históricamente por la importancia de sus funciones ecológicas y la variedad de bienes y servicios que proporcionan a la humanidad, depende de la gran productividad, riqueza y complejidad estructural, que a su vez, da lugar a hábitats diversos empleados por un amplio número de especies marinas. Por estas mismas características, el ser humano se ha beneficiado históricamente de ellos, empleándolos como fuente de recursos, turismo y recreación.

Teniendo en cuenta el valor económico y ecológico de los arrecifes coralinos y la creciente degradación ambiental percibida desde hace algunas décadas en ellos, así como en otros ecosistemas y recursos costeros, se reconoció en la Reunión Cumbre de Río en el año 1992 la necesidad de formular e implementar planes integrales de manejo costero para todas las naciones ribereñas. Una de las estrategias más empleadas en modelos internacionales de desarrollo para la conservación de áreas y ecosistemas marinos amenazados, ha sido la creación de sistemas representativos de áreas marinas protegidas (AMPs) dentro de un marco de gestión y manejo integrado (Manejo Integrado de Zonas Costeras o MIZC). Dicho modelo ha sido adoptado gradualmente por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), declarando una serie de áreas protegidas e implementando sus respectivos Planes de Manejo, en los cuales, se formulan acciones para el control de prácticas extractivas no sostenibles que amenazan ecosistemas presentes y el bienestar futuro de las comunidades. La estrategia contempla acciones que buscan balancear el desarrollo de las actividades socioeconómicas sin comprometer el potencial y la protección de los recursos naturales en el área (Pineda *et al.*, 2006).

En Colombia, el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo (PNNCRSB), con una extensión aproximada de 120.000 ha, es la única área protegida de carácter submarino, constituida principalmente por el complejo coralino de mayor desarrollo geomorfológico y estructural del Caribe continental colombiano (Díaz *et al.*, 2000; Pineda *et al.*, 2006). El área, conformada por un conjunto de islas agrupadas en dos archipiélagos, es considerada como ecosistema especial a nivel mundial por la presencia de ecosistemas marinos y terrestres de gran productividad natural y diversidad biológica. Isla Fuerte es una pequeña porción terrestre emergida al suroeste del PNNCRSB, con formaciones coralinas que presentan una extensión significativamente menor en comparación con las del PNNCRSB pero igualmente importantes debido a su papel en la subsistencia de las comunidades locales (principalmente pesca y buceo recreativo) (Díaz *et al.*, 2000).

Sin embargo, tras haber detectado un continuo y acelerado deterioro de los ecosistemas y la biota en el PNNCRSB, se vio la necesidad de formular medidas de manejo para las áreas adyacentes o “área de amortiguación”; a través de la creación de un Área Marina Protegida como herramienta para el Manejo Integrado de la Zona Costera. Así, el MAVDT dispuso llevar a cabo la elaboración de un “Modelo de Desarrollo Sostenible” (reglamentación aun no es expedida) que integró los archipiélagos de San Bernardo y Nuestra Señora del Rosario y el complejo arrecifal de isla Fuerte. Ésta acción se realizó a través de la Resolución 456 de 2003, donde se plantean medidas que permiten la restauración, conservación, manejo y uso sostenible de los ecosistemas y recursos naturales como apoyo al desarrollo económico, social y ambiental de las comunidades locales.

Como producto del modelo se declaró el Área Marina Protegida Corales del Rosario, San Bernardo e Isla Fuerte a través de la Resolución 679 de 2006 del MAVDT, lo que requirió un análisis integral orientado a la estructuración de un Plan de Manejo, el cual está actualmente en proceso de implementación.

La ubicación, extensión, situación actual y principales causas de deterioro de los diferentes ecosistemas marinos al interior del área de estudio, están bien identificados en el actual Plan de Manejo (Alonso y Castillo, 2007), en el que se presentan los respectivos lineamientos y directrices para mitigarlos y alcanzar las metas de conservación. Sin

embargo, los posibles impactos del Cambio Climático sobre los ecosistemas y la biodiversidad, con las respectivas medidas de manejo y adaptación ante ellos, no se han establecido aún. Debido a los numerosos estudios que demuestran la ocurrencia de un proceso de cambio climático a nivel global, y a la relevancia de los posibles impactos asociados a ecosistemas altamente sensibles, como los arrecifes coralinos, es urgente la integración de estos nuevos conceptos en la implementación de planes de manejo en áreas protegidas.

En éste sentido, en el marco del proyecto INAP (componente C insular), el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR a través del Sistema Nacional de Monitoreo de Arrecifes Coralinos en Colombia SIMAC, pretende diseñar un programa de adaptación al cambio climático en áreas insulares del Caribe colombiano, específicamente para el AMP CRSBeIF. Así, el presente documento recopila los fundamentos y bases necesarias para el desarrollo de lineamientos de manejo en un escenario de cambio climático, como base fundamental, para la formulación de un Plan de Manejo de Arrecifes Coralinos; el cual será incorporado en el ya existente plan de manejo del AMP-CRSBeIF. Se espera que dichas acciones contribuyan en la conservación de los arrecifes coralinos, como ecosistema altamente sensible, ante los impactos del CCG.

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 Arrecifes coralinos

Los arrecifes coralinos son estructuras biogénicas rígidas, de relieve complejo, compuestas por el esqueleto carbonatado de numerosos organismos, entre los que se encuentran moluscos, algas, esponjas, poliquetos, y principalmente, corales. La consistencia de los arrecifes es lo bastante sólida como para resistir la energía del oleaje y mantenerse estable en el tiempo, determinando considerablemente las características del paisaje y la ecología del ambiente circundante, características que les han permitido generar una gran variedad de hábitats seguros para el asentamiento y proliferación de la vida marina (Schuhmacher, 1978; Achituv y Dubinsky, 1990; Birkeland, 1997). Desde su aparición hace varios millones de años, la distribución de los arrecifes coralinos ha variado notablemente en el tiempo como consecuencia de los cambios ambientales ocurridos durante las diferentes eras geológicas. En la actualidad, se desarrollan con mayor dinamismo en aguas claras e iluminadas de la zona costera de mares tropicales en particular alrededor de islas y bajos localizados lejos de las descargas continentales, con un rango de temperatura óptima entre 26 y 28 °C (Hubbard, 1997).

Los corales pétreos son la estructura básica del ecosistema arrecifal; están compuestos por invertebrados coloniales de vida sésil pertenecientes al grupo de los celenterados (órdenes Scleractinia y Milleporina), cuyo imperceptible crecimiento a lo largo de cientos o miles de años ha dado lugar a estructuras increíblemente complejas que conforman los arrecifes. Simplificando al máximo, encontramos que los corales están formados por minúsculos pólipos unidos a estructuras calcáreas duras y frágiles, construidas por ellos mismos (Ferrari y Ferrari, 2002). Algunas de las formas que adoptan las colonias construidas por estos organismos son: masivas (colonias que han desarrollado una tercera dimensión, extendiéndose fuera del sustrato en forma de domo o montículo, sin ramas), incrustantes (colonias que crecen lateralmente y permanecen planas adoptando la forma del sustrato), ramificadas (formas erectas con extensiones laterales o ramas) y foliáceas (colonias en forma de plato o de hoja). La cobertura de tejido coralino vivo

potencialmente constructor se restringe a unos escasos milímetros sobre las estructuras calcáreas, siendo particularmente vulnerable a disturbios naturales y efectos de actividades antrópicas (Birkeland, 1997).

En el sustrato calcáreo producido por los pólipos coralinos y las innumerables grietas y cuevas resultantes de la erosión posterior del arrecife, encuentran refugio miles de especies de otros grupos diversos, atribuyéndole al ecosistema un alto potencial biodiverso. El complejo estructural del arrecife coralino puede alcanzar grandes magnitudes que oscilan entre varios metros de espesor y miles de kilómetros de extensión, encontrando a lo largo del mundo grandes barreras coralinas o incluso islas enteras formadas a partir del crecimiento de corales (Birkeland, 1997). Además de ser fuente de refugio para numerosos organismos, los arrecifes protegen la línea costera contra la erosión de las olas y corrientes marinas.

Generalmente los corales pétreos, presentan una relación simbiótica esencial con algas unicelulares microscópicas llamadas “zooxantelas”, que se alojan al interior del tejido coralino. A través de la fotosíntesis, las algas aportan a los pólipos sustancias energéticas básicas, eliminando al mismo tiempo compuestos potencialmente tóxicos producidos por el coral. Gracias a ésta eficiente relación, la productividad primaria en los arrecifes es sorprendentemente elevada para un ecosistema que se desarrolla en aguas pobres en nutrientes (Muller-Parker y D’Elia, 1997; Ferrari y Ferrari, 2002).

2.1.1 Valor

Los arrecifes de coral conforman uno de los ecosistemas más destacados y valiosos del planeta gracias a su enorme biodiversidad (equiparada únicamente por la de los bosques tropicales), su elevada productividad, sus apreciados recursos pesqueros y su espectacular belleza escénica (Birkeland, 1997; Garzón-Ferreira, 1997). El asentamiento de los arrecifes coralinos en las regiones tropicales, ha permitido que por milenios sus recursos sean empleados como fuente de sustento para poblaciones ribereñas. Muchas de ellas han subsistido tradicionalmente de la pesca en áreas arrecifales, de donde se extraen recursos de gran valor como langostas, cangrejos, pulpos, caracoles, pargos, meros, chernas, etc. La importancia de los arrecifes para la pesca industrial y artesanal radica, no solo en el valor comercial de numerosas especies asociadas directamente al

ecosistema, sino por el alimento que proporcionan eventual o permanentemente a especies comerciales de amplia distribución.

La espectacularidad del paisaje costero y submarino asociado a los arrecifes coralinos genera ganancias del orden de varios millones de dólares en la industria turística, siendo el ecosistema coralino una fuente económica potencial para el desarrollo de las zonas costeras y la generación de empleos. Adicionalmente, las barreras arrecifales cercanas a las costas han protegido la línea costera de la erosión causada por olas y corrientes, e incluso de eventos climáticos extremos como huracanes y tormentas. En un futuro, los arrecifes podrán proporcionar nuevas fuentes de bienestar para la humanidad, especialmente con el desarrollo de productos farmacéuticos (Birkeland, 1997; Garzón-Ferreira, 1997; Spalding *et al.*, 2001; Wilkinson y Souter, 2008).

Debido al valor ecológico y económico de los arrecifes coralinos en el PNNCRSB y en el AMP-CRSBeIF, los arrecifes coralinos fueron declarados como el principal objeto de conservación dentro de los planes de manejo. En dichas áreas, la principal actividad de subsistencia tradicional relacionada con este ecosistema, ha sido la pesca desarrollada a niveles artesanales y semi-industriales. En el archipiélago Nuestra Señora del Rosario, la pesca se realiza con fines de subsistencia y fines comerciales, con cerca del 80% de las familias dedicadas a esta labor (aunque alternando con actividades complementarias). Igualmente, en el archipiélago de San Bernardo la pesca es considerada una de las principales actividades económicas realizada con fines comerciales y de subsistencia. Las áreas donde se desarrolla la pesca son principalmente los bajos coralinos distribuidos ampliamente a lo largo de los Archipiélagos (UAESPNN, 2003).

Hoy en día, también existe otra actividad económica de subsistencia muy relacionada con los arrecifes coralinos, como lo es el turismo, el cual promete aumentar vertiginosamente. En isla Fuerte, por ejemplo, el buceo deportivo cumple hoy en día una función importante para la subsistencia de familias locales, reemplazando gradualmente otras actividades tradicionales como la pesca (Díaz *et al.*, 2000). Por su parte, en los archipiélagos de San Bernardo y Nuestra Señora del Rosario las características paisajísticas singulares de los ecosistemas marinos (principalmente blancas playas y fondos coralinos) representan un gran atractivo para turistas. Actualmente se encuentra una amplia variedad de ofertas turísticas para el esparcimiento y la recreación, que ocupan un importante renglón en el

desarrollo de la economía local. La extracción de coral (a pesar de ser una actividad prohibida en el AMP-CRSBeIF, también ha sido considerada como una fuente de ingreso al ser comercializados sin mayor control dentro del turismo local (Pineda *et al.*, 2006; Alonso y Castillo, 2007).

2.1.2 Distribución y extensión

Los arrecifes coralinos se distribuyen mundialmente en la franja tropical (Figura 1), encontrando diferentes tipos de formaciones. Grandes formaciones coralinas se distribuyen en el Indo-Pacífico y en el Mar Rojo, encontrando en ellas principalmente arrecifes de tipo 'franjeante', cuyo desarrollo ocurre a lo largo de la línea de costa. Otro tipo de arrecifes muy común en el Indo-Pacífico son los 'atolones', los cuales corresponden a formaciones coralinas que se levantan desde aguas profundas hasta la superficie y encierran una laguna circular. La Gran Barrera de Coral en Australia contiene el arrecife en forma de 'barrera' más largo y conocido en el mundo, extendiéndose unos 2000 km paralelos a la costa oriental del continente (Achituv y Dubinsky, 1990; Díaz *et al.*, 2000).

Debido a la influencia de grandes ríos y a la predominancia de ambientes sedimentarios y sistemas estuarinos, los arrecifes coralinos son relativamente escasos en las costas colombianas (Garzón-Ferreira y Kielman, 1994; Díaz *et al.*, 2000). Colombia cuenta con 1091 km² de fondos con cobertura coralina viva relevante (Díaz *et al.*, 2000), valor que representa menos del 0.4% de la extensión total estimada de las formaciones coralinas importantes en el mundo (aproximadamente 284.300 km²) (Spalding *et al.*, 2001).

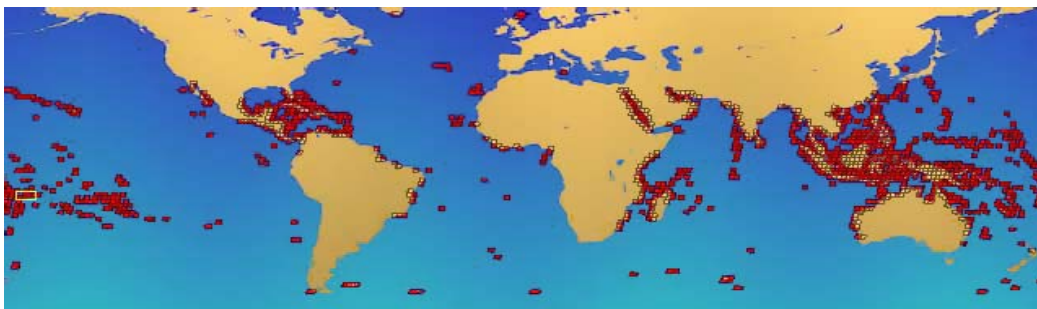


Figura 1. Distribución de las principales formaciones arrecifales alrededor del mundo (tomado de Science Online , 2006).

De los fondos coralinos relevantes en territorio colombiano, una fracción muy pequeña se encuentra en el Pacífico, distribuidas principalmente en cuatro localidades: isla Gorgona, Ensenada de Utría, Punta Tebada e isla Malpelo. De los fondos coralinos en el Caribe, la mayor parte (826 km²) se halla alrededor de las islas, bajos y atolones del archipiélago oceánico de San Andrés y Providencia, donde además se observan los arrecifes más complejos y desarrollados. El resto se encuentran distribuidos en numerosas localidades a lo largo de la costa norte, pero con los ambientes coralinos más importantes en los archipiélagos Nuestra Señora del Rosario (68 km²) y de San Bernardo (135 km²). Otros fondos coralinos del Caribe continental colombiano con menor desarrollo son isla Fuerte y los bajos Bushnell y Burbujas (17 km²), bajo Tortugas (17 km²), bajo Salmedina (8 km²), banco de las Ánimas (8 km²), Santa Marta-Parque Tayrona (7 km²) y la Guajira (aproximadamente 5 km²). Las áreas arrecifales del Caribe, además de presentar una mayor extensión y desarrollo, albergan una diversidad de especies de corales mucho más alta (53) que las del Pacífico (21) (Díaz *et al.*, 2000).

A continuación se describe el patrón de zonación de las diferentes formaciones coralinas al interior del AMP-CRSBeIF, detallando tres áreas coralinas fundamentales: el complejo arrecifal de isla Fuerte, bajo Bushnell y bajo Burbujas; el complejo del archipiélago de San Bernardo; y el complejo que corresponde al archipiélago Nuestra Señora del Rosario.

2.1.2.1 Complejo arrecifal de isla Fuerte, bajo Bushnell y bajo Burbujas

Este complejo arrecifal se localiza aproximadamente a 11 kilómetros de la costa, sobre la parte sur-central de la plataforma continental del Caribe colombiano y en el extremo más sur-occidental del AMP-CRSBeIF. Presenta un área total de 32.5 km², de los cuales 16.6 km² están ocupados por fondos con cobertura coralina viva relevante (Díaz *et al.*, 2000). Se estima que en el área coexisten 42 especies de corales formadores de arrecifes de las aproximadamente 80 encuentran registradas en todo el Caribe colombiano (Díaz *et al.*, 2000; Huertas, 2000).

En el flanco norte, luego de una pequeña zona de algas calcáreas y una pequeña laguna arrecifal con pastos marinos, se levanta un arrecife franjeante bastante deteriorado con esqueletos de corales cubiertos por algas. A continuación de esta franja se encuentran grandes colonias masivas, y en el sector más profundo, una franja de corales foliáceos de grandes extensiones.

En el sector occidental de isla Fuerte se extiende una terraza calcárea denominada bajo Bobito, caracterizado por presentar un patrón reticulado de surcos cubiertos por algas calcáreas, tapetes de algas, esponjas, octocorales y corales costrosos. A continuación de



Figura 2. Vista representativa de ambientes arrecifales en el costado occidental de isla Fuerte.

la terraza, se presenta un notorio desarrollo coralino dominado por corales masivos mixtos y corales foliáceos (Figura 2). Al oriente de la Isla, entre praderas de pastos marinos, se encuentran dispersos algunos parches de coral. En el sector sur y suroriental existen varios domos

dispersos denominados en conjunto bajo del Medio, recubiertos por corales foliáceos hacia las laderas, mientras en el plano superior por colonias masivas y octocorales.

Bushnell es un pequeño bajo en forma de meseta ubicado a 18 km al nor-occidente de isla Fuerte. En la parte superior del plano se encuentra una terraza plana e irregular con patrones de surcos y espolones formados por escombros de coral cubiertos por tapetes de algas, corales costrosos y grandes colonias de octocorales dispersas (Figura 3). En el

sector norte se presenta una zona de corales masivos mixtos, los cuales disminuyen en cobertura hacia las vertientes en donde aumenta la presencia de esponjas, corales costrosos y octocorales.

Por otra parte, bajo Burbujas, denominado así por la constante emisión de gas natural en uno de sus costados, es un bajo profundo de forma circular ubicado a 9 km al nor-occidente de isla Fuerte. Se caracteriza por presentar poca cobertura coralina, con corales mixtos y octocorales que crecen sobre escombros coralinos poco consolidados.

Presenta mayor cobertura de esponjas y octocorales hacia las vertientes (Huertas, 2000; Díaz *et al.*, 2000).

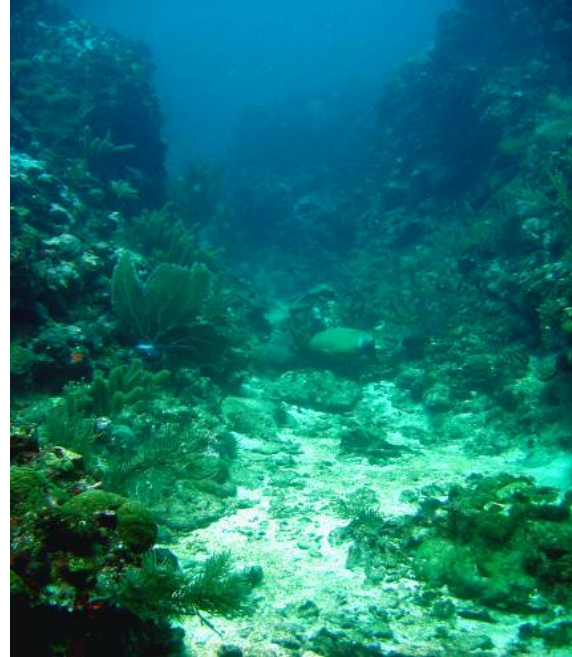


Figura 3. Vista representativa de las formaciones coralinas en la terraza superior de bajo Bushnell.

2.1.2.2 Complejo arrecifal del archipiélago de San Bernardo

Este complejo arrecifal se ubica frente a las costas del departamento de Sucre sobre la plataforma continental (Figura 4; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), comprendiendo un área coralina de 213.3 km² de los cuales 134.5 km² corresponden a fondos coralinos con cobertura coralina viva relevante. En el área se han registrado entre 43 y 49 especies de corales formadores de arrecifes, de las aproximadamente 80 registradas en todo el Caribe colombiano (López-Victoria, 1999; Díaz *et al.*, 2000).

Las formaciones coralinas existentes en la actualidad se distribuyen por todo el complejo, presentando un mayor desarrollo y cobertura al norte y occidente del Archipiélago debido a la mayor energía del oleaje que se presenta en estos costados. El sector sur-oriental del Archipiélago se caracteriza por un menor desarrollo arrecifal con parches de corales dispersos entre fondos arenosos. La plataforma somera que rodea las islas y que

conforma extensos bajos está dominada por praderas de pastos, alternadas con parches coralinos.

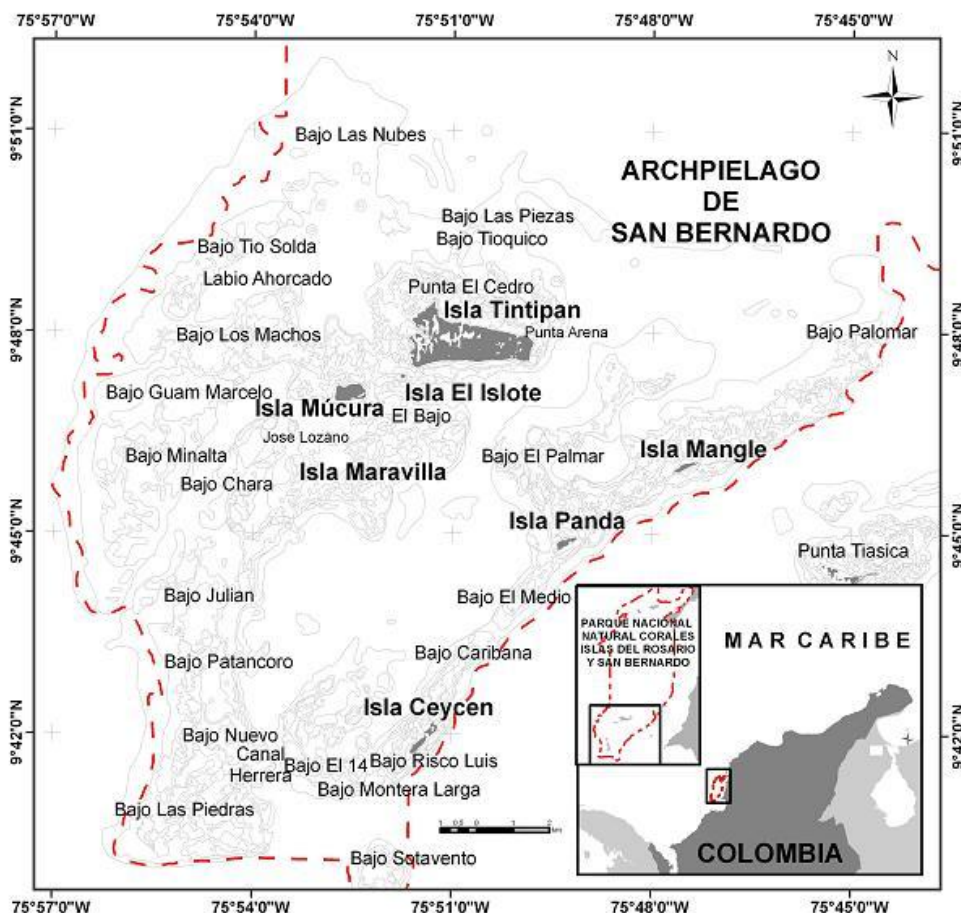


Figura 4. Ubicación del archipiélago de San Bernardo y de las principales islas y bajos que lo conforman (LabSI, INVEMAR).

Los fondos a lo largo de todo el Archipiélago son bastante heterogéneos, encontrando zonas de corales mixtos con mayor extensión y desarrollo en el costado norte de las islas Mangle y Tintipán, y los bajos Las Piezas, Minalta, Palomo, Tío Solda, Las Nuves, Labio Ahorcado, Medio y Palomar. Parches de corales de diferentes tamaños dispersos entre extensiones de praderas de pastos pueden ser encontrados alrededor de las islas Palma, Múcura y Panda, del costado norte y oriental de isla Ceycén, los bajos Caribaná y Sotavento, y alrededor del poblado de Santa Cruz del Islote (Figura 5). También se encuentran zonas coralinas de menor extensión con franjas discontinuas o parches de corales entre fondos de arena-escombros, como en la plataforma que rodea la isla Maravilla, en el costado sur de isla Ceycén y en los bajos Salamanquilla y Esmeraldas. Hacia el sur del complejo, principalmente en los bajos Julián, Blanco y Las Piedras, se

encuentra una zonación particular, con formaciones coralinas de buen desarrollo interrumpidas por depresiones kársticas y surcos con fondo arenoso (López-Victoria, 1999).



Figura 5. Vista representativa de ambientes arrecifales en el archipiélago de San Bernardo: costado norte de isla Mangle (izquierda) y noroccidental de la isla Ceycen (derecha).

2.1.2.3 Complejo arrecifal del archipiélago Nuestra Señora del Rosario

Este complejo arrecifal se ubica 54 km al sur-occidente de la bahía de Cartagena, en la zona central de la costa continental del Caribe colombiano (Figura 6). Comprende un área total de 145.3 km², de los cuales 67.6 km² corresponden a cobertura coralina viva significativa. En el Archipiélago coexisten entre 43 y 53 especies de corales formadores de arrecifes, de las 82 especies registradas en todo el Caribe colombiano (Cendales, 1999; Díaz *et al.*, 2000). Junto con el archipiélago de San Bernardo, Nuestra Señora del Rosario corresponde al área coralina de mayor desarrollo y complejidad estructural en las costas colombianas, constituyendo entre los dos el sistema de islas y bajos de origen coralino más extenso sobre la plataforma continental.

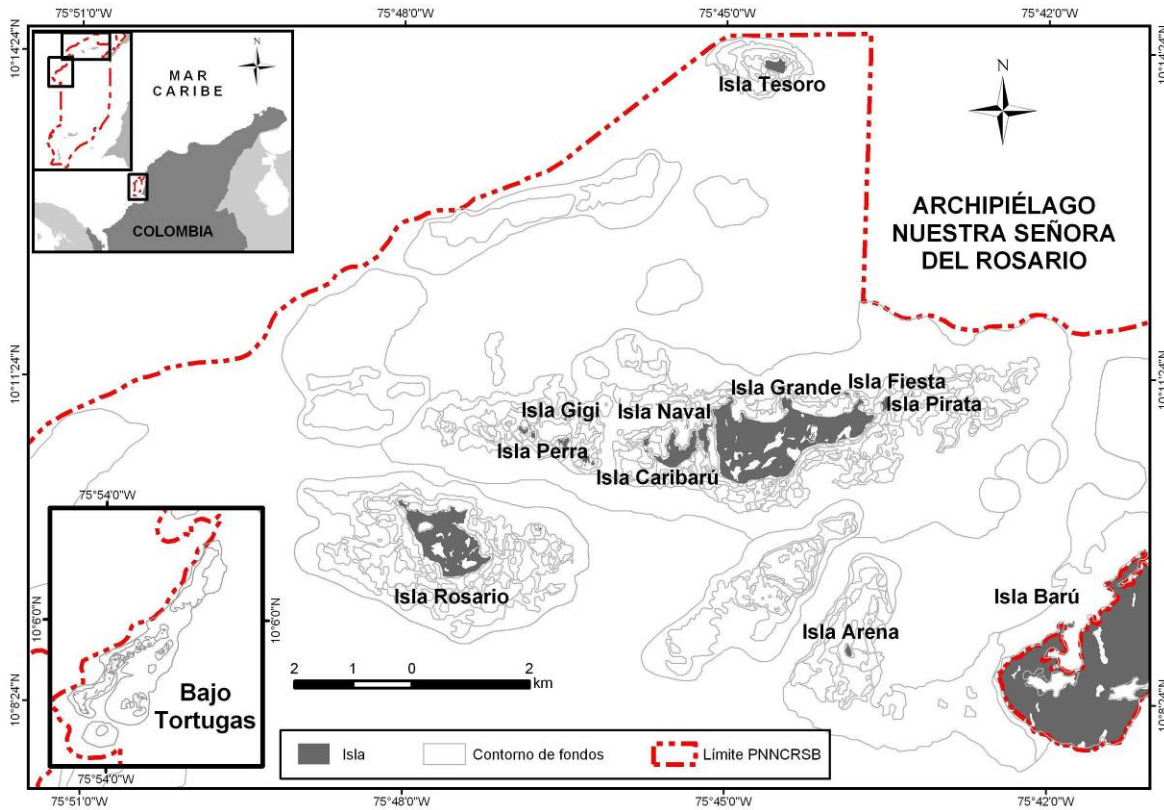


Figura 6. Ubicación del archipiélago Nuestra Señora del Rosario y de las principales islas y bajos que lo conforman (LabSI, INVEMAR).

Las formaciones coralinas vivas se encuentran bordeando el flanco nororiental de la península de Barú y en torno a las diferentes islas que conforman el Archipiélago. La composición y estructura de las comunidades coralinas en el Archipiélago evidencian una zonación vertical que responde a los gradientes de profundidad y turbulencia. En zonas más expuestas a la acción del viento, corrientes y el oleaje (barlovento), como en los bajos externos al occidente y suroccidente del Archipiélago (bancos Rosario, Las Palmas y Tortugas), se encuentra el mayor desarrollo coralino y los corales más saludables. Igualmente, las terrazas de los flancos norte del complejo Pajarales y de las islas Tesoro, Grande y Rosario, se caracterizan por ser de poca amplitud pero con exuberante desarrollo coralino que puede incrementar con la profundidad. Las formaciones coralinas en esta zona corresponden a arrecifes franjeantes y costeros separados de la costa por fondos de arena-cascajo; su cresta (partes más someras del arrecife) puede estar dominada por algas que recubren esqueletos de corales. También frente a Punta Barú y al nor-occidente de isla Rosario se observan estructuras similares pero de menor tamaño (Cendales, 1999) (Figura 7).

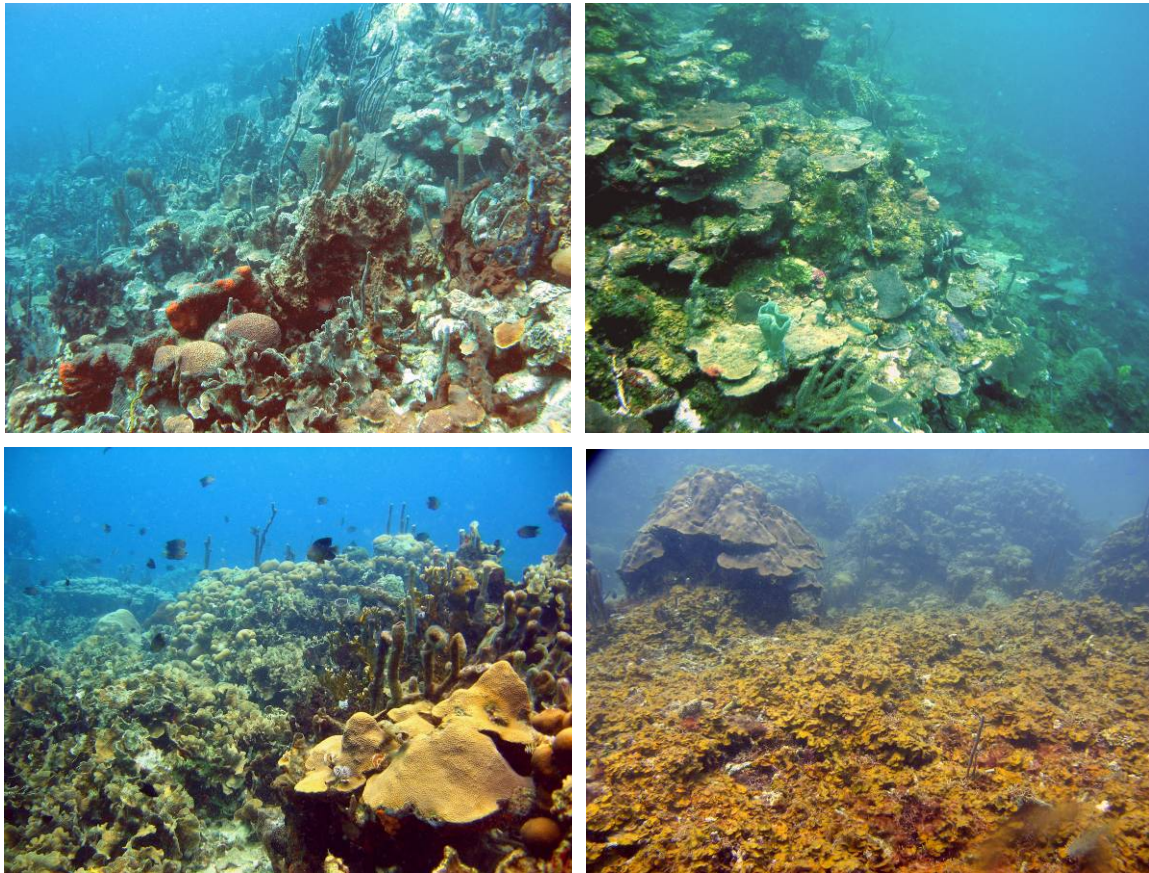


Figura 7. Vista representativa de ambientes arrecifales en el archipiélago Nuestra Señora del Rosario: costado norte de las islas Rosario y Tesoro (superior- izquierda y derecha), y costado sur de las islas Pavitos y Tesoro (inferior- izquierda y derecha).

Lo opuesto se observa en zonas protegidas (sotavento), donde predominan terrazas de mayor amplitud pero menos diversas, con corales masivos dispersos entre octocorales, esponjas y escombros coralinos cubiertos por algas. En el caso del flanco sur y suroccidental de las islas Rosario, Tesoro y Pajarales, las terrazas pueden terminar y caer abruptamente (Figura 7). Las zonas protegidas por isla Grande, como los bajos del Medio y Martincito e isla Arena, presentan parches aislados de corales entre fondos de arena-cascajo y praderas de pastos, siendo más escaso el desarrollo coralino. Isla Periquito y Punta Barú, hacia el costado occidental del Archipiélago más expuesto a las descargas del canal del Dique, exhiben formaciones coralinas muy dispersas y deterioradas (Cendales, 1999).

2.1.3 Problemática ambiental

La evolución de los arrecifes coralinos ha estado acompañada de una serie de disturbios históricos en escalas locales, regionales y globales que han inducido la formación de interacciones complejas y el desarrollo de una gran diversidad. A pesar de su notable éxito, reflejado en su amplia distribución y permanencia a lo largo de millones de años, los arrecifes coralinos han evidenciado un deterioro gradual en las últimas décadas. Esta condición ha generado gran preocupación en los científicos a nivel mundial, intensificando los estudios y acciones tendientes a determinar las causas y la gravedad del problema (Birkeland, 1997).

La evidencia del deterioro coralino se ha visto reflejada en los diferentes indicadores utilizados para comprender el estado de salud del ecosistema. Uno de los principales indicadores del detrimento del estado de salud de los arrecifes coralinos es la reducción significativa de la cobertura de tejido coralino vivo (Birkeland, 1997; Díaz *et al.*, 2000; Sutherland *et al.*, 2004). Además, el creciente predominio de algas en muchos arrecifes, siendo ellas las principales competidoras por espacio con los corales, también ha sido relacionada con procesos de degradación (Hughes, 1994; Díaz-Pulido y Garzón-Ferreira, 2002). La ocurrencia y severidad de enfermedades y los eventos masivos de blanqueamiento coralino en las últimas décadas a nivel mundial, han cobrado especial importancia debido a la pérdida rápida de tejido vivo, consecuencia de la infección o la condición de estrés. Estas condiciones también han sido documentadas en Colombia, principalmente sobre los arrecifes coralinos de la costa Caribe (Prahl, 1985; Zea y Duque, 1990; Solano *et al.*, 1993; Garzón-Ferreira *et al.*, 2001; Gil-Agudelo y Garzón-Ferreira, 2001; Vargas-Ángel *et al.*, 2001; Weil *et al.*, 2002; Rodríguez-Ramírez *et al.* 2005; Gil-Agudelo *et al.*, 2006).

Otro indicador de degradación del ecosistema coralino es la ocurrencia de mortalidades masivas de organismos asociados a los arrecifes documentados en los últimos 20 años, dentro de los que se encuentran los corales del género *Acropora* y el abanico de mar *Gorgonia ventalina*, así como el erizo de espigas largas *Diadema antillarum* (Birkeland, 1997, Díaz *et al.*, 2000; Aronson y Precht, 2001). Igualmente, la reducción drástica de las poblaciones de organismos comerciales evidencia el estado de los arrecifes del mundo;

pargos (Familia Lutjanidae), meros y chernas (Familia Serranidae), langostas (*Panulirus argus*), cangrejos y caracoles (*Strombus gigas*), son organismos de gran valor pesquero y ecológico que se han diezmado en la mayoría de áreas coralinas (Rodríguez-Ramírez *et al.*, 2005; Navas-Camacho *et al.*, 2007; Navas-Camacho *et al.*, en prensa), causando cambios considerables en la estructura y función al interior del ecosistema.

Aunque se han realizado numerosos estudios y discutido ampliamente sobre la problemática del deterioro del ecosistema coralino, la identificación de las principales causas ha resultado incierta debido en parte a la escasez de bases históricas de datos y a la combinación de numerosos factores cuyos efectos son difíciles de analizar por separado. En general, se acepta que el problema es complejo y que han actuado simultáneamente diversas condiciones, tanto de origen natural como antrópico (Tabla 1), de modo que su interacción y sinergia de efectos han acentuado los procesos de degradación. Evidencia de esta problemática de causas es que algunas de las calificadas como naturales (ciclo del calentamiento global, blanqueamientos coralinos y proliferación de enfermedades, entre otros), pueden ser desatadas o agravadas por el deterioro de la calidad del ambiente generado por el desarrollo de la civilización humana.

En general, los arrecifes próximos a centros urbanos han sido los más afectados debido a la mayor exposición al conjunto de amenazas antropogénicas; sin embargo, otros en áreas remotas muestran también signos de deterioro (Garzón-Ferreira, 1997). Es el caso del bajo Bushnell, que a pesar de estar relativamente alejado de la costa y del poco efecto de aportes terrígenos, ha evidenciado una disminución de la cobertura de coral vivo en los últimos años. En Isla Fuerte, por su parte, al ser una zona más próxima al continente y con mayor grado de exposición a amenazas de origen humano, la disminución de la cobertura de coral vivo es aún más notable y preocupante. Además de las amenazas regionales y globales existentes en la actualidad, algunas de origen local que han influido en el estado de los arrecifes en isla Fuerte y bajo Bushnell son: a) aporte de sedimentos en aguas continentales, principalmente debido a los procesos de deforestación en las cuencas de los ríos Sinú y Atrato, los cuales tienen influencia sobre el área (aunque leve en el caso del Atrato) (Pujos y Javelaud, 1991); b) aumento poblacional y del turismo, con la resultante contaminación de aguas y los daños en el ecosistema a causa de embarcaciones (anclas y encallamientos), bañistas y buzos; y c) sobreexplotación de

recursos marinos debido a la sobrepesca, uso de artes destructivos (dinamita y arrastre) y extracción de organismos como “souvenirs” (Díaz *et al.*, 2000; Huertas, 2000).

Tabla 1. Lista detallada de las principales amenazas sobre los arrecifes coralinos del Caribe y Pacífico colombiano (modificado de Garzón-Ferreira *et al.*, 2003)

AMENAZAS	GRADO DE AMENAZA	
	CARIBE	PACÍFICO
NATURALES		
1. Calentamiento global	3	3
2. Eventos de "El Niño"	0	3
3. Blanqueamiento coralino	3	3
4. Proliferación de enfermedades coralinas	3	1
5. Mortandad del erizo negro Diadema	3	0
6. Proliferación de algas	3	0
7. Florecimientos de fitoplancton / mareas rojas	0	2
8. Huracanes	4	0
9. Tectonismo / terremotos	0	2
10. Mareas bajas extremas	0	3
11. Surgencias	1	1
Puntuación impactos naturales	20	18
ANTROPOGÉNICAS		
1. Incremento en sedimentación	4	2
2. Deforestación	5	4
3. Dragados	2	0
4. Alteración del curso de ríos	4	2
5. Extracción de coral para construcción	2	0
6. Extracción de coral para artesanías	2	2
7. Extracción de peces	5	2
8. Sobrepesca	5	1
9. Pesca con explosivos	4	4
10. Actividades de turismo	4	1
11. Actividades náuticas	2	2
12. Actividades de buceo	2	0
13. Desarrollo urbano	4	0
14. Contaminación por aguas negras	4	0
15. Contaminación por basuras	3	0
16. Contaminación por hidrocarburos	2	2
Puntuación impactos antropogénicos	54	22
PUNTUACIÓN TOTAL DE IMPACTOS	74	40

Amenaza generalizada	5
Amenaza localizada	4
Amenaza media	3
Amenaza baja localizada	2
Amenaza baja generalizada	1
Amenaza ausente	0

La situación actual de los arrecifes coralinos en los archipiélagos de San Bernardo y Nuestra Señora del Rosario no es diferente; por el contrario, muchas de las formaciones coralinas que persisten en la actualidad se encuentran en avanzado estado de deterioro, o incluso en algunas zonas ya han desaparecido (como es el caso de las formaciones que existieron hasta algunas décadas al interior de la bahía de Cartagena y en torno a Tierra Bomba). En San Bernardo se ha sugerido que el deterioro ha alcanzado un punto tal que los corales pétreos están siendo paulatinamente desplazados y reemplazados por algas, dando paso a un proceso de transición en el paisaje submarino de predominio coralino a predominio vegetal (Díaz *et al.*, 2000). Dicho deterioro ha sido atribuido principalmente a la sedimentación (principalmente a causa de los aportes terrígenos del río Sinú), los sucesivos eventos masivos de blanqueamiento coralino, la extracción de coral como “souvenir” y la pesca con artes destructivos (principalmente dinamita y pesca de arrastre) (López-Victoria, 1999). Por su parte, el deterioro de las formaciones coralinas en Rosario ha sido atribuido a la urbanización sin control ni planificación, al tráfico no regulado de lanchas, a la sobrepesca y pesca con artes destructivos, los repetidos eventos masivos de blanqueamiento coralino, y al efecto de las descargas del río Magdalena a través del canal del Dique (Werding y Sánchez, 1979; Alvarado *et al.*, 1986; Pineda *et al.*, 2006; Gil-Agudelo *et al.*, 2006).

2.2 Cambio climático global

El cambio climático global (CCG) es definido por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) como cualquier cambio en el clima que ocurra en una escala de tiempo, ya sea por variaciones naturales o como resultado de actividades humanas. La variabilidad climática hace referencia a cambios en el estado medio del clima y otras estadísticas (e.g. desviación estándar, ocurrencia de valores extremos, etc.) en todas las escalas temporales y espaciales más allá de eventos climáticos individuales y regulares (IPCC, 2007).

Existe abundante evidencia científica con predicciones sobre la intensidad de los cambios potenciales asociados al cambio climático y las graves consecuencias sobre los sistemas ecológicos, humanos y sociales (Hoegh-Guldberg, 1999; McCarty, 2001; Harvell *et al.*, 2002; Buddemeier *et al.*, 2004; Goldberg y Wilkinson, 2004; Carpenter *et al.*, 2008; Allison *et al.*, 2009); sin embargo, es necesario aclarar que aún persiste mucha incertidumbre

asociada a las proyecciones del cambio climático y a las respuestas de las especies y ecosistemas (Baker *et al.*, 2004; Baird *et al.*, 2009; Julius *et al.*, 2008). Existe incluso una línea de pensamiento que postula que el actual cambio climático no representa un impacto perjudicial potencial sobre los arrecifes coralinos y otros ecosistemas marinos, y que por el contrario, los ecosistemas pueden adaptarse y responder de forma positiva ante posibles impactos asociados a una eventual variación del clima (Potts y Jacobs, 2000; Idso, 2009).

2.2.1 Amenazas del cambio climático y posibles impactos en los arrecifes coralinos

El Cambio Climático Global (CCG) se une a la larga lista de factores que atentan contra el bienestar de los arrecifes coralinos, considerado por muchos como una de las amenazas más preocupantes debido a la especial vulnerabilidad de los corales ante las variaciones de las condiciones físico-químicas del mar. Así, el aumento de la temperatura superficial del mar, la acidificación de los océanos (producto del aumento de los niveles de CO₂ atmosférico), el aumento del nivel del mar y la mayor intensidad de eventos climáticos y meteorológicos extremos, son condiciones asociadas al cambio climático que representan una amenaza potencial, tanto para la salud y economía de la población humana, como para los arrecifes coralinos entre otros ecosistemas terrestres y marinos (Buddemeir *et al.*, 2004). En la actualidad ya se observan respuestas del ecosistema arrecifal a los incrementos inusuales de la temperatura y acidificación del océano, con eventos masivos de blanqueamiento cada vez más frecuentes y menores tasas de formación de esqueletos coralinos (Wilkinson, 2008). Sin embargo, el grado de afectación sobre los arrecifes coralinos depende en gran medida de la rapidez con que se produzca el cambio climático, del grado de sensibilidad de ecosistemas-poblaciones-especies, del grado de adaptación natural y de la implementación de medidas de adaptación para respuestas efectivas de manejo (Julius *et al.*, 2008).

La información que se presenta a continuación proporciona algunas de las principales amenazas y pronósticos asociados al cambio climático y la posible respuesta de los arrecifes coralinos ante cada una de ellas.

2.2.1.1 Aumento en la temperatura superficial del mar (TSM)

El sistema climático consiste en procesos naturales que redistribuyen la energía solar que es absorbida y reflejada por el planeta. Hay una tendencia a pensar en el clima en

términos de su manifestación física (temperatura y movimiento de los océanos y atmósfera) y el ciclo hidrológico que redistribuye el agua a lo largo de la superficie de la Tierra; sin embargo, procesos biológicos, químicos y geológicos son parte integral del sistema climático. En el tercer IPCC se encontró que la temperatura promedio de la tierra ha aumentado en $0.74 \pm 0.18^{\circ}\text{C}$ durante los últimos 100 años (1906-2005). La tasa de calentamiento de los últimos 50 años es casi el doble de los últimos 100 años; además, en los últimos 12 años (1995-1996) se han presentado los 11 años más calientes desde que existen registros de temperatura superficial global (1850) (IPCC, 2007), donde 1998 y 2005 han sido los años con los valores más altos.

El calentamiento del planeta se ha registrado tanto en la superficie terrestre como en la oceánica. A nivel general y categorizando el planeta como un solo complejo, la temperatura de aire en la superficie terrestre ha duplicado la del océano después de el año 1979 (más de 0.27°C y 0.13°C por década, respectivamente), con el mayor calentamiento registrado durante el invierno (diciembre-febrero) y el verano (marzo-mayo) en el hemisferio norte (IPCC, 2007). Por su parte, en aguas tropicales y subtropicales la TSM ha aumentado en 0.3°C entre 1950 y 1990 (Wilkinson y Souter, 2008). Basados en la reconstrucción de la variabilidad media anual de la TSM entre 1880-2005, parece ser que dicha variable ha alcanzado los más altos niveles durante las últimas tres décadas en todas las latitudes (Smith y Reynolds, 2005).

Una parte substancial del cambio en la temperatura del planeta ha sido atribuido al aumento progresivo de gases de efecto invernadero. A partir de burbujas de gas preservadas en las capas polares, se ha calculado que la concentración de CO_2 atmosférico ha oscilado entre 180 y 310 ppmv durante los últimos 400,000 años; igualmente, se ha encontrado que la temperatura y las variaciones del nivel del mar han sido reflejo de fluctuaciones de CO_2 .

Blanqueamiento coralino

El blanqueamiento es conocido como una respuesta al estrés producido por el aumento o disminución excesiva de la temperatura del agua, alta irradiación solar, cambios en la salinidad, o por otro factor físico o químico. El blanqueamiento describe la pérdida de algas simbióticas 'zooxantelas' que se alojan en el tejido coralino, que de ser prolongado ocasiona la muerte del coral. La mayor parte de los pigmentos que se observan en los

corales provienen de estas algas, en consecuencia, en su ausencia el tejido coralino se observa translucido y permite ver el color blanco característico del carbonato de calcio (CaCO_3) (Marshall y Schuttenberg, 2007). En la actualidad se conoce que las altas temperaturas modifican el proceso fotosintético y la capacidad para reparar daños en los sistemas fotosintéticos, lo que estimula al coral a expulsar el alga y perder su mayor fuente de energía (Wilkinson, 2008). Aunque las colonias coralinas sobrevivan a este fenómeno, el estrés sobre el organismo tiende a aumentar la ocurrencia de enfermedades coralinas y reduce la habilidad del coral para la reproducción.

El aumento de la TSM ha llevado a los corales formadores de arrecife a un ambiente cuya temperatura es $0.5\text{ }^\circ\text{C}$ más cerca de su límite más alto. De mantenerse dicho incremento (pronosticado en por lo menos $1\text{ }^\circ\text{C}$ finalizando este siglo), asociado comúnmente al cambio climático, los corales serán gradualmente expuestos a condiciones causantes de eventos de blanqueamiento mucho más crónicos de los cuales será cada vez más difícil recuperarse. Bajo un escenario donde la temperatura aumente en $2\text{ }^\circ\text{C}$ o más, se espera que desaparezcan los arrecifes dominados por corales en las regiones costeras someras del mundo (Wilkinson, 2008).

Los eventos masivos de blanqueamiento coralino más preocupantes han tenido como consecuencia episodios de alta mortalidad coralina y disminución en las tasas de crecimiento y reproducción de colonias sobrevivientes. Las especies coralinas ramificadas con altas tasas de crecimiento han sido las más vulnerables y generalmente mueren en grandes extensiones después de algún fenómeno de blanqueamiento. Por otro lado, las especies coralinas masivas con bajas tasas de crecimiento parecen ser menos vulnerables y tienden a recuperarse más fácilmente (Buddemeir *et al.*, 2004). El blanqueamiento es por lo tanto un fenómeno selectivo en el que son más afectadas algunas especies del arrecife y puede generar cambios mayores en la distribución de especies coralinas y en la estructura de la comunidad arrecifal.

A pesar de haber sido identificados algunos patrones de blanqueamiento a nivel de comunidades y tipos de coral, es necesario aclarar que existe otra serie de factores asociados a la ocurrencia de blanqueamiento y mortalidad coralina. Primero, las diferencia regional en los niveles de estrés térmico; segundo, la diferencia entre corales (incluso de la misma especie) de la susceptibilidad de blanqueamiento ante los mismos niveles de

estrés; y tercero, la diferencia en las tasas de mortalidad entre corales luego de experimentar niveles similares de blanqueamiento por estrés térmico (Obura, 2005).

2.2.1.2 Acidificación de los océanos

El efecto de la reacción en cadena sobre la química del océano por el aumento en los niveles de CO₂ atmosférico representa la 'acidificación del océano' (Wilkinson y Souter, 2008). Como resultado del aumento del CO₂ atmosférico, las concentraciones de CO₂ del mar se incrementan, debido al proceso de intercambio de gases aire-agua en la superficie del agua. Esto altera el pH (índice de acidez) y las concentraciones de iones carbonato y bicarbonato en el medio marino. La química del agua superficial en los océanos se ajusta a cambios en el CO₂ atmosférico en un periodo aproximado de un año, en consecuencia, aumentos proyectados de CO₂ atmosférico podría generar una reducción en el pH de los océanos a niveles no vistos en millones de años (Buddemeir *et al.*, 2004).

Reducción del potencial de calcificación

Los arrecifes coralinos son un ecosistema único, formado por el depósito continuo de CaCO₃ por parte de algunos organismos. Muchos de ellos utilizan iones de calcio (Ca²⁺) y carbonato (CO₃²⁻) del agua de mar para secretar sus esqueletos de CaCO₃. Aunque el medio marino está sobresaturado de los minerales empleados en la calcificación de esqueletos, es el estado de saturación de tales minerales el que determina finalmente la capacidad de calcificación de los organismos. En la interacción de dióxido de carbono con carbonato de calcio, la adición de CO₂ al agua marina acidifica el medio y promueve la disolución de CaCO₃, generando un medio perjudicial para llevar a cabo la calcificación (Buddemeir *et al.*, 2004). Como resultado de la acumulación de CO₂ atmosférico y acidificación de los océanos, se reduciría la tasa de calcificación de algunos de los más importantes productores de CaCO₃ (corales, moluscos, algas calcáreas, etc.). Bajas tasas de calcificación indican esqueletos de menor densidad y frágiles, además de una tasa de expansión más lenta que reduce la capacidad de competir por espacio en el arrecife.

Futuros cambios en la química del agua marina no solo llevará a una disminución en las tasas de calcificación, también en el aumento de la disolución de CaCO₃. Experimentos de laboratorio han demostrado que la tasa de disolución de CaCO₃ puede igualar la tasa de calcificación cuando la concentración de CO₂ atmosférico duplique los valores preindustriales (aproximadamente en 40-50 años). Esto apunta a la disminución de la

construcción de arrecifes y la pérdida potencial de las estructuras arrecifales coralinas en el futuro.

Actualmente se observa un reducción global promedio del pH del océano superficial del orden de las 0.1 unidades y aunque estos cambios pueden parecer insignificantes, son en realidad impactantes por: (1) el pH es medido en escala logarítmica –una disminución de 0.1 unidades es un aumento del 30% en la acidez del océano-, (2) el pH actual del océano es el más bajo conocido en 800.000 años y probablemente 20 millones de años; (3) la velocidad de este cambio puede superar la habilidad de muchos organismos para adaptarse; (4) la acidificación interactúa de manera sinérgica con otros factores como el aumento de la temperatura e intensidad de tormentas para producir impactos mucho más fuertes; y (5) las funciones biológicas básicas – fotosíntesis, tasa de respiración, tasa de crecimiento, tasa de calcificación, tasa de fijación de nitrógeno, reproducción y reclutamiento- pueden verse afectadas por estos cambios en la química del agua (Wilkinson, 2008; Wilkinson y Souter, 2008).

A medida que la tasa de calcificación disminuye y la de erosión aumenta, el equilibrio entre el crecimiento arrecifal y la destrucción del arrecife también varía. Arrecifes con bajos suministros de CaCO_3 (e.g. en altas latitudes o zonas de surgencia) pueden pasar de una fase neta de construcción arrecifal a una fase de pérdida neta de la estructura del mismo en tan solo décadas (Wilkinson, 2008). Los arrecifes que crecen en lugares con concentraciones naturalmente altas de CO_2 tienden a ser menos desarrollados y cementados, sufriendo tasas de erosión mucho más altas; por lo que se sugiere que a nivel mundial los arrecifes serán estructuralmente menos robustos a medida que se acidifica el océano. Recientes investigaciones postulan un peor escenario, donde se muestra que los umbrales de temperatura para que se dé un blanqueamiento coralino disminuyen a medida que aumenta el CO_2 en el mar; lo que significa que el aumento progresivo de CO_2 atmosférico, puede contribuir en la gravedad de los eventos de blanqueamiento asociados al aumento de la temperatura (Wilkinson, 2008).

2.2.1.3 Aumento del nivel del mar

El incremento de la temperatura en el mar ocasiona que el agua se expanda y ocupe un mayor volumen, contribuyendo así en el incremento del nivel del mar. Ésta condición de la materia, conocida como “expansión térmica”, ha contribuido en mayor medida al aumento

del nivel del mar. El derretimiento de los glaciares sobre las montañas y de las capas de hielo en Groenlandia y en la Antártica en las últimas décadas, han sido otros factores cruciales en el incremento del nivel del mar (Julius *et al.*, 2008).

Los mayores efectos y perjuicios del incremento del nivel del mar serían principalmente en zonas costeras, donde la pérdida de territorio debido a la inundación por el mar se conjugaría con la mayor intensidad de tormentas, ciclones y huracanes asociados al incremento de la temperatura superficial del mar.

Redistribución de áreas coralinas

Debido a que los arrecifes coralinos están limitados principalmente a los trópicos, en aguas someras y claras, donde la temperatura promedio se mantenga entre 25 y 29 °C (Birkeland, 1997), un eventual ascenso en el nivel del mar asociado a mayores temperaturas en el agua superficial del mar afectaría las cualidades favorables del hábitat actual de corales, obligándolos a migrar a zonas de mayor o menor latitud con condiciones apropiadas para su desarrollo (Buddemeier *et al.*, 2004). Sin embargo, se sabe que el aumento en el nivel del mar no conduciría a problemas graves en la mayoría de arrecifes coralinos, por el contrario, el cambio podría producir un aumento en el espacio para el crecimiento de los corales sin generar una exposición en la interface aire-agua. Así mismo, debido a las diferentes tasas de crecimiento en los corales, se esperaría un efecto variable en las diferentes formas y especies.

2.2.1.4 Cambios en la precipitación

Cambios en el clima se han manifestado también por alteraciones en el patrón de la precipitación mundial. En el último siglo, la precipitación ha aumentado o disminuido substancialmente en muchas partes del mundo. Por ejemplo, en los países donde existen registros históricos (EEUU), el aumento en la precipitación se encuentra en el orden de 6.1%. Sin embargo, la dirección y magnitud de los cambios varía de acuerdo al área, con aumentos máximos en más de 10% y disminuciones alrededor de 7% en algunas áreas (USEPA, 2007). La manera como se presenta la precipitación también ha cambiado a nivel mundial, una mayor precipitación cae como granizo o nieve en lugares donde generalmente se presentaba como lluvia o viceversa (Julius *et al.*, 2008; Knowles *et al.*, 2006).

Variación en la salinidad y sedimentación del ambiente marino

La mayor intensidad y periodicidad de la precipitación aumentarán el caudal de los ríos, y en efecto, la calidad y cantidad de las descargas continentales. Las áreas coralinas cercanas a las desembocaduras se verán afectadas por las mayores tasas de sedimentación, la disminución de la salinidad y los contaminantes terrestres (Julius *et al.*, 2008).

2.3 Aspectos legales e institucionales

En los últimos años se han emprendido numerosas campañas y estrategias a diferentes niveles con el fin de generar conciencia y conocimiento sobre la importancia de los arrecifes coralinos, sobre todo, teniendo en cuenta su importancia, estado actual de deterioro y la grave problemática que amenaza su permanencia. En el marco legal, a pesar de no contar con un criterio de protección especial reconocido por la legislación colombiana, el manejo y cuidado adecuado de los arrecifes coralinos y recursos asociados es generalmente promovido en los planes de manejo de áreas marinas con algún criterio de protección especial, como en el caso del AMP-CRSBeIF y el PNNCRSB. A continuación se mencionan a nivel general las principales herramientas legales, convenios, tratados, declaraciones y documentos relacionados con el manejo y conservación de ecosistemas y recursos naturales, así como las medidas sugeridas/adoptadas para asegurar su permanencia ante la serie de tenses existentes en la actualidad y aquellos esperados en torno al cambio climático.

2.3.1 Medio ambiente y desarrollo

Reconociendo los impactos adversos que sobre el medio ambiente ha tenido el desarrollo económico, se señaló en la **Declaración de Río de Janeiro sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo** la necesidad de un sistema económico internacional que permitiera el crecimiento económico y el desarrollo sostenible. Esta declaración fue adoptada en la **Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo**, también conocida como la “Cumbre de la Tierra”, llevada a cabo en junio de 1992. En ella se reconoce el derecho que tienen los seres humanos a llevar una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza, así como el derecho soberano de los Estados para aprovechar sus recursos naturales con la responsabilidad de velar por la conservación del medio ambiente.

En la **Agenda 21**, el documento estratégico de dicha Conferencia, se hace especial énfasis en la necesidad de formular e implementar en forma exitosa antes del año 2000, planes integrales de manejo costero para todas las naciones ribereñas. El enfoque integrado es fundamental para obtener un desarrollo sostenible de estas áreas, permitiendo así balancear el desarrollo de las actividades socioeconómicas sin comprometer el potencial y la protección de los recursos naturales. Se reconoce en la agenda la limitada capacidad de cada nación para alcanzar las metas de desarrollo sostenible, siendo necesario un esfuerzo global y de participación conjunta.

Una de las herramientas legislativas del Gobierno Nacional para velar por la preservación, mejoramiento y manejo del ambiente y los recursos naturales ha sido el **Decreto-Ley 2811 de 1974**, por el cual se dictó el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. A partir del mencionado Decreto se reconoce y denomina el **Sistema de Parques Nacionales** como el conjunto de áreas con valores excepcionales para el patrimonio nacional que, en beneficio de los habitantes de la nación y debido a sus características naturales, culturales o históricas, se reserva y declara comprendida como un área especial de protección (parque nacional, reserva natural, área natural única, santuario de flora, santuario de fauna y vía parque).

A partir de la **Ley 99 de 1993**, se crea el **Ministerio del Medio Ambiente** como ente encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y de los recursos naturales renovables en Colombia, adoptando una política ambiental en la que el desarrollo económico y social del país siga los principios universales y de desarrollo sostenible contenidos en la Declaración de Río de Janeiro. Dicho ente estaría encargado de definir las políticas y regulaciones para la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales y el ambiente de la nación. Igualmente, se estableció a partir de la misma ley, el **Sistema Nacional Ambiental – SINA-**, coordinado por el Ministerio del Medio Ambiente, con el propósito de definir mecanismos de actuación y garantizar el cumplimiento de los deberes y derechos del Estado y de la sociedad civil en relación con el medio ambiente y con el patrimonio natural de la Nación.

Por medio de la **Ley 165 de 1994** se aprueba en Colombia el **Convenio de la Diversidad Biológica**, siendo éste el primer acuerdo mundial enfocado a la conservación y el uso

sostenible de la biodiversidad. Tal Convenio se firmó en el marco de la Cumbre en Río de Janeiro en 1992 y consta de tres objetivos principales: la conservación de la biodiversidad, el uso sostenible de los componentes de la diversidad biológica, y la participación justa y equitativa en los beneficios derivados del uso de los recursos genéticos. En el marco del nombrado Convenio, se adoptó desde 1995, el **Mandato de Yakarta** relacionado con la diversidad Costera y marina. Contó con los siguientes elementos estratégicos: a) el manejo integrado de las zonas Costeras, b) el uso sostenible de los recursos marinos vivos, c) la promoción del establecimiento de áreas marinas y costeras protegidas, la acuicultura sostenible y e) el control a la introducción de especies y genotipos invasores y exóticos.

Por medio de la **Ley 812 de 2003**, se aprueba el **Plan Nacional de Desarrollo 2003-2006, hacia un Estado Comunitario** del Gobierno Nacional, estableciendo una estrategia de sostenibilidad para impulsar el desarrollo de acciones dirigidas a la conservación, manejo, uso y restauración de los ecosistemas, teniendo en cuenta las políticas ambientales y así busca afianzar la gobernabilidad y legitimidad del Estado en la gestión ambiental. Dicha estrategia permite al hoy Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) contar con el marco jurídico adecuado para declarar la protección sobre áreas amenazadas por las prácticas extractivas no sostenibles que vulneran no solo los ecosistemas presentes sino también el bienestar de las comunidades que podrían beneficiarse de los bienes y servicios ambientales afectados.

Siguiendo las recomendaciones y mandatos del Convenio de la Diversidad Biológica, se elaboró en Colombia en el año 1996 la **Política Nacional de Biodiversidad (PNB)**. Uno de los objetivos primordiales de la PNB fue comunicar la manera como Colombia orienta a largo plazo las estrategias nacionales sobre el tema de la biodiversidad, así como definir los encargados de las diferentes áreas de acción. En ella, se establece el marco general y de largo plazo para orientar las diferentes medidas nacionales sobre el tema, las cuales se fundamentan en tres estrategias: la conservación, el conocimiento y la utilización sostenible de la biodiversidad.

En la sesión del 5 de diciembre del 2000, el Consejo Nacional Ambiental aprueba la **Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia** (PNAOCI). Luego, a través

del **Documento CONPES 3164**, se identificaron las acciones prioritarias, los actores institucionales responsables de su ejecución, los recursos financieros requeridos y los mecanismos de coordinación dentro de un Plan de Acción. Dicho documento aborda temas como el ordenamiento ambiental de los espacios oceánicos y zonas costeras, la sostenibilidad ambiental sectorial (pesca y acuicultura, agropecuario y agroindustria, infraestructura, minería, recreación y turismo), rehabilitación y restauración de ecosistemas marinos y costeros degradados, el establecimiento del subsistema de **Áreas Marinas Protegidas** dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), la conservación de especies; la prevención, reducción y control de contaminación generada por fuentes terrestres y marinas; y la prevención y atención de desastres en el ámbito marino, entre otros.

Los archipiélagos Nuestra Señora del Rosario y de San Bernardo, hacen parte en la actualidad del área protegida submarina denominada "**Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo**". Inicialmente, el área protegida denominada "Parque Nacional Natural Los Corales del Rosario" contenía un área aproximada de 17.800 hectáreas de superficie. Hoy en día, tras una serie de reformas y delimitación de nuevos linderos, el Parque cuenta con una superficie aproximada de 120.000 hectáreas, e incluye el área territorial de isla Rosario y sus islotes adyacentes y el área territorial de isla Tesoro, en el archipiélago Nuestra Señora del Rosario, y el área territorial de las islas Maravilla y Mangle, en el archipiélago de San Bernardo. Están excluidos del Parque los demás globos de terreno ubicados dentro de los límites de éste, los cuales se consideran área de influencia (Pineda *et al.*, 2006).

Recientemente, mediante **la Resolución 679 del 31 de mayo del 2005** del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, se estableció el **Área Marina Protegida Corales del Rosario, San Bernardo e Isla Fuerte** (AMP-CRSBeIF). El AMP está constituida por los archipiélagos Nuestra Señora del Rosario y de San Bernardo, la zona submarina del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo, el Santuario de Flora y Fauna El Corchal "El Mono Hernández", la zona continental desde el canal del Dique (al norte) hasta Punta San Bernardo y el área marina desde el parque hasta el complejo de isla Fuerte, bajo Bushnell y bajo Burbujas (al sur) y se extiende hasta la isóbata de los 200 m en la plataforma continental; involucra los departamentos de Bolívar y Sucre (Alonso y Castillo, 2007).

El establecimiento y permanencia de esta área protegida se articula con los propósitos de la Agenda 21 resultante de la Declaración de Río de Janeiro “Cumbre de la Tierra”, del Mandato de Yakarta sobre el Convenio de la Diversidad Biológica, representando el cumplimiento de las obligaciones contraídas por el Estado Colombiano como firmante de tratados y convenios internacionales de índole ambiental. Así mismo, le corresponde al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, según la Resolución 679 de 2005 y la Ley 99 de 1993 (artículo 5° numerales 18 y 19) velar por la restauración, conservación, manejo y uso sostenible de los ecosistemas y recursos naturales en ésta área de especial importancia ecosistémica.

2.3.2 Gases invernadero y cambio climático

La interacción entre directivas y tomadores de decisiones juega un papel fundamental para maximizar la relevancia, utilidad y credibilidad en las opciones de adaptación al cambio climático. En este proceso es necesario incluir los aspectos técnicos de la adaptación y las limitaciones encontradas a partir de mandatos legales y de recursos. A continuación se mencionan algunos de los tratados, convenios y medidas legales aprobados y/o adquiridos por el Estado Colombiano en los temas de cambio climático y acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Por medio de la **Ley 164 de 1994**, se aprueba en Colombia la **Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático –CMNUCC-**, realizada en Nueva York en 1992. En la nombrada Convención se reconoció que los cambios del clima de la tierra y sus efectos adversos son una preocupación común de toda la humanidad, encontrando que las actividades humanas y la emisión de gases de efecto invernadero, principalmente de países industrializados, tienen un efecto directo en el calentamiento de la superficie y la atmósfera terrestre y pueden afectar adversamente a los ecosistemas naturales y a la humanidad. El objetivo último de la Convención fue lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo de tiempo que permitiera que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurando la producción de alimentos y el desarrollo sostenible. Se hizo énfasis en las necesidades específicas y la cooperación amplia de

todos los países, de acuerdo al grado de vulnerabilidad, a las responsabilidades comunes y a la diferencia de capacidades y condiciones socio-económicas de cada Nación.

El **Protocolo de Kyoto** fue el conjunto de medidas adoptadas por los países industrializados para cumplir con el objetivo último de la CMNUCC, la estabilización de gases de efecto invernadero. El Protocolo establece una serie de mecanismos que dan flexibilidad para el cumplimiento de compromisos en la reducción de emisiones: el Comercio de Emisiones, la Implementación Conjunta y el Mecanismo de Desarrollo Limpio. Este acuerdo internacional se celebró en la ciudad de Kyoto en 1997, acordando los países firmantes a reducir en un 5% las emisiones globales contaminantes entre el 2008 y el 2012, tomando como referencia los niveles de 1990. La adopción del Protocolo de Kyoto ocurrió en la última de tres conferencias celebradas para revisar los avances en el desarrollo de la CMNUCC. Por medio de la **Ley 629 del 2000**, el Congreso de Colombia aprueba el Protocolo de Kyoto de la CMNUCC con el fin de promover el desarrollo sostenible y cumplir con los compromisos cuantificados de limitación y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Algunas de las medidas legales y políticas desarrolladas por el gobierno nacional con incidencia sobre las emisiones de gases de efecto invernadero, que reflejan el desarrollo del principio de responsabilidades comunes y diferenciadas, son: el Decreto 948 de 1995 que establece las normas relativas a la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire (modificado por el Decreto 1228 de 1997 y la Resolución 619 de 1997); la Ley 693 de 2000, por medio de la cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes y se crean estímulos para su aprobación, comercialización y consumo; la Ley 693 de 1994 de servicios públicos y la Ley 143 de 1994 de energía; y la Ley 697 de 2001, mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía y se promueve la utilización de energías alternativas.

2.4 El reto de la adaptación

No obstante el escepticismo de algunos investigadores en cuanto a la pronosticada magnitud del cambio climático y los efectos adversos sobre los ecosistemas y recursos, numerosos estudios han permitido adquirir un mejor entendimiento de la influencia antrópica en el clima, proporcionado a su vez mayor información para los modelos predictivos y mayor credibilidad en el conjunto de cambios pronosticados anteriormente

descritos. Modelos recientes proyectan futuros cambios en el sistema climático del planeta con una magnitud y escala mayor a los cambios que se habían pronosticado previamente. Adicionalmente, la interacción del cambio climático con otros factores de estrés puede generar impactos mucho más complicados a los pronosticados sobre los ecosistemas, ocasionando que muchos de ellos puedan no recuperarse o adaptarse ante ésta condición (IPCC, 2007).

Por las razones mencionadas anteriormente y a lo largo del documento, la incorporación de medidas de adaptación apropiadas a los planes estratégicos de manejo es un reto importante porque: (1) el sistema climático siempre ha sido y continuará siendo real (condición más evidente al comparar eras geológicas), (2) tales cambios afectarán el alcance de las metas de manejo de ecosistemas y recursos, y (3) existe un nivel de incertidumbre asociado a la magnitud de los cambios climáticos y la magnitud y dirección de la respuesta de los ecosistemas ante ellos.

Implementar planes de manejo frente a futuros cambios es un ejercicio que va acompañado de diversas incertidumbres y pronósticos de futuros cambios. Al incluir lineamientos de manejo y adaptación de ecosistemas ante el cambio climático, los tomadores de decisiones deben anticiparse al efecto directo y a los de la interacción con diferentes tensores de tipo local, siendo fundamental la continua evaluación de la efectividad de las medidas de adaptación. Un componente fundamental para el éxito de la implementación de planes de manejo adaptativo es su la apropiada implementación de las medidas, involucrando diferentes niveles de organización, operación, factores socio-culturales, consideraciones de costo-beneficio y requerimientos de planeación (Keller *et al.*, 2008).

3 DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

3.1 Características generales del área

3.1.1 Ubicación geográfica

El AMP-CRSBeIF se encuentra en la franja continental del Caribe colombiano; es la única área protegida de carácter submarino de Colombia, albergando la fracción más desarrollada de corales de la costa norte (Alonso y Castillo, 2007). Considerada como un área con una alta biodiversidad ecosistémica; se encuentra constituida por los archipiélagos Nuestra Señora del Rosario y de San Bernardo, el parque submarino adyacente Corales del Rosario y de San Bernardo y el Santuario de Flora y Fauna El Corchal “El Mono Hernández”, la zona continental desde el canal del Dique (al norte) hasta Punta San Bernardo y el área marina desde el parque hasta el complejo de isla Fuerte, bajo Bushnell y bajo Burbujas (al sur), extendiéndose hasta la isóbata de los 200m en la plataforma continental. Ocupa un área aproximada de 559000 ha, involucrando los departamentos de Bolívar y Sucre (Figura 8).

En la Figura 8 se encuentran los límites del AMP se encuentran ubicados de acuerdo a siete puntos geográficos distribuidos (Alonso y Castillo, 2007): por el norte desde el punto 1 (75° 45' 23" W y 10° 18' 17.5" N) hasta el punto 2 (75° 30' 8.9" W y 10° 18' 15.9" N); por el oriente desde el punto 2, siguiendo el punto 3 (75° 40' 34.6" W y 9° 39' 25" N), el punto 4 (75° 50' 49.8" W y 9° 38' 48.6" N) hasta el punto 5 (76° 8' 50.9" W y 9° 20' 3.2" N); por el sur desde el punto 5 hasta el punto 6 (76° 22' 17.2" W y 9° 20' 2.9" N), y desde éste hasta la isóbata de los 200 m en el punto 7 (76° 22' 16.8" W y 9° 32' 58.9" N); por el occidente desde el punto 7 hasta alcanzar y cerrar en el punto 1 inicial por la isóbata de los 200 m.

Las formaciones coralinas existentes en la actualidad al interior del AMP-CRSBeIF se encuentran distribuidas principalmente en los fondos marinos alrededor de isla Fuerte, bajo Bushnell y bajo Burbujas, bajo Tortugas, y de las islas que componen los archipiélagos Nuestra Señora del Rosario y de San Bernardo (Figuras 2, 3, 5 y 7).

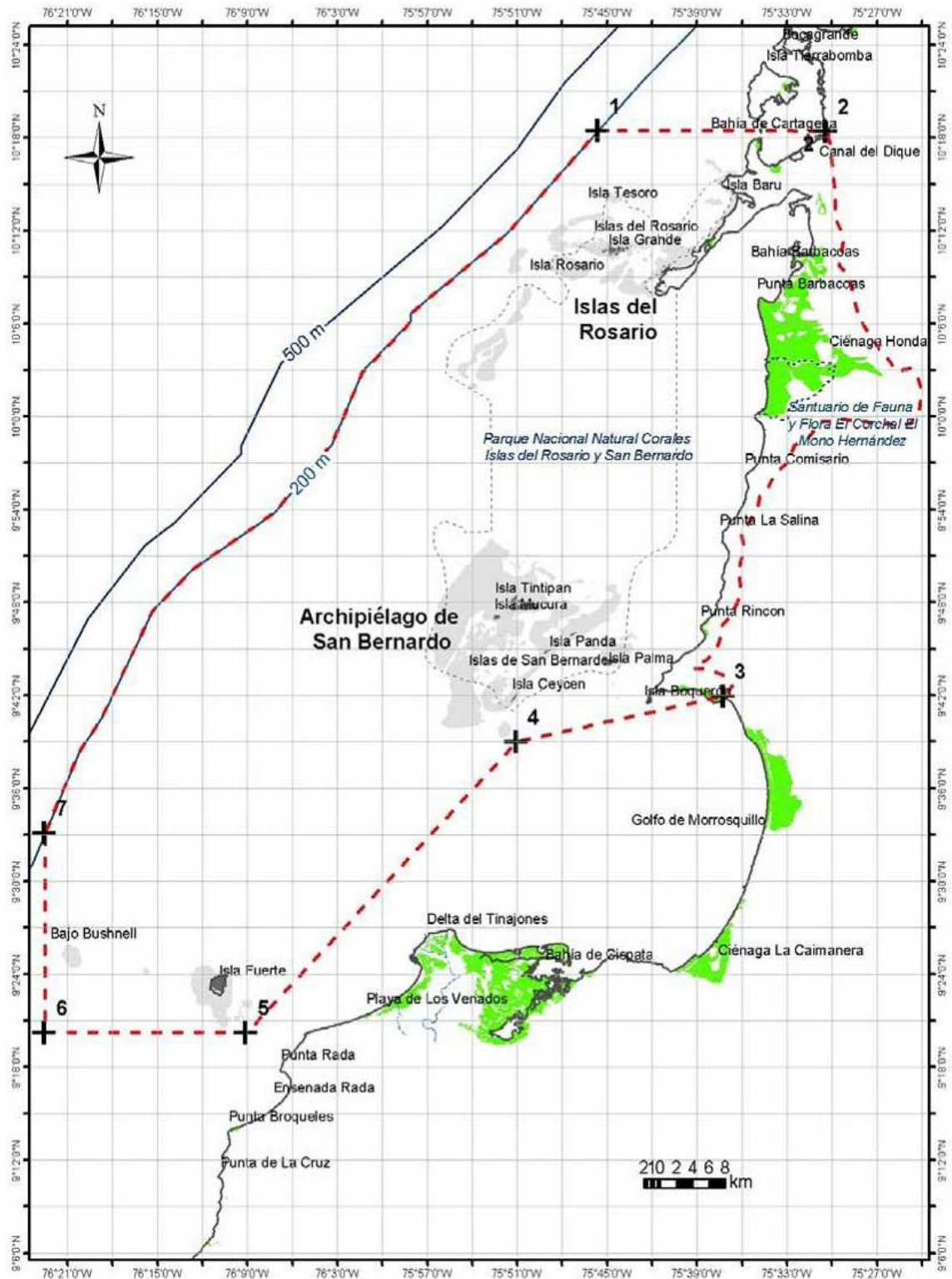


Figura 8. Ubicación y delimitación del AMP-CRSBeIF (Tomado de Alonso y Castillo, 2007).

3.1.2 Clima

El área de estudio se localiza geográficamente en el sector sureste del Caribe colombiano, razón por la cual el régimen climático se encuentra bajo la influencia de los desplazamientos norte - sur de la Zona de Convergencia Intertropical (Z.C.I) y por el movimiento meridional del sistema de monzones americanos, los Vientos Alisios, el paso de las Ondas del este y frentes fríos tributarios del hemisferio norte. De acuerdo con la interacción de estos fenómenos, el clima es de tipo tropical semiárido, con dos periodos climáticos principales conocidos como: (1) época de lluvias o húmeda; se extiende de abril a noviembre con una interrupción durante los meses de junio y julio. Se caracteriza por vientos débiles de orientación variable, un régimen abundante de lluvias y un aumento de la influencia de la contracorriente de Panamá-Colombia debido a la baja influencia de los Vientos Alisios. (2) época seca; durante los meses de diciembre a abril la Z.C.I permanece alrededor de los 0-5° latitud sur, lo que hace que se generen fuertes vientos en toda la cuenca del Caribe (Vientos Alisios), manteniendo una temperatura media anual de 27.7°C. Se caracteriza por lluvias escasas, siendo enero y febrero los meses de más bajos índices de precipitación (Molina *et al.*, 1994; CIOH-CARDIQUE, 1998; Andrade, 2000; INVEMAR-CVS-CARSUCRE, 2001).

3.1.3 Oceanografía

El patrón de corrientes predominante está influenciado por la corriente Caribe y la Contracorriente de Panamá, las cuales dependiendo de la época del año, influyen en mayor o menor grado. Adicionalmente, se presenta una corriente generada por las aguas dulces y fuertemente cargadas de sedimentos que salen del canal del Dique a través de los caños Lequerica y Matunilla, llegan a la bahía de Barbacoas y dependiendo de la época del año pueden o no llegar hasta las islas del Rosario. Igualmente el aporte fluvial de los ríos Sinú y Atrato, y el arroyo Pechelín entre otros, crean masas de agua dulce que juegan un papel importante en la conformación de los campos hidrológicos e hidrodinámicos de la zona. Por ejemplo, la pluma de turbidez del río Sinú tiene un efecto más notorio sobre isla Fuerte y zonas aledañas en época seca, mientras que las aguas del río Atrato alcanzan a tener una mayor influencia sobre la misma zona, aunque leve, en la época húmeda (Leble y Cuignon, 1987; Pujos y Javelaud, 1991; CIOH-CARDIQUE, 1998; Andrade, 2000; INVEMAR-CVS-CARSUCRE, 2001).

De acuerdo con Leble y Cuignon (1987), la circulación de las aguas en áreas aledañas al canal del Dique, se puede dividir en diferentes períodos en el año, donde: durante diciembre y mayo predomina la corriente oceánica del Caribe en dirección suroeste con poco efecto de la corriente proveniente de la bahía de Barbacoas con aguas dulces y turbias del canal del Dique; y entre junio y diciembre, en cambio, la contracorriente de Panamá intensifica la corriente procedente del canal de Dique, y la dirige las aguas hacia las islas del Rosario (Leble y Cuignon, 1987; Becerra *et al.*, 1998).

3.1.4 Hidrografía

Los principales sistemas de aporte de aguas continentales que influyen sobre el área de estudio, se manifiestan de la siguiente manera: (1) los aportes de aguas continentales (industriales y domésticas) de Cartagena e isla Barú, el río Magdalena y el canal del Dique, que tienen una influencia directa en el archipiélago Nuestra Señora del Rosario y áreas aledañas; (2) la cuenca del río Sinú y el golfo de Morrosquillo con su sistema de caños y arroyos (Becerra *et al.*, 1998; INVEMAR, 2002) que tienen influencia sobre el conjunto de islas que conforman el archipiélago de San Bernardo e isla Fuerte.

3.1.5 Geología

El origen de los bajos y las islas de estos Archipiélagos es el resultado de una serie de eventos que incluyen diapirismo lodoso, colonización biológica, cambios en el nivel del mar y procesos kársticos. Durante el Neógeno la actividad tectónica y el diapirismo lodoso comenzaron a plegar los estratos formando domos y colinas submarinas alargadas sobre la plataforma continental (Vernette, 1985), las cuales fueron colonizadas por comunidades coralinas y ecosistemas propios de la zona fótica durante los períodos interglaciales pleistocénicos; época para la cual el nivel del mar debía estar por encima del actual. Durante la glaciación (Wisconsin, ± 120.000 a.p.) estos bancos coralinos quedaron expuestos y produjeron cavidades y conductos que dieron origen a una morfología kárstica. Al finalizar la última glaciación, a principios del Holoceno (± 16.000 a.p.), el nivel del mar comenzó a ascender nuevamente y a cubrir las antiguas formaciones coralinas y el relieve kárstico. Nuevas comunidades coralinas se establecieron sobre las estructuras antiguas constituyendo la base de los arrecifes recientes y actuales (± 8.000 a.p. y hasta el presente) (López- Victoria, 1999). Durante la última transgresión marina (hace aproximadamente 2.500 años), existía un nivel del mar por lo menos 3 metros por encima del actual (Burel y Vernet, 1982), durante la cual se habrían formado las estructuras

arrecifales que conforman hoy en día las islas y que al quedar emergidas fueron colonizadas por manglares y organismos terrestres (López-Victoria, 1999).

Teniendo en cuenta las características generales del AMP y con el fin de establecer el estado actual de las formaciones coralinas, se desarrolla un diagnóstico ambiental que parte de la recopilación bibliográfica y el trabajo de verificación realizado por Alonso y Castillo (2007) en el cuál se analizaron los atributos biológicos y las actividades socioeconómicas que imperan en CRSBeIF.

3.2 Problemas ambientales e impactos sobre los arrecifes del área

El AMP constituye una vasta extensión marino – costera e insular en la que confluyen una variedad de ecosistemas representativos del Caribe y una gama de interacciones determinadas por la intervención humana, para el uso y aprovechamiento de los bienes y servicios provistos por los ecosistemas.

Desde la ocupación precolombina en la actual AMP, la amplia oferta ambiental generada por manglares, corales y praderas, entre otros, ha sido aprovechada en torno a una demanda social; alcanzando un alto grado de complejidad por demandas ampliadas para abastecer mercados pesqueros externos y para ofrecer los servicios recreativos y turísticos que se han dado desde años 70, década en la que se consideraba aun satisfactorio el estado de los ecosistemas coralinos.

El grado de complejidad de las interacciones presentes en el AMP, se agudiza al considerar su proximidad al complejo industrial, portuario, turístico y urbano de la ciudad de Cartagena. Esto ha determinado fuertes relaciones funcionales que si bien han contribuido al crecimiento económico regional y nacional, también han causado impactos en los ecosistemas, constituyendo un factor de riesgo para la preservación de la oferta ambiental y los bienes y servicios que constituyen la base del ingreso económico para la región.

La situación actual de las formaciones coralinas en el área, responde tanto a la magnitud y forma en que operan los procesos ecológicos, como a los factores que afectan el desarrollo coralino a nivel local. De esta forma, son diversos los factores que han determinado el deterioro de los arrecifes coralinos, algunos de origen natural y otros

antropogénicos. A continuación se presentan los principales problemas ambientales que se conocen han generado impacto en las áreas coralinas encontradas en el AMP-CRSBeIF.

3.2.1 Anomalías térmicas: TSM

El blanqueamiento coralino asociado al incremento de la TSM se ha presentado de forma intensa y frecuente durante las últimas tres décadas en prácticamente todos los mares tropicales del mundo. Aunque la temperatura se ha mantenido relativamente constante en las últimas décadas en el área de estudio (Zapata, 2005), los eventos de El Niño de 1982-1983 y el de 1988-1990, causaron blanqueamientos masivos de diferentes especies de corales, en especial de los Acropóridos, por un incremento anormal de la TSM de hasta 33 °C (Alvarado *et al.* 1986; Solano *et al.* 1993; Solano, 1994). Sin embargo, en ninguno se ha documentado una magnitud tan alta como en el evento que se registró durante el 2005 en los arrecifes de los archipiélagos Nuestra Señora del Rosario y de San Bernardo (Gil-Agudelo *et al.*, 2006).

Durante el año 2005, las aguas superficiales del Gran Caribe se calentaron gradualmente alcanzando el registro histórico más alto en los últimos 100 años, ocasionando un evento masivo de blanqueamiento (Figura 9) (Wilkinson y Souter, 2008). En el Caribe colombiano, los primeros signos de este aumento anómalo en la TSM se observaron durante el mes de mayo, con valores que alcanzaron un máximo de entre 1.5 y 2.5 °C por encima de la media mensual en el mes de junio. Hacia finales del mes de junio se reportó la ocurrencia de un evento de blanqueamiento masivo en los archipiélagos Nuestra Señora del Rosario y de San Bernardo, manteniéndose hasta agosto del mismo año (Gil-Agudelo *et al.*, 2006).

Impacto

Tras el evento masivo de blanqueamiento de 2005 se realizó una evaluación rápida del impacto en el ecosistema arrecifal en los archipiélagos Nuestra Señora del Rosario y de San Bernardo (Figura 9 d-e-f). En Rosario se encontró gran variabilidad en el grado de afectación (proporción de colonias), variando entre un 1 y 90%, con una mortalidad asociada al fenómeno que varió entre 0 y 8%. En San Bernardo fueron encontradas entre 1 y 70% de las colonias coralinas con señales de blanqueamiento y entre 0 y 5% con mortalidad asociada al fenómeno (Gil-Agudelo *et al.*, 2006).

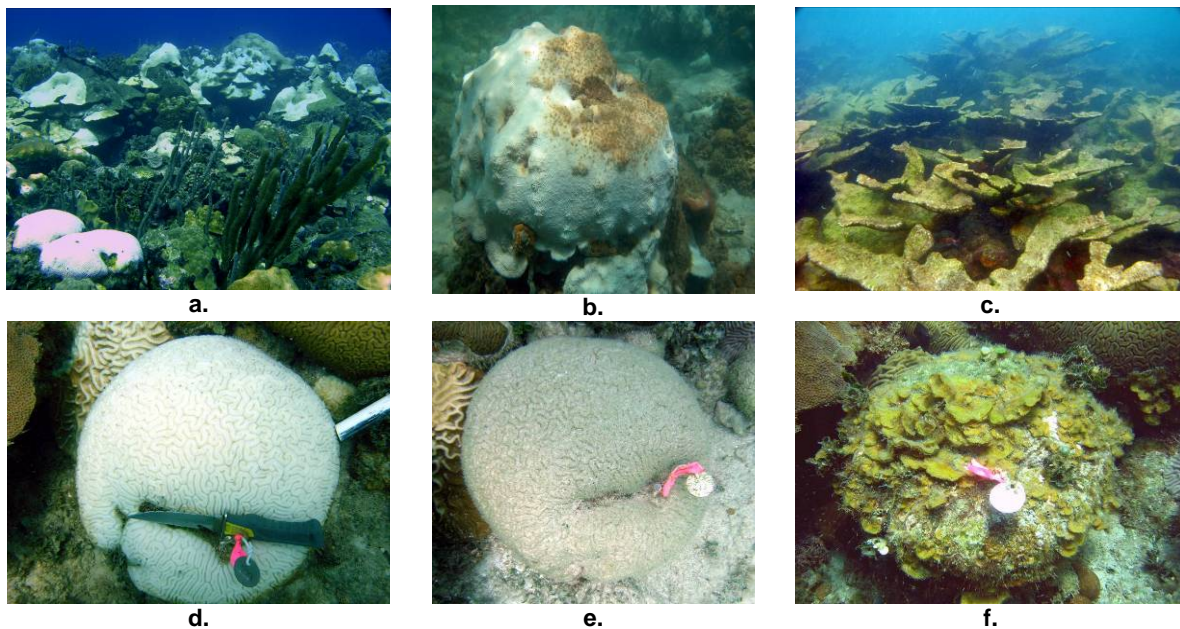


Figura 9. Impacto generado por el blanqueamiento de 2005 en el AMP-CRSBeIF. (a.) Paisaje submarino con un alto número de colonias blanqueadas. (b.) Colonia de *Montastraea faveolata* totalmente blanqueada; se observa en la parte superior tejido coralino recién muerto con inicio de colonización por algas. (c.) Corales *Acropora palmata* recién muertos durante el evento. (d. y e.) Seguimiento de los investigadores Diego L. Gil-Agudelo y Jaime Garzón-Ferreira de una colonia blanqueada de *Diploria labyrinthiformis* en agosto de 2005 y octubre de 2005, respectivamente. (f.) Reevaluación de la misma colonia en el marco del proyecto INAP en mayo de 2009.

Por la sensibilidad y la probable limitación de los corales en la aclimatación y adaptación, los arrecifes coralinos han disminuido la cobertura coralina viva y su diversidad; condición al parecer relacionada con los aumentos anómalos en la TSM y de la frecuencia de eventos masivos de blanqueamiento. Algunas especies coralinas han sido más susceptibles a estos cambios (como los corales ramificados del género *Acropora*), mostrando mortandades masivas y degradación general de las comunidades (Marshall y Shuttenberg, 2006). Asimismo, durante la evaluación del evento de 2005 se evidenció un gran número de estos corales (*Acropora palmata* y *A. cervicornis*) recién muertas en bajos aledaños a las islas del Rosario (Gil-Agudelo obs. pers.) (Figura 9 - c). La pérdida de estas especies genera un alto impacto en la estructura y diversidad de hábitats, afectando a su vez otras especies ecológicamente relacionadas (Marshall y Shuttenberg, 2006).

El calentamiento del agua favorece también el crecimiento de microalgas y acelera los procesos fotosintéticos en presencia de suficientes nutrientes (Smayda y Shimizu, 1993; Tester, 1996). Además, muchos autores enfatizan que la cobertura de algas incrementó rápidamente después de la mortandad masiva de *Diadema antillarum* en 1982-1984,

mediada aparentemente por el aumento en la temperatura (Garzón-Ferreira y Díaz, 2002; Cendales, 2002).

3.2.2 Sobrepesca

Esta situación es considerada una de las amenazas más importantes a la diversidad biológica marina, ya que puede llegar a afectar los beneficios ecológicos y económicos del ecosistema (McClanahan, 1995; Roberts, 1995). El acelerado crecimiento de la población ha generado una gran demanda de los arrecifes como fuente de alimento (Chiappone, 2001) tanto a nivel mundial, regional y local; situación que ha generado una mayor presión sobre el uso del ecosistema.

En el área, la pesca se realiza con fines de subsistencia y con fines comerciales. El 81% de las familias se dedica a la pesca, la actividad se realiza dentro de los límites de los Archipiélagos y los métodos más usados por los pescadores son, el nylon (mediante fondeo o correteo), el rifle o arpón y en menor escala el chinchorro y la varilla, esta última utilizada para pesca de langosta. Se utilizan además técnicas artesanales de pesca como buceo, atarraya, trasmallo, red agallera y nasa (CIOH - CARDIQUE, 1998). Es importante mencionar que no todos los pescadores pertenecen a las comunidades locales, algunos provienen de Cartagena, Berrugas, Rincón y Tolú, entre otros.

Aunque los métodos con dinamita o pólvora no son nombrados por los pescadores, se presume que todavía es utilizado regularmente en las islas para la extracción de sardina y otras especies de interés comercial (Becerra *et al.*, 1998; Pineda *et al.*, 2006).

De acuerdo a la información de las Agendas Ambientales, es notoria la disminución de algunas especies pesqueras en el área. La reducción drástica de las poblaciones de organismos comerciales es un factor que se puede considerar como evidencia del deterioro actual de los arrecifes en el mundo. En AMP-CRSBeIF no existen estadísticas pesqueras confiables para documentar este problema; sin embargo, si se ha reportado la pérdida o reducción de especies de importancia comercial y ecológica (Navas-Camacho *et al.*, en prensa).

Impacto

La sobrepesca tiene efectos negativos directos sobre los arrecifes coralinos; aunque este ecosistema posee una gran complejidad trófica, el tamaño de las poblaciones y el

ambiente son reducidos. Por esta razón las poblaciones pueden llegar a reducirse sustancialmente (Hatcher *et al.*, 1989; Birkeland, 1997). La pesca afecta directamente: (1) - una población - cuando se observan cambios en la densidad y biomasa (Russ, 1991); p.ej. la abundancia de peces depredadores grandes es casi siempre una función de la intensidad pesquera, así, en áreas de pesca en el AMP-CRSBeIF, estos peces depredadores (pargos, meros y chernas) no son abundantes y representan solo una fracción de toda la comunidad (Navas-Camacho *et al.*, en prensa). (2) - la comunidad - cuando involucran cambios en interacciones biológicas (relación depredador-presa y competencias); p.ej. el declive de las principales poblaciones de peces de importancia comercial ha generado una disminución de la presión de depredación sobre sus presas (Chiappone, 2001), como es el caso del incremento en la abundancia de peces loro (Navas-Camacho *et al.*, en prensa).



Figura 10. Colonia coralina aparentemente afectada por métodos de pesca destructivos como la dinamita.

La pesca afecta indirectamente (3) - una población y comunidad- con actividades que generan un impacto físico en el hábitat (Russ, 1991). Investigaciones previas han demostrado que la abundancia de peces arrecifales está estrechamente relacionada con su complejidad estructural (Luckhurst y Luckhurst, 1978). Los efectos indirectos se evidencian fundamentalmente cuando se usan métodos de pesca destructivos que implican una disminución en la complejidad

del hábitat (reducción en la cobertura de coral vivo) (Chiappone, 2001) (Figura 10). Como métodos de pesca destructivos utilizados en el AMP podemos citar los explosivos (dinamita y pólvora), las redes de arrastre y las nasas. Una reducción en la cobertura coralina provoca a su vez una disminución del reclutamiento de aquellas especies que requieren la presencia de coral vivo como sustrato para su asentamiento (Russ, 1991) y pérdida de refugio para organismos que necesitan protección de sus depredadores.

En el AMP-CRSBeIF, la disminución de especies por pesca ha generado cambios en la dinámica del ambiente coralino, cambio en los ensamblajes de peces, moluscos, crustáceos y equinodermos, que han inducido a su vez, al aumento de las poblaciones de

algas (Garzón-Ferreira, 1997; Díaz-Pulido y Díaz, 1997; Jackson *et al.*, 2001; Bellwood *et al.*, 2004). Es evidente en todos los arrecifes del Caribe colombiano el agotamiento de organismos de valor pesquero como pargos (Lutjanidae), meros y chernas (serranidae) y roncós (Haemulidae), (Díaz *et al.*, 2001).

Otras poblaciones han sido diezgadas considerablemente con el aumento de la demanda de recursos pesqueros, dentro de las que se encuentran langostas (Palinuridae), cangrejos y caracoles (Díaz *et al.*, 2001). El caracol pala *Strombus gigas* (recurso amenazado según CITES) ha sido intensamente explotado en el área; los reportes de abundancia son muy bajos con respecto a otros estudios en el resto del Caribe (< 4 individuos ha⁻¹) y comprometen la conservación de la especie aumentando así su riesgo de extinción (Ballesteros-Galvis, 2005 y Gómez-Campo, 2005). Entre las especies categorizadas como críticas o en peligro se encuentran el mero guasa *Epinephelus itajara*, las tortugas carey (*Eretmochelys imbricata*), tortuga verde *Chelonia mydas* y la caguama *Lepidochelys olivácea*.

3.2.3 Degradación de la calidad del agua

La degradación de la calidad del agua podría ser el problema más importante y difundido a nivel de todo el Gran Caribe, genera una variedad de efectos negativos en los arrecifes coralinos y otros ecosistemas costeros (Rogers, 1990; Hallock *et al.*, 1993). La calidad del agua costera no ha sido foco de interés general en la región y se ha sobrestimado la capacidad del océano para absorber las descargas de contaminantes. La gran sensibilidad de los arrecifes coralinos a los cambios de calidad de agua puede vincularse a tres factores (USEPA, 1983; Pastorak y Bilyard, 1985): el estrecho margen de tolerancia fisiológica de los organismos arrecifales; la susceptibilidad a las perturbaciones de la interacción entre especies clave (planta–herbívoro, simbiosis); y el aumento de la toxicidad (incremento de solubilidad, gran asimilación) de algunos contaminantes a altas temperaturas.

Los factores que generan la pérdida de la calidad del agua en el AMP pueden categorizarse según su origen (puntual y no puntual; industrial y doméstico) y por su contenido (tipo de contaminante). Se consideran fuentes puntuales principalmente las de origen industrial y las descargas de tratamiento de nutrientes, mientras que son consideradas fuentes no puntuales las provenientes de áreas tanto urbanas como no

urbanas, como las descargas de aguas pluviales (superficiales y subterráneas), de inundaciones en áreas urbanas y de plantaciones agrícolas en áreas no urbanas (Marsh, 1977).

La contaminación en el AMP-CRSBeIF está determinada por los vertimientos de aguas residuales, la actividad portuaria y el transporte de lanchas, la agricultura e industria camaronera, las descargas del río Sinú y las descargas del canal del Dique en la bahía de Cartagena (INVEMAR, 2002). Históricamente en el archipiélago Nuestra Señora del Rosario, se reconocen: 1) algunos efectos del ingreso de sólidos suspendidos y nutrientes y contaminantes provenientes del canal del Dique; (2) la fuente de nutrientes que parece proceder de los vertimientos que realizan los asentamientos humanos presentes en el área; (3) valores de hidrocarburos disueltos que pueden llegar a ser riesgosos en especial durante época de lluvias y que están relacionados con el movimiento de buques, el canal del Dique y el vertimiento de residuos industriales del sector de Mamonal y domésticos de la ciudad; y (4) la presencia de metales pesados como el Cromo que han sido detectados en áreas como la bahía de Barbacoas.

El área de islas del archipiélago de San Bernardo e isla Fuerte se ven influenciadas por el río Sinú (y en menor medida por el Atrato) (Pujos y Javelaud, 1991), las cuencas de los ríos Zaragocilla, Francés, Pechelin y arroyo Villeros; se ha encontrado evidencia de residuos de plaguicidas organoclorados, debido a la actividad agrícola que se presenta en dichas cuencas (INVEMAR, 2002).

Con respecto a la contaminación microbiológica, las islas del Rosario y áreas más costeras como isla Barú y la bahía de Barbacoas se ven influenciadas por las aguas provenientes del canal del Dique a través de sus aportes por los caños Lequerica y Matunilla, estaciones en donde se detectaron altas concentraciones de coliformes totales y fecales. Igualmente áreas aledañas a punta San Bernardo muestran evidencias de presencia de coliformes (INVEMAR, 2002). Debido a la interacción de numerosos factores existentes en la actualidad y sus efectos sinérgicos, se ha dificultado la identificación del efecto puntual y de las fuentes directas de impactos sobre los arrecifes coralinos relacionados con la contaminación química de las aguas y las elevadas tasas de sedimentación por los aportes de ríos (Walker y Ormond, 1982).

Los hidrocarburos de petróleo son uno de varios tipos de contaminantes que se introducen al ambiente desde fuentes puntuales y no puntuales. La contaminación por hidrocarburos desde fuentes industriales y domésticas de petróleo y aceites es un problema continuo en el Gran Caribe. En año 2005, durante la maniobra de zarpe de la M/N Saetta en la bahía de Cartagena (canal Colonial), ocurrió un accidente que ocasionó el vertimiento de combustible fuel oil No. 6, frente a Boca Chica; como consecuencia, se presentó una emergencia ambiental en las islas y playas ubicadas al sur-oeste de este punto, más específicamente el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo (PNNCRSB), sector Islas del Rosario.

A continuación se describe brevemente el origen de la problemática del canal del Dique:

El canal del Dique hace parte de la cuenca baja del río Magdalena y se puede considerar como un brazo “artificial” del río que nace a la altura de la población de Calamar (Departamento de Bolívar). Es considerado como una fuente de agua potable para las poblaciones ribereñas y conecta una serie de ciénagas y canales naturales preexistentes que aportan un volumen importante de líquidos y sedimentos a la bahía de Cartagena y a la bahía de Barbacoas (CIOH-CARDIQUE, 1998; Mogollón, 2000). Con el tiempo, las características del Canal han variado debido al incremento de las fuentes contaminantes y a la deforestación de las cuencas del Magdalena y Cauca, dando como resultado la erosión que llena a los ríos de limo, arenas y lodos, causando diferentes respuestas en el área, lo que repercute en efectos perjudiciales a los ecosistemas asociados (UN-CIOH, 1999). A partir de 1984 el Canal permite la entrada de 10 millones de metros cúbicos de sedimentos al año, de los cuales 3.5 millones salen por Pasacaballos y se depositan en la bahía de Cartagena, el resto se reparte en el camino entre los demás caños (CIOH-CARDIQUE, 1998). La bahía de Barbacoas recibe aporte de aguas continentales cargadas de sedimentos y contaminantes del canal del Dique, a través de los canales de Matunilla y Lequerica afectando la calidad de sus aguas. Parte de estos sedimentos alcanzan las islas del Rosario, por la dinámica imperante en la zona (Alvarado y Corchuelo, 1992). La sedimentación es especialmente crítica a la entrada del Canal, donde en varias ocasiones se ha interrumpido el flujo proveniente del río Magdalena. Sin embargo, otros sitios como las bifurcaciones de los caños Correa, Matunilla y Lequerica y la desembocadura en Pasacaballos, se ven periódicamente afectados por este proceso (UJTL-INDERENA, 1989).

Las actividades de desarrollo costero en la década de los ochenta, como dragados asociados con la construcción de hoteles, condominios, vías y otras instalaciones, al igual que la extracción y relleno de playas, fueron también causas de alta sedimentación en el área (Sarmiento *et al.*, 1989; Penereiro *et al.*, 1990; INVEMAR, 2003).

Impacto

Los arrecifes coralinos son muy susceptibles al incremento de los nutrientes (Smith *et al.*, 1981; Hatcher *et al.*, 1989), que a su vez, pueden tomar la forma de nutrientes inorgánicos disueltos, materia orgánica disuelta y/o material orgánico particulado (Pastorak y Bilyard, 1985; Marszalek, 1987). El exceso de nutrientes resulta perjudicial para los arrecifes coralinos porque han ocasionado: una reducción en la transparencia del agua, que se refleja en un aumento de carbono orgánico particulado y fitoplancton; inhibición de la calcificación por los fosfatos, que puede ocurrir a concentraciones mayores de 0.02 μm ; interrupción de los procesos biológicos, como son las alteraciones por sobrealimentación, aumento de la competencia e incremento de la depredación; y el aumento de la tasa de bioerosión (Pastorak y Bilyard, 1985; Hallock y Schlager, 1986; Birkeland, 1988; Grigg y Dollar, 1990).

La introducción a gran escala de contaminantes como plaguicidas e hidrocarburos en zonas costeras es un problema creciente en el área. La mayoría de los contaminantes pueden ser altamente tóxicos y bioacumulativos, lo que implica que algunas sustancias no son metabolizadas por los organismos y sus concentraciones aumentan a medida que se incrementa el nivel en la trama trófica. La información existente para poder comprender el alcance de esta problemática, y la importancia relativa de efectos crónicos y agudos de los contaminantes sobre los ecosistemas arrecifales, es escasa (PNUMA, 1994).

Los derrames de petróleo han tenido consecuencias severas a corto y largo plazo para la viabilidad de los arrecifes coralinos, desde el punto de vista de su cobertura, crecimiento y diversidad (Guzmán *et al.*, 1991). Los experimentos de laboratorio y las observaciones de campo han demostrado que los efectos a largo plazo de la contaminación por petróleo pueden impedir la colonización por corales y otros organismos, disminuir su viabilidad y crecimiento, dañar los sistemas reproductivos (menor número de colonias reproductoras, menor producción de larvas), alterar el comportamiento y las respuestas alimentarias ocasionando una producción excesiva de mucus que estimula el crecimiento de bacterias

y la destrucción del coral (Loya y Rinkevich, 1980). A pesar de este conocimiento, es difícil determinar el impacto directo de estas emergencia ambientales sobre los arrecifes coralinos; los resultados encontrados en el monitoreo realizado durante el derrame del M/N Saetta en la bahía de Cartagena no reflejaron daños evidentes a corto y mediano plazo sobre el ecosistema, sin embargo, es fundamental establecer un protocolo de monitoreo como parte de un plan de contingencia ante estos sucesos.

Los efectos negativos de la sedimentación se reflejan principalmente en una reducción de los niveles de iluminación y un incremento de la turbidez (Bak, 1978). En general, la deposición de sedimentos es más perjudicial que la alta turbidez; cuando la tasa de sedimentación excede la tasa de penetración de luz, se presenta una serie de etapas bien definidas y mediadas por bacterias que culminan en una necrosis del tejido coralino (Chiappone, 2001). Adicionalmente, se ha documentado: disminución en la tasa de calcificación, fotosíntesis, tasa de incorporación de nutrientes; y un aumento de la producción de mucus, expulsión de zooxantelas y patologías en corales (Rogers, 1983; revisada en Brown y Howard, 1985). Otros efectos adversos que se le atribuyen a la sedimentación son asfixia de los corales, reducción de la diversidad, del reclutamiento y la tasa de crecimiento, y de la cobertura coralina (Dodge *et al.*, 1974; Bak, 1978; Cortés y Risk, 1984, 1985).

Aparentemente, los efectos de la sedimentación en la década de los ochentas en el AMP-CRSBeIF, agudizados por intensas actividades de dragado en el canal del Dique, con los valores más altos después de los realizados en los años cincuentas, incrementó el impacto sobre las formaciones coralinas, aportó una alta carga de sedimentos y disminuyó la transparencia en el agua (Barón *et al.*, 1984). Tal incremento en la turbidez posiblemente disminuyó los niveles intensidad lumínica para los corales, afectó la fotosíntesis de las algas simbiotas y redujo las tasas de calcificación; lo que contribuyó a la degradación de área completas (Restrepo *et al.*, 2006).

3.2.4 Turismo masivo y desarrollo costero

Dentro del AMP, el turismo es una actividad que se desarrolla principalmente en los Archipiélagos, isla Fuerte y Barú.

En el caso del archipiélago Nuestra Señora del Rosario, la actividad turística se concentra principalmente en las islas Pirata, Grande, San Martín y el sector de caño Ratón. Las consecuencias del flujo desordenado y continuo de visitantes se expresa en varios impactos ambientales: contaminación del territorio causada por desperdicios domésticos, desagües y vertimientos de combustibles, erosión de las playas y resuspensión de sedimentos provocados por la navegación de lanchas rápidas, rompimiento de corales por buceo y anclaje, extracción de recursos marinos, aumento de la turbidez del agua e incremento en la demanda de recursos alimenticios provenientes del mar, además de la demanda de espacio (Becerra *et al.*, 1998).

En el área del archipiélago de San Bernardo, de acuerdo a los resultados del trabajo realizado por Flórez (1999), el desarrollo de la actividad turística tiene una estrecha relación con el crecimiento poblacional y la venta de lotes en el litoral de las islas, causando pérdida del ecosistema y cambio de las condiciones naturales del suelo. El desarrollo de visitas diarias hacia las islas, desde Tolú y Coveñas, causa un fuerte impacto al ecosistema insular debido al recorrido que realizan en el litoral y el sistema lagunar de la isla Tintipán.

El continuo crecimiento del turismo y el buceo recreativo pueden entrar en conflicto con los valores ecológicos que forman la base de las AMPs. Estas actividades ocasionan una degradación acelerada del ambiente y reducen los valores recreativos, bienes y servicios que ofrece el ecosistema (Chiappone, 2001). Adicionalmente, existen otros disturbios derivados dentro de los que se encuentran: navegación, anclaje y parqueo inapropiado de botes, particularmente en áreas someras o arrecifes franjeantes; la introducción de basuras al medio marino; la demanda de animales marinos como souvenirs (corales); el derrame de aceites por operaciones de botes con motor y el sobrepaso de los límites de capacidad de carga del área.

Además, como consecuencia del crecimiento costero se encuentran las actividades de construcción sin ningún criterio ecológico o saneamiento ambiental, los métodos utilizados para construir obras civiles, dragado y rellenos para la construcción de muelles e islas, el mantenimiento de canales para la navegación y el desbroce de terrenos costeros (Becerra *et al.*, 1998; Pineda *et al.*, 2006). Además, la presencia de nuevos actores ha provocado el desplazamiento de los nativos e influenciado directamente en cambios culturales (Becerra *et al.*, 1998).

Por otra parte, las debilidades que en términos generales describen la problemática del AMP son: la carencia de servicios públicos en los centros poblados, principalmente la escasez de agua dulce y de sistemas para el manejo y tratamiento de aguas servidas y desechos sólidos; y la insostenibilidad social, económica y ambiental de las actividades productivas y de generación de servicios. Esto, debido a la deficiente educación y capacitación de la población local, la debilidad organizativa de la población, el desarrollo de prácticas de uso y aprovechamiento basadas en la maximización de beneficios de corto plazo y la debilidad en el control y vigilancia.

Impacto

A nivel general, el principal impacto que resulta del uso recreativo intensivo es sobre la estructura física del arrecife. No obstante, la cuantificación de los impactos físicos es difícil porque generalmente se encuentran camuflados por la variabilidad natural del ecosistema. Estas actividades, sin embargo, producen perturbaciones de poca intensidad y a largo plazo en los arrecifes coralinos (Hawkins y Roberts, 1992; Allison, 1996). Los impactos potenciales del uso recreativo en el área son: alteración en el comportamiento de los organismos, fragmentación y raspaduras en colonias coralinas e incremento en la mortalidad de corales. El contacto físico con colonias coralinas (fracturas, raspaduras, etc.) provoca además, la pérdida de mucus de la superficie del coral, lo que genera susceptibilidad a enfermedades, invasión algal y disminución en la capacidad de remoción de sedimentos (Hawkins y Roberts, 1992). El daño incidental es común en áreas arrecifales de gran uso. En el archipiélago de San Bernardo y en áreas cercanas a isla Rosario se han observado volcamientos, rayones y fragmentaciones en colonias altamente expuestas a turistas, evidenciado en la proliferación de algas sobre coral recién muerto (Rojas, 2004).

El desarrollo costero genera impactos directos sobre el ecosistema en el AMP-CRSBeIF; evidenciado en la destrucción de hábitats para la construcción o adecuación de islas con material calcáreo proveniente de corales y otros organismos arrecifales (Alvarado *et al.*, 1986).

En la Tabla 2 se resumen los principales problemas identificados en el AMP-CRSBeIF y su respectivo impacto sobre el ecosistema arrecifal. Cada categoría se especifica para las principales áreas coralinas.

Tabla 2. Identificación de las condiciones que generan un impacto sobre los arrecifes coralinos en los diferentes sectores que comprenden el AMP. 0: no hay impacto 1: impacto bajo, 3: impacto medio, 5: impacto alto (2 y 4 son niveles intermedios). NI: no se dispone de información, NA: no aplica (modificado de Alonso y Castillo, 2007).

Problema	Impacto	Isla Barú - Isla Periquito	Isla Tesoro	Isla Grande-Bajos del norte	Isla Grande-Bajos del sur	Complejo Pajarales	Isla Rosario	Isla Arena - Bajos del sur	Bajo Tortugas	Isla Tintipán - Bajos del norte	Isla Múcura	Santa Cruz del Islote	Isla Maravilla - Bajos aledaños	Isla Panda - Isla Mangle - Isla Ceycén	Isla Palma	Isla Fuerte	Bajo Bushnell-Bajo Burbujas
Sobrepesca	Extracción indiscriminada de recursos (poblaciones en veda, tallas mínimas de captura)	5	3	5	5	5	4	5	4	5	5	5	5	4	4	5	3
	Extracción de recursos no objetos de pesca (herbívoros)	5	3	5	5	5	4	5	4	4	5	5	4	4	4	4	3
	Pesca con artes nocivos o destructivos	4	1	2	2	2	3	3	2	3	3	3	4	3	2	2	1
Degradación de la calidad del agua	Altos niveles de nutrientes	3	1	2	3	3	2	4	2	2	2	2	2	2	2	3	1
	Presencia de contaminantes químicos (metales pesados, bifenoles, policlorinados, hidrocarburos, plaguicidas)	3	1	2	3	3	2	4	2	2	2	2	2	2	2	3	1
	Sedimentación	3	1	2	3	3	2	4	2	2	2	2	2	2	2	3	1

Problema		Impacto	Isla Barú - Isla Periquito	Isla Tesoro	Isla Grande-Bajos del norte	Isla Grande-Bajos del sur	Complejo Pajarales	Isla Rosario	Isla Arena - Bajos del sur	Bajo Tortugas	Isla Tintipán - Bajos del norte	Isla Múcura	Santa Cruz del Islote	Isla Maravilla - Bajos aledaños	Isla Panda - Isla Mangle - Isla Ceycén	Isla Palma	Isla Fuerte	Bajo Bushnell-Bajo Burbuja
Turismo masivo y desarrollo costero	Producción de desperdicios domésticos	Aumento de: fragmentación, raspaduras y volcamiento de colonias coralinas - susceptibilidad a enfermedades, invasión algal, disminución en la capacidad de remoción de sedimentos y mortalidad coralina parcial y total	4	1	4	3	4	2	1	0	2	4	4	0	2	3	2	0
	Vertimiento de aguas residuales		4	1	4	3	3	0	1	0	2	4	4	0	2	2	2	0
	Actividades náuticas (anclaje, y vertimiento de combustibles)		3	1	4	3	4	2	2	1	2	3	3	1	2	2	2	1
	Buceo recreativo		3	2	4	4	4	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	2
	Extracción de organismos marinos		3	1	4	3	4	3	3	1	2	4	4	3	3	3	3	0
	Construcción de infraestructura habitacional y edificaciones		4	1	4	4	4	1	1	NA	3	4	5	1	2	3	4	0
	Construcción de obras civiles		5	1	4	3	3	0	0	NA	2	2	3	0	2	3	2	0
Cambio climático	Aumento de la temperatura del agua	Fenómenos de blanqueamiento, muerte coralina, invasión por algas, disminución de tasa de crecimiento y calcificación	2	1	2	2	2	2	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2

3.3 Causas raíces de los impactos

A partir del análisis de las relaciones entre los problemas, impactos, y los sectores de mayor influencia, se establecen causas raíces (Alonso y Castillo, 2007), hacia las cuales se orientaron la elaboración de políticas y estructura administrativa así como los lineamientos de manejo que integran la sostenibilidad ambiental en un escenario de cambio climático.

Las causas raíces determinadas fueron:

- Escaso fortalecimiento de los conocimientos básicos sobre el valor ecológico y económico de los arrecifes coralinos y ecosistemas adyacentes.
- Insuficiente formación sobre el uso sostenible de los recursos; poca participación comunitaria.
- Falta de conocimientos básicos por parte de actores involucrados sobre la crisis que enfrentan los arrecifes coralinos a nivel mundial: conceptos básicos, pronósticos y estrategias de adaptación.
- Carencia de un plan de manejo de arrecifes coralinos y estrategias de sostenibilidad y conservación, teniendo en cuenta que el área alberga la formación coralina más importante en el Caribe insular continental.
- El manejo de la calidad del agua no ha sido foco de interés general y se ha sobrestimado la capacidad del sistema para absorber las descargas de contaminantes (descargas locales y canal del Dique).
- Falta de capacidad institucional, control y vigilancia. Medidas efectivas para el cumplimiento de la normatividad existente.
- Deficiente ordenamiento: no ha existido una delimitación y definición clara de la zona de amortiguación del parque; se registra la incompatibilidad de usos entre la parte sumergida y emergida;
- Falta fortalecimiento sobre el uso sostenible de los recursos; participación comunitaria.
- Posesión ilegal de los bienes baldíos pertenecientes a la nación.
- Falta de organización en el manejo de los recursos del PNNCRSB por parte del gobierno, las entidades responsables y los usuarios.
- Falta de coordinación y claridad en la definición de las competencias de las entidades responsables.

4 LINEAMIENTOS PARA UN PLAN DE MANEJO DE ARRECIFES CORALINOS EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Los arrecifes coralinos hacen parte de los ecosistemas costeros estratégicos (manglares, praderas de pastos marinos, estuarios y lagunas costeras, fondos blandos, litorales rocosos) que comparten algunas características básicas en cuanto a la generación de hábitats, cumpliendo roles fundamentales en el mantenimiento de numerosas comunidades. Es debido a éstas características que son reconocidos como los ecosistemas marinos más productivos y biodiversos, siendo ampliamente utilizados por los asentamientos humanos como fuente de sustento y bienestar, usualmente sin un control apropiado.

Hay un consenso mundial basado en un amplio conocimiento, sobre la preocupación del continuo aumento de la presión ejercida sobre los arrecifes coralinos a causa del crecimiento poblacional costero y la proyección de los cambios en el sistema climático. Así, la implementación o creación de estrategias legales fundamentadas en la legislación o experiencias internacionales que permitan el adecuado manejo de los sistemas estratégicos del país, son necesarias para asegurar las metas de conservación y uso sostenible de los sistemas biológicos (Garay-Tinoco, 2006; Keller *et al.*, 2008; López-Rodríguez *et al.*, 2008); entendido este como el manejo determinado que permita mayores beneficio a la población actual, pero manteniendo los procesos ecológicos de sistema, la identidad cultural de las comunidades y un desarrollo económico eficiente y equitativo entre generaciones.

Por lo anterior, reconociéndolo como un insumo para la elaboración del Plan de Manejo para los arrecifes del área, los lineamientos de manejo en este documento, corresponden a una serie de líneas de acción, que producto de una diagnóstico ambiental, están orientadas a prevenir, mitigar, corregir, compensar o adaptarse a los efectos ambientales negativos que generan un impacto sobre los arrecifes coralinos en el contexto de cambio climático. La ejecución de las líneas de acción comprende la coordinación de entidades

responsables, con amplia jurisdicción, de gran injerencia en el tema en la región y todas aquellas que de alguna manera, intervienen dentro del contexto en el que se desarrollan las actividades, ya sea de carácter nacional, regional o local; así como también las comunidades que se benefician de manera directa o indirecta del objeto del plan.

Dentro de las premisas fundamentales para definir los lineamientos de manejo en el AMP-CRSBeIF, se encuentran:

(1) Que las mayores amenazas para la conservación de arrecifes coralinos tienen origen en las actividades humanas que han sido realizadas sin planificación-precaución-control ambiental como la sobrepesca, la degradación de la calidad del agua, el turismo masivo y desarrollo costero. (2) Que los arrecifes coralinos son considerados como uno de los ecosistemas “altamente sensibles” ante el cambio climático pronosticado (CCSP, 2008), debido a la susceptibilidad de los corales ante variaciones de las condiciones del medio marino (Hoegh-Guldberg, 1999; Kleypas y Hoegh-Guldberg, 2008; Graham *et al.*, 2008) como el aumento de la temperatura superficial del agua, la acidificación de los océanos, el aumento del nivel del mar y la intensidad de eventos climáticos extremos. (3) Que cada una de estas amenazas genera un impacto en la dinámica y estructura del ecosistema, como la disminución de -riqueza y diversidad de especies, complejidad del hábitat, cobertura y crecimiento coralino, reclutamiento de especies, potencial de recuperación-; el aumento de -cobertura de algas, erosión del arrecife, concentración de bacterias, susceptibilidad a enfermedades y mortalidad coralina parcial y total-.

(3) Que la incorporación de medidas apropiadas de adaptación al cambio climático a los planes estratégicos de manejo es un reto fundamental y de carácter urgente porque (CCSP, 2008): (i) muchos de los cambios relacionados con la variabilidad climática pueden interactuar con tensores “tradicionales” y exacerbar los efectos adversos; (ii) el sistema climático siempre ha sido y continuará siendo real (condición más evidente al comparar eras geológicas), (iii) tales cambios afectarán el alcance de las metas de manejo actuales en el tema de ecosistemas y recursos; (iv) existe un nivel de incertidumbre asociado a la magnitud de los cambios climáticos y la magnitud y dirección de la respuesta de los ecosistemas ante ellos.

(4) Que el AMP-CRSBeIF tiene actualmente un Plan de Manejo (ver Alonso y Castillo, 2007) en el cual se integran los archipiélagos Nuestra Señora del Rosario y de San

Bernardo, el parque submarino adyacente Corales del Rosario y de San Bernardo y el Santuario de Flora y Fauna El Corchal “El Mono Hernández”, la zona continental desde el canal del Dique (al norte) hasta Punta San Bernardo y el área marina desde el Parque hasta el complejo de isla Fuerte, bajo Bushnell y bajo Burbujas (al sur), extendiéndose hasta la isóbata de los 200m en la plataforma continental.

Los Lineamientos de Manejo que aquí se formulan son específicos para un ecosistema altamente sensible al cambio climático -arrecifes coralinos-, parten de un diagnóstico ambiental y serán incorporados en el actual Plan de Manejo del AMP formulado por Alonso y Castillo (2007). De esta manera, se fundamenta un plan de conservación que permitirá mantener y mejorar los bienes y servicios que ofrece el ecosistema, complementando así en algunos casos, acciones de conservación integral para el AMP en su conjunto, y en otros de manera mucho más específica para áreas arrecifales. La presente iniciativa corresponde a la primera estrategia de adaptación al cambio climático global en ecosistemas sensibles realizada a nivel nacional.

A pesar de la necesidad ambiental que requiere su formulación, cualquier plan de manejo puede tener poco alcance si no es propiamente implementado. A partir de experiencias de implementación de planes de manejo en otras partes del mundo, se ha sugerido que algunos “ingredientes” fundamentales en el éxito del manejo de zonas costeras son: voluntad política, adecuada financiación a largo plazo y el respaldo social. Si el plan de manejo carece de alguno de estos ingredientes, es muy probable que fracase. En países en vía de desarrollo, la lista de causas de planes de manejos frustrados es encabezada por la falta de apoyo-inclusión social y de apoyo económico a largo plazo. Seguidamente, se encuentra la falta de compromiso político, en cuyos casos a pesar de contar con un apoyo económico adecuado, la estructura gubernamental necesaria no es debidamente establecida y/o el dinero se destina a otras actividades ajenas al plan de manejo (Chiappone, 2001).

4.1 Actores involucrados

Se refiere a la definición de las personas, comunidades e instituciones de injerencia en el área de estudio que hacen uso directo o indirecto de los recursos naturales y/o se benefician de ellos, llevando a cabo sus propias prácticas de manejo (Tabla 3). La importancia de este punto, radica en la vinculación de estos actores al proceso de manejo

integrado del área, la sensibilización de los mismos, su disposición para llevar a cabo de manera participativa el desarrollo de la iniciativa y la validación de la misma.

Por esta razón, la implementación de un Plan de Manejo exige un esfuerzo interinstitucional desarrollado por las autoridades con presencia en el área: el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) quien coordina a través de su Dirección de Ecosistemas, la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales (UAESPNN), la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (CARDIQUE), la Corporación Autónoma Regional de Sucre (CARSUCRE), el Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias (Alcaldía) y el Establecimiento Público Ambiental de Cartagena de Indias (EPAC). Además, competencia funcional y territorial tienen: la Dirección General Marítima y Portuaria (DIMAR), Guardacostas y el Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (INCODER).

Tabla 3. Matriz de funciones institucionales y autoridades con competencia funcional y territorial en el AMP (tomado de Alonso y Castillo, 2007).

INSTITUCIÓN FUNCIÓN INSTITUCIONAL	MAVDT	DIMAR	GUARDACOSTAS	INCODER	CARDIQUE	ALCALDÍA	EPAC	UAESPNN	CARSUCRE
Políticas y lineamientos	x								
Control y vigilancia de gestión	x							x	
Planificación de OT	x	x			x	x	x	x	x
Reglamentación de usos de suelo	x			x	x	x	x	x	x
Coordinación administrativa	x					x		x	
Control en el uso de los recursos	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Monitoreo ambiental	x	x		x	x	x	x	x	x
Gestión de recursos económicos	x					x		x	
Educación ambiental	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Acción policiva	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Administración de los recursos naturales	x	x			x		x	x	x

4.2 Objetivo

A partir de la problemática identificada en el área de estudio y mediante la determinación de los lineamientos para un plan de manejo ambiental, se pretende generar las orientaciones para el manejo de los arrecifes coralinos, como herramienta para el control

y adaptación a los efectos ocasionados por el cambio climático; haciendo especial énfasis en el método de “manejo adaptativo” un proceso que tiene en cuenta la incertidumbre de los pronósticos, y promueve la toma de decisiones flexibles, implementando ajustes a medida que se obtienen resultados de las líneas de acción.

4.3 Visión

Con la formulación de estos lineamientos de manejo se busca proponer medidas de adaptación de los arrecifes coralinos ante un eventual cambio en el sistema climático, para promover la conservación y evitar el deterioro de los recursos naturales, la diversidad biológica y paisajística del área; a fin de alcanzar un crecimiento y aprovechamiento económico sostenible, que beneficie al ambiente y la sociedad colombiana en su conjunto.

Para alcanzar los objetivos de conservación y manejo del AMP-ARSB, se considera necesaria: (1) La buena voluntad política, (2) El respaldo social y comunitario, y (3) La adecuada financiación de larga duración. Así, conseguir un desarrollo sostenible, trabajar de manera coordinada y articular las propuestas y planes de manejo vigentes en la zona, con las actividades e iniciativas de los lineamientos que aquí se proponen.

4.4 Líneas de acción

Los objetivos de manejo definidos para cada problemática se agruparon por líneas estratégicas que respondieran de una forma amplia a ese grupo de problemas analizados. De esta manera se obtuvieron las líneas de acción, correspondientes al marco orientador sobre el cual se encaminan las acciones definidas para el manejo adecuado de un área (López *et al.*, 2003); y para cada una de estas, su justificación y objetivo general. En general las líneas de acción dan respuesta a la problemática ambiental y a las potencialidades identificadas para el área (López-Rodríguez *et al.*, 2008).

Teniendo en cuenta que las respuestas adaptativas a la variabilidad y el cambio climático se han propuesto para reducir el riesgo de fracasar en las metas de conservación propuestas previamente en los planes de manejo (CCSP, 2008); cada línea de acción se encuentra orientada hacia medidas de adaptación para la protección y conservación de los arrecifes coralinos en el contexto de cambio climático. Algunos enfoques de manejo han sido previamente identificados a partir de discusiones o experiencias de manejo

existentes para mantener o incrementar la resiliencia de los ecosistemas marinos, por lo tanto el reto ha sido contextualizarlos en el tema de cambio climático (Keller *et al.*, 2008).

Adicionalmente, se tiene en cuenta el manejo adaptativo, proceso que promueve la toma de decisiones flexibles, implementando ajustes a medida que se obtienen resultados de las líneas de acción (CCSP, 2008). De esta manera, se implementan acciones inmediatas a partir de información confiable y disponible posibilitando la realización de futuras mejoras con el aprendizaje adquirido en el proceso de implementación.

En la Figura 11 se esquematizan las líneas de acción propuestas para desarrollo inmediato en el área piloto. Se observan líneas centrales y tres líneas transversales que permitirán la aplicación de instrumentos de planificación, como son el fortalecimiento de la gobernabilidad; educación y participación; monitoreo y generación de conocimiento.

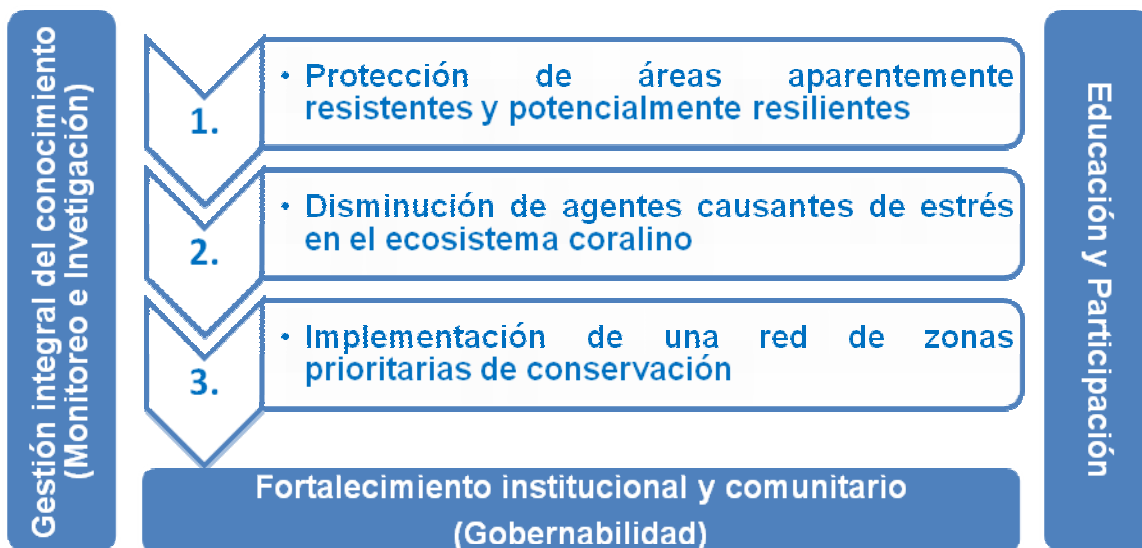


Figura 11. Esquema general de las líneas de acción e instrumento de planificación para el manejo de arrecifes coralinos en el contexto de cambio climático, AMP-CRSBeIF.

4.4.1 Protección de áreas aparentemente resistentes y potencialmente resilientes

“Resiliencia: capacidad que tiene un sistema para asimilar/resistir/recuperarse de cambios o disturbios en el ambiente sin modificar los procesos esenciales o estructurales al interior del mismo (desarrollo y evolución).”

Justificación. Los ecosistemas marinos que generan diferentes hábitats a partir de interacciones biológicas, enfrentan una pérdida potencial en la estructura de los mismos a medida que el cambio climático progresa (Hoegh-Guldberg, 1999; Steneck *et al.*, 2002; Hoegh-Guldberg, 2005; Roberts *et al.*, 2006). En ningún otro ecosistema los pronósticos del cambio climático son reflejados tan dramáticamente como en los arrecifes coralinos, donde anomalías en el aumento de la temperatura superficial del agua ocasionan eventos masivos de blanqueamiento (Wilkinson, 1998; Reaser *et al.*, 2000; Wilkinson 2000; D’Croz, 2001); reconocidos globalmente en 1997-1998 y afectando un amplio rango geográfico en los años siguientes (Wilkinson, 2002; 2004; Whelan *et al.*, 2007). Como consecuencia, la cobertura de coral vivo en los arrecifes ha declinado dramáticamente en el Gran Caribe durante los últimos 30 años, como resultado de eventos de blanqueamiento, enfermedades y huracanes (Gardner *et al.*, 2003; Hughes *et al.*, 2003; Hughes *et al.*, 2005).

En este contexto, el concepto de proteger o fortalecer la resiliencia de arrecifes coralinos ha sido propuesto para ayudar a aminorar las consecuencias negativas del blanqueamiento coralino (Hughes *et al.*, 2003; Hughes *et al.*, 2005). La resiliencia es una propiedad en un ecosistema que puede ser manejada bajo ciertas condiciones y está definida como la capacidad de un ecosistema para resistir o absorber disturbios sin la pérdida significativa de los procesos esenciales que determinan la estructura de la comunidad, y si ocurren alteraciones, la recuperación no es hacia estados alternativos de la comunidad coralina ‘phase shifts’ (Nyström *et al.*, 2000; Hughes *et al.*, 2003). Consecuentemente, medidas de manejo que incluyen el concepto de resiliencia, deben tener en cuenta el manejo de las principales amenazas que generan impactos sobre los arrecifes coralinos en el AMP-CRSBeIF; blanqueamiento coralino y actividades antropogénicas. A su vez, el concepto “resiliencia” podrá ser un criterio técnico para incorporarse en los futuros planes de zonación del AMP.

Esta estrategia ha sido ampliamente utilizada y mundialmente aceptada; algunos ejemplos de iniciativas de manejo basado en la resiliencia coralina incluyen proyectos en Palau, islas Vírgenes, Belice, Seychelles, Yemen y las Maldivas. La experiencia adquirida en estas iniciativas ha permitido fortalecer los conocimientos y desarrollar protocolos adicionales para la identificación de estas áreas especiales. Los resultados de estos experimentos ha provisto de información a la comunidad científica sobre el grado en el que los factores que confieren la resiliencia en un área persistan en el tiempo.

Por esta razón, los esfuerzos de manejo que protejan o aumenten la resiliencia de un arrecife juegan un rol importante en la conservación de arrecifes coralinos, al permitir que las especies se adapten y ajusten antes que ocurran daños irreversibles. El concepto de resiliencia está basado en principios científicos bien establecidos, y su uso en manejo estratégico de arrecifes coralinos ofrece indicios y acercamientos que progresivamente se han vuelto críticos para la protección de estos sistemas complejos (Nyström *et al.*, 2000; D’Croz *et al.*, 2001; Obura, 2005; Grimsditch y Salm, 2006; Marshall y Schuttenberg, 2006).

Aunque el cambio climático es un problema mundial, los esfuerzos locales de conservación pueden ser de gran ayuda en el mantenimiento y aumento de la resiliencia coralina, así como en aminorar a largo plazo los impactos del blanqueamiento coralino y las actividades humanas (Hughes *et al.*, 2003; Hughes *et al.*, 2005; Hughes *et al.*, 2006). Las Zonas No-Take (NTZ, por sus siglas en ingles) son consideradas como el tipo de protección más efectivo para actividades extractivas. Cuando las NTZ son propiamente soportadas y vigiladas, son efectivas en la preservación de stocks de peces, ya que cambian la concepción humana sobre la conservación de los recursos naturales. Sin embargo, estas áreas no son capaces de retener anomalías térmicas en el agua o detener el blanqueamiento coralino. P.ej. durante el evento de blanqueamiento masivo en 1998, conocido como el más destructivo hasta la fecha, la mortalidad coralina alcanzó un estimado de 16% de los corales en el mundo, incluyendo arrecifes en el Pacifico occidental, Australia y el Océano Indico, donde se reconocen las mejores iniciativas de manejo y las áreas más prístinas del mundo (Hughes *et al.*, 2003).

Ahora, ¿Si NTZs no son refugio contra el blanqueamiento, como pueden ser una medida de manejo para proteger arrecifes coralinos en un escenario de cambio climático? La

sobrepesca, particularmente sobre peces herbívoros (peces loro y cirujanos), además de afectar la abundancia del recurso, altera toda la dinámica del arrecife (Hughes *et al.*, 2003). La reducción de la herbivoría por causa de la sobrepesca, el aumento en la frecuencia de enfermedades coralinas y el exceso de nutrientes pueden afectar la resiliencia del arrecife y evitar su recuperación posterior a disturbios ambientales como aumentos anómalos en la temperatura del agua). La resiliencia también se ve afectada por actividades humanas, que generalmente causan altas tasas de mortalidad coralina y bajas tasas de reclutamiento de larvas (Hughes *et al.*, 2003).

El manejo de la resiliencia coralina a través de NTZs, integrado al manejo de áreas adyacentes, es esencial para cualquier solución viable (Nyström *et al.*, 2000; D’Croz *et al.*, 2001; Obura, 2005; Grimsditch y Salm, 2006; Marshall y Schuttenberg, 2006). Para esto, se requiere una especial atención en la reducción de la contaminación, la protección de redes tróficas y la consideración de grupos funcionales clave (constructores de arrecifes y herbívoros); de esta manera asegurar una sostenibilidad ambiental.

Las NTZs actúan también como un factor para aminorar riesgos, de esta manera, áreas donde hay un mínimo daño ambiental sirven de fuente larval para la recuperación de otras cercanas (Hughes *et al.*, 2003). Esta propiedad deseable de las NTZs resalta la importancia de la creación de un grupo de zonas protegidas que promueva la conectividad arrecifal; fundamental para proteger un gran número de especies con capacidad de dispersión baja.

Objetivo. Identificar áreas coralinas potencialmente resilientes en el AMP-CRSBeIF para la creación de iniciativas de manejo en un escenario de cambio climático.

Programas y acciones de manejo

Programa 1. Identificación de áreas coralinas potencialmente resilientes en el AMP-CRSBeIF	
Objetivos específicos	Acciones
Integrar el concepto de resiliencia coralina en las medidas de manejo	Recopilar los conocimientos básicos que se tienen a nivel global para escoger áreas resilientes; características que le confieren resiliencia a un ambiente arrecifal
	Realizar una guía para las entidades ambientales de los pasos que se deben seguir para la selección de un área resiliente
	Adelantar actividades para la socialización de conceptos que permitan la sensibilización de actores involucrados sobre la crisis ambiental: resiliencia coralina y cambio climático en el AMP
Realizar una identificación de las áreas potencialmente resilientes	Seleccionar una serie de sitios candidatos a ser resilientes
	Recopilar la información histórica que se tenga sobre estos sitios (estudios en el AMP y monitoreo SIMAC)
	Diseñar una matriz que permita integrar los factores que le confieren resiliencia a un área y que genere una valor de probabilidad
	Escoger áreas potencialmente resilientes con base en criterios científicos claros
Realizar y darle continuidad a los programas de monitoreo e investigación	Socializar con las autoridades ambientales y la comunidad local el proceso de toma de decisiones sobre áreas resiliente: procesos participativos

Programa 2. Protección de áreas potencialmente resilientes	
Objetivos específicos	Acciones
Implementar estrategias para la protección de áreas resilientes	Definir áreas de conservación <i>in situ</i>
	Delimitar, demarcar e implementar área piloto: No Take Zone NTZ
	Establecer una red de NTZs; corredores biológicos
	Adelantar actividades para la socialización de conceptos que permitan la sensibilización de actores involucrados sobre las medidas de manejo: NTZs y cambio climático en el AMP
Realizar y darle continuidad a los programas de monitoreo e investigación	Implementar un programa de divulgación sobre la demarcación de la NTZ; boyas y señalización
	Mantener un programa de monitoreo e investigación constante que permita realizar análisis históricos con una serie de datos confiable de atributos de la comunidad coralina y variables ambientales
	Diseñar un programa de monitoreo socio-económico (valoración económica) sobre los usos y beneficios de los arrecifes en el área
Mantener un programa de “manejo adaptativo”	Verificar la efectividad de la medida de manejo
	Ajustar las medidas de manejo de acuerdo a los resultados que vayan arrojando los programas de monitoreo e investigación; implementando así acciones inmediatas que permitan cumplir con la metas de conservación.

Como identificar ambientes arrecifales potencialmente resilientes?

Existen dos enfoques generales para seleccionar áreas que podrían ser resilientes al interior de AMPs en un escenario de cambio climático (Hughes *et al.*, 2003; Marshall y Schuttenberg, 2006; Mumby *et al.*, 2007):

- *Identificar áreas resilientes de acuerdo a respuestas pasadas ante disturbios ambientales.* La respuesta de los corales y de comunidades arrecifales durante eventos de blanqueamiento anteriores puede generar indicadores sobre los sitios que pueden ser intrínsecamente resilientes al blanqueamiento coralino. Hay una incertidumbre sobre el rango en que respuestas o patrones pasados serian repetidos durante futuros eventos de blanqueamiento, por lo tanto, los datos deben ser interpretados con cautela. Adicionalmente, para identificar sitios que muestran una resiliencia al blanqueamiento se requiere información confiable sobre los niveles de estrés por calentamiento durante los eventos y el conocimiento básico sobre la magnitud del blanqueamiento en los sitios de interés. En la Figura 12 (al final de la sección) se presenta un árbol de decisiones para identificar áreas resilientes y crear iniciativas de manejo basadas en respuestas pasadas de zonas arrecifales ante disturbios ambientales.

El potencial de resiliencia en un sitio es caracterizado por una serie de factores que deben ser la base para tomar la decisión sobre la protección especial de áreas en el AMP. (1) El primer paso en un proceso de planeación es identificar áreas candidatas, teniendo en cuenta el aspecto social, económico, ecológico y regional. En cada uno de los posibles sitios se debe evaluar la exposición a altas temperaturas y la respuesta ha pasados eventos de blanqueamiento. Información actual sobre anomalías en el comportamiento de la temperatura superficial del agua se encuentra de libre acceso en el programa *HotSpot* de la NOAA a través de internet; lo que puede ser complementado con mediciones de temperatura *in situ*. El umbral de temperatura en el cual los corales sufren fenómenos de blanqueamiento puedes ser afinado manteniendo una constante serie de datos de temperatura y correlacionándolos con medidas de estrés térmico y sus respuestas al fenómeno de blanqueamiento. (2) El siguiente paso es examinar la respuesta de arrecifes que se sabe han experimentado estrés por calentamiento del agua. Los arrecifes que han presentado baja mortalidad durante anomalías de temperatura

probablemente estén conformados por corales resistentes o tolerantes al blanqueamiento. Estos sitios son áreas probablemente resilientes; sin embargo, si fueron expuestos solo a bajos niveles de estrés térmico, es difícil predecir si serán sitios resistentes o tolerantes a anomalías térmicas más extremas en el futuro. (3) La categoría restante incluye sitios que han sufrido mortalidad coralina posterior a la exposición de altas temperaturas; ya que la tasa de recuperación de estos sitios provee información importante sobre su resiliencia. Sitios en crítico estado de deterioro y que muestren altas tasas de recuperación son resilientes; asimismo, sitios con bajas tasas de recuperación no son resilientes, a menos que las causas de la baja recuperación puedan ser identificadas y remediadas con acciones de manejo (Ver Figura 12 al final de la sección).

- *Pronosticar la resiliencia de un área con base en las características que confieren la resiliencia coralina.* En muchas instancias, no será posible evaluar la respuesta del arrecife a aumentos en la temperatura. Esto puede ocurrir porque no ha habido blanqueamiento en el pasado o simplemente no hay información suficiente sobre la exposición de diferentes sitios a altas temperaturas o su efecto en los organismos arrecifales. En este caso, los tomadores de decisiones pueden incluir la resiliencia en sus planes de manejo tomando en cuenta áreas que se caracterizan por poseer los factores que se conocen le confieren la resiliencia al ecosistema arrecifal. Estos factores pueden ser organizados en cuatro categorías, las cuales incluyen atributos que fortalecen la resistencia, sobrevivencia y recuperación ante eventos de blanqueamiento masivo, así como la recuperación ante otros tipos de disturbios:
 - Condición del ecosistema. Los atributos que contribuyen a la sobrevivencia coralina durante eventos masivos de blanqueamiento y a la recuperación posterior ante los mismos eventos u otros disturbios son la condición coralina, cobertura coralina, calidad del agua y la abundancia de peces. Estos factores son críticos por su influencia en un rango de procesos que incluyen el suministro de larvas al sistema, sustrato disponible para asentamientos, tasas de reclutamiento coralino y sobrevivencia de corales juveniles. Las iniciativas de manejo que fortalecen efectivamente las condiciones del ecosistema

facilitan los procesos de recuperación en arrecifes afectados por el cambio climático.

- Diversidad biológica. La diversidad biológica es clave por que se fundamenta en la diversidad genética entre especies y la diversidad de especies en el funcionamiento del ecosistemas. De esta manera, la variación genética en las zooxantelas y la diferencia genética entre corales, determinan el grado de impacto de eventos masivos de blanqueamiento. La importancia de estas fuentes de diversidad son progresivamente significantes en el tiempo si el ecosistema es expuesto en repetidas ocasiones a estrés por el aumento de la temperatura. Cuando la diversidad de especies cumple una sola función, la perdida de una sola especie no conllevará a la perdida de la función en un sistema. Esta redundancia funcional es una característica clave en la resiliencia de un sistema. Así, un sistema es menos propenso a colapsar cuando múltiples especies realizan las funciones clave, porque responden de manera diferente a disturbios ambientales.

- Conectividad. Teniendo en cuenta que la capacidad de recuperación de un sistema en un elemento determinante en la resiliencia de un área, la conectividad juega un papel central al aumentar la probabilidad de que los arrecifes impactados se repongan por la influencia de arrecifes “donantes” o refugios. En el contexto de resiliencia es importante saber que la conectividad es más que larvas en corrientes, mucho depende del estado de conservación de hábitats coralinos y no coralinos (fondos rocosos, comunidades de pastos marinos y manglares); estos serán determinantes en el mantenimiento y regeneración de poblaciones, sobre todo si estas se encuentran expuestas a continuos disturbios. De esta manera, iniciativas de manejo que generan protección efectiva para los diferentes tipos de hábitats críticos son clave en la restauración y mantenimiento de la capacidad del sistema arrecifal para adaptarse a frecuentes y más severos eventos masivos de blanqueamiento.

- Ambiente local. El ambiente local puede determinar la exposición a estrés por el aumento de la temperatura, intensidad lumínica, velocidad de las corrientes o actividades humanas; factores que influyen la resistencia y tolerancia al blanqueamiento. Por ejemplo; el nivel de exposición a aumentos de

temperatura dependerá en gran medida de la ubicación dentro del paisaje arrecifal (planicie o pendiente) o el grado de exposición a los flujos de corrientes. En este contexto, la complejidad topográfica es esencial para determinar la cantidad de variación en el ambiente local de los corales, convirtiéndose en una característica útil para la identificación de áreas resilientes.

Asimismo, existe una serie de características que se conoce influyen la resiliencia en sitios y que ha sido derivadas de observaciones en arrecifes que han demostrado ser resilientes ante eventos de blanqueamiento, o ante otros disturbios ambientales (Hughes *et al.*, 2003; Marshall y Schuttenberg, 2006; CCSP, 2008):

- Bajo nivel de estrés coralino por anomalías térmicas (cercanía a corrientes profundas o frías).
- Bajo nivel de estrés coralino por exposición a tensores antropogénicos.
- Movimientos de masas de agua constantes que arrastre contaminantes (topografía submarina como canales y fosas, y fuertes corrientes).
- Pantallas solares protectoras de la radiación nociva en zonas del arrecifales (sombras que generan las islas, la plataforma arrecifal y aspectos relacionados con la turbidez del agua).
- Indican un potencial de pre-adaptación a temperaturas y otros tensores ambientales (régimen de temperatura variable, corales que han sobrevivido históricamente a eventos de blanqueamiento).
- Indican una potencial resistencia a impactos generados por actividades humanas.
- Indican una potencial recuperación (alta tasa de reclutamiento, buena cobertura coralina).

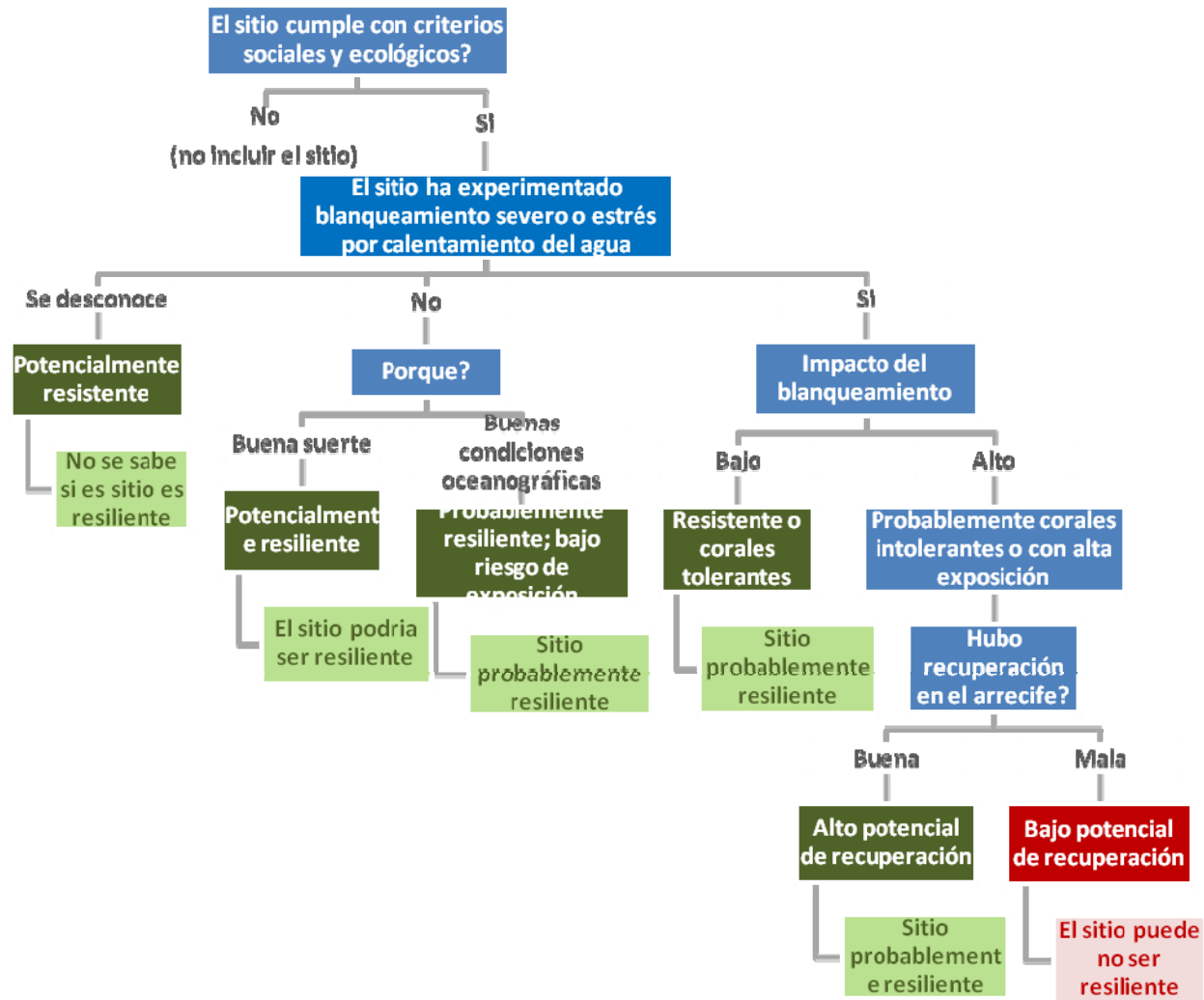


Figura 12. Árbol de decisiones para identificar áreas potencialmente resilientes al interior de AMPs en un escenario de cambio climático (modificado de Done, 2001; Marshall y Schuttenberg, 2006).

Que áreas son candidatas y potencialmente resilientes en el AMP-CRSBeIF?

Áreas candidatas:

Isla Tesoro - Isla Rosario - Isla Pavitos - Isla Mangle - Isla Tintipán - Bajo Tortugas - Bajo Bushnell

En el desarrollo de la temática, se pretendió establecer un primer acercamiento en el diseño de una matriz de probabilidad, completa y discreta, que permitiera obtener una aproximación en la determinación de áreas resilientes en el AMP-CRSBeIF. En la Tabla 4 se presenta un ejemplo de cómo se identificaría un área potencialmente resiliente, con la postulación de un total de 28 factores que se conoce confieren resiliencia coralina, priorizados para cada sitio de acuerdo a una escala comprendida entre 1, 3 y 5 que corresponde respectivamente a una condición mala, regular y buena. La consolidación de los resultados se realizará mediante la sumatoria de todos los factores que posteriormente se llevará a una escala porcentual (probabilidad):

$$\sum_{i=1}^{n=28} X_i$$

Suma de X_i , donde i asume todos los valores de 1 hasta 28 (factores)

Teniendo en cuenta que el resultado de la sumatoria sería de 140 (100%) si todos los factores estuvieran en la condición 5, se establecieron algunos criterios para considerar el nivel de resiliencia de cada área:

Nivel alto: se espera que un área sea potencialmente resiliente cuando la sumatoria resulte > 75% del puntaje total (> 105).

Nivel medio: se espera que el área sea medianamente resiliente cuando la sumatoria resulte entre 50 y 75% del puntaje total ($\geq 70 - 105$).

Nivel bajo: se espera que el área no sea resiliente cuando la sumatoria resulte menor al 50% del puntaje total (<70).

Tabla 4. Listado de factores que se conocen le confieren resiliencia a un área coralina. A cada factor se le deberá otorgar un valor de acuerdo a su condición en cada sitio: (1) mala; (3) regular; (5) buena; (ND) no hay información.

Factores que confieren resiliencia		Área piloto Isla Rosario
		Condición
Condición de ecosistema	Condición coralina	
	Cobertura coralina	
	Calidad del agua	
	Suministro de larvas	
	Reclutamiento coralino	
Diversidad biológica	Comunidades balanceadas o ambientes multiespecíficos	
Conectividad	Entre ecosistemas	
	Entre arrecifes	
Ambiente local	Topografía del fondo	
	Ubicación en el arrecife (cresta, planicie, laguna, pendiente)	
	Pantalla solar	
	Turbidez del agua	
	Flujo de corrientes (intercambio de masas de agua)	
Estrés coralino	Exposición a anomalías térmicas	
	Intervención humana	
Respuesta al blanqueamiento coralino	Resistencia	
	Tolerancia	
	Recuperación	
Manejo de impactos humanos	Sobrepesca	
	Pesca destructiva	
	Contaminación	
	Exceso de nutrientes	
	Sedimentación	
	Turismo masivo	
	Destrucción de hábitats	
Respuesta a la intervención humana	Resistencia	
	Tolerancia	
	Recuperación	
Probabilidad que el área sea resiliente	Sumatoria	$\sum_{i=1}^{n=28} X_i$
	Probabilidad (%)	$\frac{\sum_{i=1}^{n=28} X_i}{(28)} * (5/7)$
	Validación (%)	CONTAR ND * (25/7)

Adicionalmente se debe tener en cuenta la ausencia de información sobre algún factor (ND), que para este caso sería un indicador de validación de la probabilidad y la necesidad de investigación complementaria:

$$\text{Validación (\%)} = \text{CONTAR FACTORES CON ND} * (25/7)$$

Para estandarizar la selección de la condición (1, 3, 5) de cada factor, es necesario ajustar valores en tres niveles categóricos, con base en los conceptos básicos de la dinámica del ecosistema arrecifal. Igualmente, la experiencia adquirida a partir de la implementación de la matriz de probabilidad propuesta, es indispensable para confirmar la efectividad de esta herramienta para identificar áreas potencialmente resilientes y realizar ajustes en los factores y niveles de categorías.

4.4.2 Disminución de agentes causantes de estrés en el ecosistema coralino

Justificación. La serie de tensores existentes en la actualidad están afectando negativamente la capacidad de los ecosistemas -arrecifes coralinos y especies asociadas a ellos- de asimilar, resistir o recuperarse (resiliencia) ante los impactos del cambio climático. Adicionalmente, el conjunto de alteraciones que se esperan en el ambiente a causa de la variabilidad climática pueden intensificar algunos problemas ya existentes (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007; Carpenter *et al.*, 2008; Keller *et al.*, 2008; NOAA, 2009). Aunque algunas de las prácticas de manejo que se están implementando en la actualidad (que además son aún escasas en el caso puntual de los arrecifes coralinos) puedan también contribuir en los procesos de adaptación a los impactos del cambio climático (por ejemplo, el control de la deforestación), es necesario realizar ajustes en su aplicación para asegurar su efectividad ante nuevas condiciones ligadas a la variabilidad climática. Debido al limitado conocimiento que se tiene acerca de la interacción de tensores y del efecto sinérgico resultante sobre los arrecifes coralinos, tales ajustes estarán inevitablemente acompañados de cierto nivel de incertidumbre (Pittock, 1999; Nyström *et al.*, 2000; Keller *et al.*, 2008); sin embargo, aun considerando el cambio climático como una amenaza leve, estas medidas serán útiles para mantener el valor ecológico y económico del ecosistema coralino ante la problemática ambiental actual (Keller *et al.*, 2008) (Figura 13).

En contraste con muchas de las áreas terrestres con algún grado de protección especial, la situación en áreas marinas protegidas es sumamente compleja debido a la imposibilidad de establecer algún tipo de “barrera” a muchos de los tensores provenientes de actividades humanas desarrolladas fuera del área. Así, actividades relativas al desarrollo urbano, tanto en zonas costeras como al interior del continente, requieren especial atención para contrarrestar los efectos nocivos sobre los arrecifes coralinos, incrementando la resiliencia del ecosistema ante el cambio climático.



Figura 13. Diagrama que contextualiza la relación entre el manejo efectivo de los tensores generados por actividades humanas (sobrepesca, degradación de la calidad del agua y el turismo masivo y desarrollo costero) y los impactos generados del cambio climático. En un sistema ideal, la estabilidad del ecosistema sería menos afectada si en un escenario de cambio climático los tensores antropogénicos son manejados efectivamente.

La extracción de recursos pesqueros de valor comercial realizada históricamente sin un control adecuado a lo largo del AMP ha ocasionado un detrimento gradual, no sólo de las poblaciones de peces, sino del ecosistema coralino que lo proporciona (Pineda *et al.*, 2006; Alonso y Castillo, 2007). La sobreexplotación modifica la dinámica trófica y debilita la resiliencia de los arrecifes coralinos con la remoción de organismos clave, como predadores o herbívoros, que juegan papeles esenciales en el funcionamiento del ecosistema. Adicionalmente, poblaciones estresadas por la sobreexplotación pueden ser especialmente sensibles a la variabilidad climática y a otros tensores de origen antrópico (Hughes *et al.*, 2005). De continuar esta situación, el cambio climático dará lugar a un ecosistema coralino inestable, poco productivo y fácilmente afectado por la variación de condiciones ambientales. Aunque en el PNNCRSB se encuentra expedida la

reglamentación para el manejo de recursos pesqueros, permitiendo sólo a pescadores locales extraer el recurso con fines de subsistencia utilizando artes apropiados, muchas de las comunidades biológicas de valor ecológico y comercial continúan siendo extraídas y se mantienen sus bajas abundancias en el área (Navas-Camacho *et al*, en prensa).

El deterioro generalizado del ecosistema coralino, a causa de la degradación de la calidad del agua, puede ser agravado en algunas áreas, considerando la mayor intensidad de tormentas pronosticadas asociadas al cambio climático y el resultante incremento de las descargas continentales. Las aguas de escorrentía provenientes de dichas tormentas lavarían con mayor intensidad y periodicidad las cuencas, transportando contaminantes (fertilizantes, pesticidas, hidrocarburos, nutrientes) y sedimentos hacia los ríos y zonas costeras (Keller *et al.*, 2008). Bajo este escenario, las cuencas de los ríos Magdalena y Sinú (e incluso del Atrato), afectarían prácticamente todas las zonas coralinas al interior del AMP-CRSBeIF; por lo tanto, en una estrategia fundamental y oportuna fortalecer y expandir el tema de manejo de la calidad de aguas fuera de los límites geográficos del AMP. El tema de calidad de aguas es probablemente uno de los más complejos debido a la larga lista de actores involucrados en el marco geográfico-institucional-gubernamental, lo cual dificulta la coordinación y acercamiento entre todas las partes en el marco de una estrategia de manejo comunitaria.

La carencia de estudios precisos sobre la capacidad de carga de los ecosistemas marinos en el AMP y la falta de control en el turismo y el desarrollo de infraestructura, promueve que los arrecifes coralinos sean explotados de forma intensiva. Además de los impactos físicos directos, la contaminación relacionada con estas actividades ha contribuido al proceso de deterioro coralino en el AMP. La implementación efectiva de estrategias, soluciones y convenios de cooperación para regular esta situación, contribuirá en la reducción de impactos sobre el ecosistema y promoverá su resiliencia ante los impactos de la variabilidad climática.

Objetivo. Incrementar el nivel de resiliencia de los arrecifes coralinos ante los impactos del cambio climático al interior del AMP-CRSBeIF, por medio de la reducción de tensiones tradicionales a nivel local y regional.

Programas y acciones

Programa 3. Disminución y control de actividades y agentes causantes de estrés en ecosistemas coralinos al interior del AMP-CRSBeIF	
Objetivos específicos	Actividades
<p>Crear estrategias para reducir los impactos generados por la sobrepesca y buscar alternativas de pesca sostenible (principalmente fuera de los límites del PNNCRSB)</p>	Fortalecimiento del actual Plan de Manejo del AMP en el tema de recursos pesqueros y rigurosidad en su implementación.
	Proporcionar asistencia técnica para fortalecer la gobernabilidad y las medidas regulatorias.
	Desarrollar e implementar un plan estratégico para la protección de especies/grupos clave en la dinámica trófica, principalmente herbívoros.
	Implementación de vedas y regulación de pesca con niveles apropiados de extracción.
	Educación ambiental, capacitación y tecnificación, promoviendo los objetos de conservación, la diversificación pesquera y proyectos productivos sostenibles alternativos.
<p>Establecer un sistema para el control de la calidad del agua marina</p>	Generación y fortalecimiento de convenios interinstitucionales de cooperación, promoviendo un esfuerzo integrado para cubrir vacíos que limitan el manejo efectivo de la calidad del agua.
	Fortalecimiento de los procesos de manejo, planeación y restauración en las cuencas de los ríos Magdalena y Sinú (y en otras cuencas de ríos con menor influencia en el área).
	Fomentar prácticas agrícolas sostenibles y libres de contaminantes químicos (plaguicidas, pesticidas).
	Promover la conservación de hábitats que contribuyan a limitar la erosión y el transporte de sedimentos y contaminantes por ríos a zonas costeras; reforestación y control de deforestación en cuencas y zonas ribereñas.
	Educación ambiental a diferentes niveles, enfatizando en la relación intrínseca entre la calidad de los ecosistemas marino-costeros y las actividades realizadas en tierra.
	Promover la implementación de sistemas efectivos de tratamiento de aguas residuales.
	Solucionar-controlar la problemática del aporte de sedimentos producto de la implementación y mejoramiento del canal del Dique como vía de navegación fluvial.
	Fortalecimiento de las estrategias de control y seguimiento de calidad de aguas residuales industriales (como del sector Mamonal) y domésticas, y de hidrocarburos provenientes de la operación de embarcaciones.

Programa 3. Disminución y control de actividades y agentes causantes de estrés en ecosistemas coralinos al interior del AMP-CRSBeIF	
Objetivos específicos	Actividades
Minimizar impactos del turismo y del desarrollo costero	Desarrollo e implementación de estudios sobre la capacidad de carga de las playas y los arrecifes coralinos; valoración económica de estos ecosistemas.
	Regulación estricta de actividades derivadas del turismo, principalmente la navegación y el buceo.
	Seguir promoviendo el desarrollo de un ecoturismo comunitario ordenado; asistencia a la comunidad para la prestación de servicios turísticos
	Control estricto del desarrollo de obras de infraestructura turística y de vivienda, de acuerdo a la capacidad de carga de los ecosistemas y los planes de ordenamiento (incluyendo además los pronósticos asociados al cambio climático).
	Educación de la comunidad, usuarios y operadores turísticos en el tema de los arrecifes coralinos y el cambio climático.

4.4.3 Implementación de una red de zonas prioritarias de conservación al interior del AMP

Justificación. La creación y manejo de Parques Naturales y Áreas Marinas Protegidas (AMPs) ha sido uno de los principales mecanismos a nivel global para proteger los arrecifes coralinos y otros ecosistemas marinos, principalmente de disturbios causados por actividades humanas. A nivel mundial, la implementación de reservas marinas se ha expandido extraordinariamente en las últimas décadas, convirtiéndose gradualmente en un recurso muy recomendado y empleado por tomadores de decisiones por sus beneficios potenciales, tanto para el sector pesquero, como para la conservación del hábitat y la biodiversidad (Soto, 2002; Ablan *et al.*, 2004).

A diferencia de los ambientes terrestres, donde la mayor biodiversidad se encuentra en la interfase sustrato-aire, en el mar la mayor parte se encuentra en un medio líquido, relativamente estable, que facilita la amplia dispersión de algunos organismos claves en la dinámica trófica. Por esta razón, un componente clave para la conservación de especies y ambientes marinos particulares es la protección de un sistema de áreas representativas, en el que se incluya un amplio rango de tipos de hábitat y comunidades con algún grado de interacción ecológica. Así, a partir de la experiencia adquirida en el manejo e

implementación de AMPs, el enfoque ha evolucionado desde un concepto de protección de áreas independientes hasta uno más amplio y sensato en el que se protegen múltiples áreas considerando una amplia variedad de procesos y funciones ecológicas (Soto, 2002; Keller *et al.*, 2008). A pesar de que una red de zonas prioritarias de conservación sea más efectiva que un enfoque de protección de áreas independientes, el sistema requiere de continuidad a largo término, involucrando múltiples actores (traspasando incluso fronteras nacionales) y grandes esfuerzos de coordinación, razón que puede dificultar su implementación y efectividad (Salm y Coles, 2001).

Una característica fundamental de la alta biodiversidad encontrada en zonas costeras tropicales, es el complejo mosaico de interacciones a nivel biológico, físico y químico que ocurren entre ecosistemas, principalmente arrecifes coralinos, manglares y praderas de pastos marinos. Debido a esta condición, un manejo efectivo de arrecifes coralinos no puede partir de una perspectiva aislada del complejo mosaico de interacciones del que hacen parte (Ogden, 1997), sino más bien, de la protección de una serie de áreas con atributos ecológicos estratégicos (ver Tabla 5) que favorece la continuidad del flujo de procesos y funciones ecológicas en el ecosistema e incrementa su potencial de conservación. Una variedad de este tipo de áreas

Tabla 5. Tipos de área con atributos ecológicos estratégicos en el funcionamiento del ecosistema coralino.

Tipos de área o zona	Funciones y procesos ecológicos estratégicos
Guarderías (praderas de pastos marinos y manglares).	Hábitats necesarios para algunas especies arrecifales en la fase juvenil de su ciclo de vida
Agregación reproductiva	Producción de larvas que por reclutamiento, mantendrán el repoblamiento de corales y especies arrecifales en arrecifes cercanos
Alta biodiversidad (<i>HotSpots</i>) y abundancia de corales	Reservorios de la biodiversidad marina, mayor complejidad de la dinámica trófica
Heterogeneidad de hábitats	Diversidad de refugios y nichos ecológicos para numerosas especies (sitios heterogéneos son generalmente más biodiversos y dinámicos)
Corredores biológicos	Facilitan la conectividad y el intercambio de larvas de coral y de organismos entre poblaciones, facilitan el continuo repoblamiento de hábitats
Alta resiliencia y resistencia	Mantenimiento de la estructura y funcionalidad del ecosistema tras la ocurrencia de disturbios; posibles refugios del cambio climático
Bajo exposición a tensores antrópicos y naturales	Mantenimiento de la estructura y funciones al interior del ecosistema original

Ante los escenarios pronosticados del cambio climático, el sistema de protección de zonas prioritarias contribuirá en la protección de un amplio rango de ambientes marinos, disminuyendo la probabilidad de pérdida de un ambiente o especie particular y facilitando al mismo tiempo la futura rehabilitación de regiones más afectadas (Keller *et al.*, 2008). Igualmente, promoverá el mantenimiento de la estructura y funciones ecológicas en el ecosistema coralino, facilitando la dispersión de organismos, tanto en cortas como en grandes distancias, y la protección de especies en fases críticas de su ciclo de vida. De esta forma, se incrementará la capacidad de los arrecifes coralinos para afrontar y superar los impactos relacionados con el cambio climático.

La implementación de esta estrategia requiere de grandes esfuerzos con un enfoque sistemático y coordinado a través de largos períodos de tiempo; además, es un punto clave en el funcionamiento del sistema de protección de áreas y en la protección efectiva de los arrecifes coralinos.

Objetivo. Proteger un amplio rango de hábitats, ecosistemas y poblaciones que se encuentran en el AMP-CRSBeIF, facilitando la dispersión y comunicación entre zonas con diferente grado de amenaza y disminuyendo los riesgos de pérdida de un hábitat o especie particular debido a impactos localizados del cambio climático.

Programas y acciones

Programa 4. Implementación de una red de zonas prioritarias de conservación al interior del AMP	
Objetivos específicos	Actividades
Incrementar la resiliencia de los arrecifes coralinos por medio de la protección de la estructura y procesos en el ecosistema	Incorporación de la conectividad entre ecosistemas-áreas en los procesos de planeación, ejecución y monitoreo del AMP
	Identificar y proteger sitios conectados por corrientes y dispersión de larvas y de organismos adultos
	Identificar, restaurar y proteger la mayor cantidad posible de áreas con atributos ecológicos estratégicos
	Generar e implementar planes de contingencia, respuesta en casos de emergencia, evaluación de daños y actividades de restauración para preservar la integridad del ecosistema

Programa 4. Implementación de una red de zonas prioritarias de conservación al interior del AMP	
Objetivos específicos	Actividades
Disminución de los riesgos de pérdida de un hábitat, especie o comunidad arrecifal particular	Protección de un amplio rango de hábitats, unidades ecológicas (manglares y pastos marinos, además de los arrecifes) y tipos de comunidades
	Identificar, caracterizar y categorizar áreas con diferente grado de amenaza y prioridad de protección
Fortalecer la capacidad de manejo e incentivar el compromiso de la comunidad.	Coordinación e integración con iniciativas regionales e internacionales
	Promover la preparación técnica para el diseño, mecanismos de monitoreo (bio-físico y socio-económico), investigación y manejo de la red de áreas
	Revisar y monitorear continuamente la efectividad del sistema a niveles local, regional y nacional
	Generar e implementar mecanismos políticos e institucionales que se ajusten a un manejo colectivo
	Brindar educación, asesoría técnica y diversificación económica a las comunidades
	Promover el entendimiento, la conciencia, la apreciación y el uso racional de los arrecifes coralinos y otros ecosistemas marinos en el ámbito nacional
	Identificar y recurrir a los diferentes instrumentos legales nacionales e internacionales relacionados con el cambio climático y la protección de ecosistemas y recursos (leyes, convenios, tratados, protocolos, etc.)
Desarrollo de programas de gestión y financiamiento a largo término	

4.4.4 Instrumentos de planificación para el manejo

Justificación. Con relación a los procesos de planificación y manejo, la información es considerada como un elemento estratégico, visto desde las necesidades de contar con la información correcta, comprobada y objetiva que permita tomar decisiones bien fundamentadas (Alonso *et al.*, 2003).

Para la para los procesos de planificación frente al manejo de un territorio, es fundamental el uso de información en todas las etapas, desde la generación de conocimiento a través de la investigación para establecer el diagnóstico, hasta la fase de formulación de las política y toma de decisiones y finalmente en el seguimiento y control para evaluar la

eficacia de las acciones de manejo aplicadas (López-Rodríguez *et al*, 2008). Por esta razón, en las fases iniciales se requiere del uso de la información existente para la sensibilización de actores sobre la necesidad de un manejo integrado y vincular el conocimiento tradicional a los resultados de la línea base producto de la investigación (López-Rodríguez *et al*, 2008). Para la formulación de acciones de manejo, la información obtenida de las fases iniciales, facilita el análisis para la identificación de líneas estratégicas que definen un plan de manejo.

En Colombia, la escasez de información disponible para la toma de decisiones, ha sido una de las causas para un desarrollo sin planificación, relacionado con: falta de datos, acceso a la información, coordinación entre entidades generadoras de información, definición de políticas de servicios para usuarios, financiación para investigación y la capacitación para la administración de zonas costeras.

En el AMP-CRSBeIF se identificaron vacíos de información que son fundamentales subsanar para comprender y establecer criterios de manejo en el contexto de cambio climático, algunos son: la ausencia de datos sobre la condición de algunas áreas en las características que confieren resiliencia (p.ej conectividad entre áreas; resistencia, tolerancia y recuperación ante eventos de blanqueamiento coralino), la ausencia de datos sobre el impacto que ha generado cada tensor antropogénico sobre los corales en las diferentes áreas, la ausencia de una serie de datos continua y actualizada sobre variables meteorológicas y oceanográficas, la ausencia de datos pesqueros (desembarques, capturas por unidad de esfuerzo, etc.). Además, se ha reflejado la dificultad en el acceso de la información y poca coordinación entre entidades que generan conocimiento.

Asimismo, se hace necesario iniciar la implementación de estos instrumentos con la integración de los conceptos básicos del cambio climático en los actores involucrados. Aunque los efectos del cambio climático sobre los arrecifes coralinos no han sido cuantificados en su totalidad, su impacto se ha inferido a nivel global especulando sobre el grado de degradación en un sistema y su afectación en los sistemas locales de acuerdo a cada diagnóstico ambiental.

Siguiendo una línea de trabajo, las Áreas Marinas Protegidas deben ser efectivamente monitoreadas para asegurar su éxito. En el tema de arrecifes coralinos y la implementación de medidas de adaptación ante el cambio climático, se debe hacer un seguimiento constante de las acciones tomadas para asegurar el éxito de la conservación,

y en caso dado, ajustar dichas medidas. Teniendo en cuenta que el impacto mayor del cambio climático sobre los arrecifes coralinos sería el blanqueamiento de los corales, generado por aumentos anómalos de la temperatura, es necesario implementar estrategias para responder a estos eventos. Asimismo, el monitoreo puede ser una manera efectiva de involucrar a los actores locales en los procesos de manejo y fortalecer la sensibilización y concientización sobre los impactos del cambio climático en los arrecifes coralinos.

Entre los principios a considerar para el buen desarrollo de todo proceso de implementación, se encuentran el fortalecimiento de la gobernabilidad y la participación comunitaria. Del primero, se sabe que los diferentes análisis y estudios que se han desarrollado, muestran la deficiencia en la capacidad institucional como una de las causas que aceleran y repercuten en la problemática ambiental que enfrentan las áreas (López-Rodríguez *et al.*, 2008). Por otro lado, es esencial la articulación, coordinación y cooperación entre los actores involucrados en el uso y manejo del área. Entre algunas de las debilidades identificadas en el AMP se encuentran: la limitada capacidad humana, logística y financiera por parte de autoridades ambientales y de control; deficiencias en la operatividad de las normas y divulgación de las políticas ambientales; priorización de normativas de acuerdo a la crisis ambiental; no hay manejo adaptativo; baja gestión ambiental por parte de algunas comunidades locales; baja capacidad técnica; baja participación y liderazgo de algunas comunidades en los procesos de toma de decisiones.

Además, es fundamental involucrar efectivamente a los diferentes actores en los procesos que se llevan a cabo en el área, desde la generación de conocimiento, hasta la implementación del plan de manejo (Alonso *et al.*, 2003), mediante diferentes mecanismos de participación (consultas, talleres de socialización y sensibilización) y capacitación sobre estrategias de conservación en los arrecifes coralinos (educación ambiental).

La línea de Evaluación Continua y Ajustes en el Manejo puede considerarse como un elemento transversal a las demás líneas de acción o un instrumento de planificación, que permite la ejecución efectiva de las principales metas de conservación.

Objetivo. Generar, articular y difundir las distintas formas de conocimiento para contribuir a la toma de decisiones en relación con el manejo y la conservación de arrecifes coralinos

en un escenario de cambio climático; fortalecer la gobernabilidad en el AMP; y contribuir al fortalecimiento de las capacidades de los actores locales para vincularlos a los procesos orientados al manejo de los recursos naturales.

Programas y acciones

Programa 5. Gestión integral del conocimiento: monitoreo e investigación	
Objetivos específicos	Actividades
Desarrollar un plan de contingencia ante anomalías térmicas e implementar acciones previo, durante y posterior a un evento de blanqueamiento	Predecir eventos masivos de blanqueamiento por medio de un sistema de alarmas: reportes de NOAA CoralWatch y estación meteorológica y oceanográfica del Proyecto INAP/INVEMAR
	Evaluación de impactos ecológicos del blanqueamiento: red de voluntarios y especialistas para estimar la severidad del fenómeno y los corales afectados, evaluación ecológica rápida
	Evaluación de impactos socio-económicos del blanqueamiento: identificar impactos, integrar el conocimiento local y conocimiento técnico-científico, evaluar el costo socio-económico y beneficios de las estrategias de manejo ante estos eventos, aumentar la participación comunitaria en el monitoreo de los impactos del blanqueamiento
	Implementar medidas de manejo durante los eventos de blanqueamiento: implementar iniciativas para la protección de poblaciones de herbívoros (regulación pesquera) y la calidad del agua, restricción del uso de arrecifes especialmente afectados
	Divulgación masiva del evento de blanqueamiento: informar a los tomadores de decisiones, administradores ambientales, prensa local y gremio científico; actualizar información en páginas web; realizar publicaciones accesible al público general; ofrecer conferencias; desarrollar e implementar un programa de educación para escuelas locales

Programa 5. Gestión integral del conocimiento: monitoreo e investigación	
Objetivos específicos	Actividades
Fortalecer los sistemas de monitoreo de arrecifes coralinos, variables meteorológicas, oceanográficas y de la calidad ambiental marina e involucrarlos en las medidas de manejo del AMP	Integrar el concepto de resiliencia en el sistema de monitoreo de arrecifes coralinos
	Asegurar la inclusión de variables asociadas al cambio climático y que permitan reconocer cambios en: temperatura del agua, acidificación del océano, aumento del nivel del mar, corrientes, régimen de lluvias y descargas continentales.
	Asegurar la inclusión de variables indicadoras de la degradación de la calidad del agua marina y que afectan la salud de los arrecifes coralinos: contaminantes orgánicos e inorgánicos, nutrientes, sólidos en suspensión
	Crear una red de cooperación entre las entidades que realizan monitoreo de estos factores y la autoridad ambiental
	Involucrar a la comunidad en los sistema de monitoreo; misión y visión del sistema
	Crear un mecanismo de divulgación para el público en general (conferencias, cartillas divulgativas)
Identificar y priorizar las necesidades de información para responder a preguntas sobre la afectación del cambio climático en las áreas arrecifales, con el fin de apoyar la toma de decisiones de manejo en el AMP	Formular preguntas de investigación, el grado de profundidad y detalle requerido para definir escalas espaciales, temporales y especificidad técnica
	Concertar e implementar con los actores involucrados un plan de investigaciones que establezca responsabilidades y plazos para resolver las necesidades de información
	Diseñar un sistema de administración de la información que facilite la difusión, búsqueda y adquisición de la información
Generar e implementar mecanismos de uso de la información para la toma de decisiones: manejo adaptativo vs. pronósticos del cambio climático	Crear canales permanentes y efectivos de intercambio de información y consulta entre los generadores de información y tomadores de decisiones:
	Divulgar información útil y de fácil apropiación de acuerdo a las características de los actores involucrados
	Diseñar e implementar un sistema de soporte de toma de decisiones, teniendo en cuenta los pronósticos del cambio climático y los resultados de monitoreos e investigaciones

Programa 6. Fortalecimiento institucional y comunitario: gobernabilidad	
Objetivos específicos	Actividades
Fortalecer la capacidad administrativa de las instituciones con funciones en el área	Establecer y ejecutar una estrategia para la continua capacitación y actualización de información y conceptos de los actores involucrados
	Establecer y ejecutar una estrategia para el fortalecimiento de la capacidad logística de la entidad administrativa: número de funcionarios medios de transporte, equipos
	Establecer un sistema de divulgación para resaltar la implementación de una nueva Área Marina Protegida en Colombia como estrategia internacional para la manejo de áreas prioritarias de conservación en el mundo, de esta manera, gestionar fondos internacionales para el sostenimiento de la misma
Lograr efectividad en el cumplimiento de las normas ambientales	Proponer la implementación de multas y sanciones por el incumplimiento de la normas ambientales establecidas
	Crear un grupo de control y vigilancia que tenga la capacidad (en número, conocimiento y logística) de hacer cumplir la normatividad del área
	Realizar campañas de divulgación local sobre las normativas del área
	Involucrar a la comunidad para que formen parte del grupo que lidere el cumplimiento de las normas en el área
Mantener un programa de “manejo adaptativo”	Ajustar las medidas de manejo de acuerdo a los resultados que vayan arrojando los programas de monitoreo e investigación; implementando así acciones inmediatas que permitan cumplir con la metas de conservación.

Programa 7. Educación y participación	
Objetivos específicos	Actividades
Fortalecer los programas de educación ambiental y participación comunitaria	Incluir en los programas académicos temas ambientales: importancia de la conservación de los ecosistemas marinos, cambio climático, crisis ambiental, estrategias de conservación
	Realizar ciclos de conferencias con los actores involucrados sobre conservación y manejo de los recursos naturales del área y principales resultados de las investigaciones que se llevan a cabo en el área
	Divulgar los mecanismos de participación comunitaria para fomentar la intervención de diferentes actores en la toma de decisiones

Teniendo en cuenta que: el arrecife coralino es reconocido históricamente por la importancia de sus funciones ecológicas y la variedad de bienes y servicios que proporcionan a la humanidad (fuente de recursos, turismo y recreación); ha sido ampliamente degradado principalmente por intervenciones humanas; y es uno de los ecosistemas más sensibles frente a cambios en el sistema climático; es ahora fundamental la integración de estos nuevos conceptos en la implementación de planes de manejo de áreas protegidas para mejorar la capacidad de adaptación del ecosistema y contribuir en el cumplimiento de las metas de conservación propuestas en dichos planes.

La integración del tema de arrecifes coralinos y la crisis por el cambio climático en las estrategias de manejo de las áreas arrecifales es un paso fundamental para la conservación del ecosistema. El documento final será incorporado en el ya existente plan de manejo del AMP-CRSBeIF, formulado por Alonso y Castillo (2007). Se espera que dichas acciones contribuyan en la conservación de los arrecifes coralinos, como ecosistema altamente sensible, ante los impactos del CCG.

El proceso de implementación del Plan de Manejo parte de la ejecución de actividades propuestas para prevenir, mitigar, corregir y compensar los efectos de tensiones ambientales sobre el ambiente y los recursos naturales. Sin embargo, para la implementación de medidas de adaptación que aminoren los efectos del cambio climático sobre arrecifes coralinos, es imprescindible, realizar una gestión que se enmarque en el Manejo Integrado de la Zona Costera, contando con voluntad política, apropiada financiación y respaldo social.

5 REFERENCIAS

- Ablan, M.C.A., J.W. McManus, K. Viswanathan. 2004. Indicators for management of coral reefs and their applications to Marine Protected Areas. *NAGA, WorldFish Center Quarterly* 27 (1-2): 31-39.
- Achituv, Y. y Z. Dubinsky. 1990. Evolution and zoogeography of coral reefs: 1-9 En Dubinsky, Z (Ed) *Ecosystems of the World* 25, Elsevier Press, NY.
- Allison, W.R. 1996. Snorkeler damage to reef corals in the Maldives Islands. *Coral Reefs* 15: 215-218.
- Allison, E.H., A.L. Perry, M.C. Badjeck, W.N. Adger, K. Brown, D. Conway, A.S. Halls, G.M. Pilling, J.D. Reynolds, N.L. Andrew, N.K. Dulvy. 2009. Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries. *Fish and Fisheries. Journal compilation. Blackwell Publishing Ltd.* 24 p.
- Alonso, D., P. Sierra-Correa, F. Arias-Isaza, M. Fontalvo. 2003. Guía metodológica para el manejo integrado de zonas costeras en Colombia, manual 1: preparación, caracterización y diagnóstico. Serie de Documentos Generales de INVEMAR. No 12. 94 p.
- Alonso, D. y P. Castillo (Eds). 2007. Plan de manejo del Área Marina Protegida de los Archipiélagos del Rosario y San Bernardo. INVEMAR-MAVDT-UAESPNN-INCODER-CARSUCRE-CARDIQUE-EPA CARTAGENA-DIMAR. Santa Marta, Colombia. 159 p.
- Alvarado, E.M, F. Duque, L. Flórez, R. Ramírez. 1986. Evaluación cualitativa de los arrecifes coralinos de Islas del Rosario (Cartagena-Colombia). *Boletín Ecotrópica: Ecosistemas Tropicales.* 15: 1-30.
- Alvarado, E.M. y M.C. Corchuelo. 1992. Los nutrientes, la temperatura y la salinidad provenientes del canal del Dique como factores de deterioro en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario (Cartagena, Colombia): 277 – 287. En Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar. Santa Marta, Colombia.
- Andrade, C.A. 2000. Circulation and variability of the Colombian basin in the Caribbean Sea. Tesis a para optar al título de Doctor en Filosofía de la Universidad de Gales. 223 p.
- Aronson, R.B. y W.F. Precht. 2001. White-band disease and the changing face of Caribbean coral reefs. *Hydrobiology* 460: 25-38.
- Baird, A.H., R. Bhagooli, P.J. Ralph, S. Takahashi. 2009. Coral bleaching: the role of the host. *Trends in Ecology and Evolution* 24(1): 16-20
- Bak, R.P.M. 1978. Lethal and sublethal effects of dredging on reef corals. *Marine Pollution Bulletin* 9: 14-16.
- Baker, A.C., C.J. Starger, T.R. McClanahan, P.W. Glynn. 2004. Corals' adaptive response to climate change. *Brief communications. Nature* 430: p 741.
- Ballesteros-Galvis, F. 2005. Caracterización de la distribución especial de *Strombus gigas* Linnaeus 1758 (Mollusca:Strombidae) y evaluación de factores ambientales y pequeros determinantes en el archipiélago de San Bernardo, Caribe Colombiano. Tesis de pregrado Facultad de Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 113 p. + anexos.
- Barón, A., T. Fernández, A. Pion. 1984. Evaluación del impacto producido por el canal del Dique como principal fuente de contaminación de la bahía de Barbacoas y las islas del Rosario. Informe de Avance INDERENA-CIP, Cartagena. 17 p.
- Becerra, J., J.A. Garay, A. Mendoza, R. Pedraza, M.T. Vélez. 1998. Propuesta metodológica para el diagnóstico ambiental de áreas insulares como base para su ordenamiento territorial. Estudio de caso: islas del Rosario. Pontificia Universidad Javeriana-IDEADE. Maestría en gestión ambiental para el desarrollo sostenible con énfasis en Zonas Costeras. Cartagena de Indias D.T.Y.C. 165 p.
- Bellwood, D.R., T.P. Hughes, C. Folke, M. Nyström. 2004. Confronting the coral reef crisis. *Nature* 429: 827-833
- Birkeland, C. 1988. Second-order ecological effects of nutrient input on ecological communities. *Galaxea* 7: 91-100.
- Birkeland, C. (Ed). 1997. *Life and death of coral reefs.* Chapman & Hall., New York. 536 p.

- Brown, B.E. y L.S. Howard. 1985. Assessing the effects of "stress" on reef corals. *Advances in Marine Biology* 22: 1-63.
- Buddameier, R., J. Kleypas, J. Aronson. 2004. Coral reefs and global climate change: potencial contributions of climate change to stress on coral reef ecosystem. Prepared for the Pew Center on Global Climate Change. 56 p.
- Burel, T. y G. Vernet. 1982. Huellas de la última transgresión marina en la región de Cartagena. *Boletín Científico CIOH* 4: 33-47.
- Carpenter, K.E. et al. 2008. One-third of reef building corals face elevated extinction risk from climate change and local impacts. *Scienceexpress. Report*. 1:10.1126
- CCSP. 2008. Preliminary review of adaptation options for climate-sensitive ecosystems and resources. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research [Julius, S.H., J.M. West (Eds), J.S. Baron, B. Griffith, L.A. Joyce, P. Kareiva, B.D. Keller, M.A. Palmer, C.H. Peterson, and J.M. Scott (Autores)] U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA. 873 p.
- Cendales, M.H. 1999. Cartografía, composición y estado actual de los biótotos marinos arrecifales de Isla Rosario, Isla Barú y de los bajos intermedios del Archipiélago del Rosario. Trabajo de grado para optar al título de Bióloga Marina. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 113 p.
- Chiappone, M. (Ed). 2001. Coral reef conservation in Marine Protected Areas: a case study of Parque Nacional del Este, Dominican Republic. The Nature Conservancy, Publications for Capacity Building, Virginia, USA. 244 p.
- CIOH-CARDIQUE. 1997. Caracterización y diagnóstico integral de la zona costera comprendida entre Galerazamba y Bahía Barbacoas: marco conceptual y metodológico. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas y Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique, Convenio de cooperación CIOH-CARDIQUE. Cartagena. 160 p.
- Cortés, J. y M.J. Risk. 1984. El arrecife del Parque Nacional Cahuita, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 32: 109-121.
- Cortés, J. y M.J. Risk. 1985. A reef under siltation stress: Cahuita, Costa Rica. *Bulletin of Marine Science* 36: 339-356.
- D'Cross, L., J.L. Maté, J.E. Oke. 2001. Resistance and resilience to coral bleaching: implications for coral reef conservation and management. *Bulletin of Marine Science* 69 (1): 203 - 214.
- Díaz-Pulido, G. y J.M. Díaz. 1997. Algal assemblages in lagoonal reefs of Caribbean oceanic atolls. *Proceedings of the 8th International Coral Reefs Symposium* 1: 827-832.
- 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. Zapata, S. Zea. 2000. Áreas coralinas de Colombia. INVEMAR, Santa Marta. Serie de Publicaciones Especiales No 5. 175 p.
- Dodge, R.E., R.C. Aller, J. Thompson. 1974. Coral growth related to resuspension of bottom sediments. *Nature* 247: 574-577.
- Ferrari, A y A. Ferrari. 2002. Arrecifes coralinos. Editorial Grijalbo. 287 p.
- Flórez, C.A. 1999. Caracterización del paisaje y la vegetación de las islas Múcura y Tintipán, archipiélago de San Bernardo (Caribe colombiano). Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana. 106 p.
- Garay-Tinoco, J.A., D.I. Gómez-López y J.R. Ortiz-Galvis (Eds). 2006. Diagnóstico integral del impacto biofísico y socioeconómico relativo a las fuentes de contaminación terrestre en la bahía de Tumaco, Colombia y lineamientos básicos para un Plan de Manejo. Proyecto del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA-Programa de Acción Mundial PAM) y Comisión Permanente del Pacífico Sur CPPS. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR – Centro Control Contaminación del Pacífico CCCP – Corporación Autónoma Regional de Nariño CORPONARIÑO. Santa Marta. 290 p.
- Gardner, T.A., I.M. Cote, J.A. Gill, A. Grant, A.R. Watkinson. 2003. Long-term region-wide declines in Caribbean corals. *Science* 301(5635): 958-960.
- Garzón-Ferreira, J y M. Kielman. 1993. Extensive mortality of corals in the Colombian Caribbean during the last two decades: 247-253 En *Proceedings of the Colloquium on Global Aspects of Coral Reefs: Health, Hazards and History*. University of Miami, RSMAS.
- Garzón-Ferreira, J y J.M. Díaz. 2002. Status of Acroporid populations in Colombia: 135-136 En Bruckner, A.W. (Ed.) *Proceedings of the Caribbean Acropora Workshop*. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-24, Silver Spring, USA.
- Garzón-Ferreira, J., A. Rodríguez-Ramírez, S. Bejarano-Chavarro, R. Navas-Camacho y C. Reyes-Nivia. 2003. Estado de los arrecifes coralinos en Colombia: 84-113 En INVEMAR Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia: Año 2002. INVEMAR, Serie de publicaciones periódicas No 8, Santa Marta. 148 pp.

- Garzón-Ferreira, J. 1997. Arrecifes Coralinos: Un tesoro camino a la extinción? COLOMBIA Ciencia y Tecnología 15 (1): 11-19.
- Garzón-Ferreira, J., D.L. Gil-Agudelo, L.M. Barrios y S. Zea. 2001. Stony coral diseases observed in southwestern Caribbean reefs. *Hydrobiología* 460: 65-69.
- Gil-Agudelo, D.L. y J. Garzón-Ferreira. 2001. Spatial and seasonal variation of dark spots disease in coral communities of the Santa Marta area (colombian Caribbean). *Bulletin of Marine Science* 69 (2):619-629.
- Gil-Agudelo, D.L., J. Garzón-Ferreira, A. Rodríguez-Ramírez, M.C. Reyes-Nivia, R. Navas-Camacho, D.E. Venera-Pontón, G. Díaz-Pulido y J.A. Sánchez. 2006. Blanqueamiento coralino en Colombia durante el año 2005: 83-87. En INVEMAR Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros de Colombia: año 2005. Serie de publicaciones periódicas del INVEMAR No 8, Santa Marta. 360 p.
- Goldberg, J. y C. Wilkinson. 2004. Global threats to coral reefs: coral bleaching, global climate change, disease, predator plagues, and invasive species: 67-92. En Wilkinson, C.R. Status of Coral Reefs of the World: 2004. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia.
- Gómez-Campo, K. 2005. Distribución espacial de la estructura poblacional de *Strombus gigas* Linnaeus, 1758 (Mollusca: Strombidae) y factores que la determinan en el Archipiélago Nuestra Señora del Rosario, Caribe colombiano. Tesis de pregrado Facultad de Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 103 p. + anexos.
- Grigg, R.W. y S.J. Dollar. 1990. Natural and anthropogenic disturbances on coral reefs: 439-452 En Dubinsky, Z (Ed) Ecosystems of the World 25, Elsevier Press, NY.
- Graham, N.A., T.R. McClanahan, M.A. MacNeil, S.K. Wilson, N.V.C. Polunin, S. Jennings, P. Chabanet, S. Clark, M.D. Spalding, Y. Letourneur, L. Bigot, R. Galzin, M.C. Ohman, K.C. Garpe, A.J. Edwards, C.R.C. Sheppard. 2008. Climate warming, Marine Protected Areas and the ocean-scale integrity of coral reef ecosystems. *PLoS ONE* 3 (8): e3039.
- Grimsditch, G.D. y R.V. Salm. 2006. Coral reef resilience and resistance to bleaching. IUCN, Gland, Switzerland. 52 p.
- Guzmán, H.M., J.B.C. Jackson y E. Weil. 1991. Short-term ecological consequences of a major oil spill on Panamanian subtidal reef corals. *Coral Reefs* 10: 1-12.
- Hallock, P. y W. Schlager. 1986. Nutrient excess and the demise of coral reefs and carbonate platforms. *Palaos* 1: 389-398.
- Hallock, P., F. Müller-Karger, J.C. Halas. 1993. Coral reef decline. *National Geographic Research and Exploration* 9: 358-378.
- Harvell, C.D., C.E. Mitchell, J.R. Ward, S. Altizer, A.P. Dobson, R.S. Ostfeld, M.D. Samuel. 2002. Ecology - climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. *Science*, 296 (5576): 2158-2162.
- Hatcher, R.G., R.E. Johannes, A.I. Robertson. 1989. Review of research relevant to the conservation of shallow tropical marine ecosystems. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 27: 337-414.
- Hawkins, J.P. y C.M. Roberts. 1992. Effects of recreational SCUBA diving on fore-reef slope communities on coral reefs. *Biological Conservation* 62: 171-178.
- Hoegh-Guldberg O. 1999. Climate change, coral bleaching, and the future of the world's coral reefs. *Marine Freshwater Research* 50: 839-866.
- Hoegh-Guldberg, O. 2005. Low coral cover in a high CO₂ world. *Journal of Geophysical Research* 110: 1-11.
- Hoegh-Guldberg, O., K. Anthony, R. Berkelmans, S. Dove, K. Fabricius, J. Lough, P. A. Marshall, M. J. H. van Oppen, A. Negri, and B. Willis. 2007. Vulnerability of reefbuilding corals on the Great Barrier Reef to Climate Change: En Johnson, J.E. y P.A. Marshall (Eds) Climate Change and the Great Barrier Reef. Great Barrier Reef Marine Park Authority & Australian Greenhouse Office.
- Hubbard, D.K. 1997. Reefs as dynamic systems: 43-67 En Birkeland, C. (Ed) Life and Death of Coral Reefs. Chapman and Hall. New York.
- Huertas, J.C. 2000. Caracterización estructural, composición y estado de salud de las formaciones coralinas de Isla Fuerte, Bajo Burbujas y Bajo Bushnell, Caribe colombiano. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad de Antioquia, Medellín. 96 p.
- Hughes, T.P., A.H. Baird, D.R. Bellwood, M. Card, S.R. Connolly, C. Folke, R. Grosberg, O. Hoegh-Guldberg, J.B.C. Jackson, J. Kleypas, J.M. Lough, P. Marshall, M. Nyström, S.R. Palumbi, J.M. Pandolfi, B. Rosen, J. Roughgarden. 2003. Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science* 301: 929 - 933.
- Hughes, T.P., D.R. Bellwood, C. Folke, R.S. Steneck, J. Wilson, 2005: New paradigms for supporting the resilience of marine ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 20 (7): 380-386.

- Hughes, T.P. D.R. Bellwood, C. Folke, L. McCook y J.M. Pandolfi. 2006. No-take areas, herbivory and coral reef resilience. *Trends in Ecology and Evolution* 22 (1): 1-3.
- Hughes, T.P. 1994. Catastrophes, phase shifts, and large-scale degradation of a Caribbean coral reefs. *Science* 265: 1547-1551p.
- IDEAM. 2000. Colombia, Primera comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. MINAMBIENTE, IDEAM, PNUD. 307 p.
- Idso, C.D. 2009. CO₂, global warming and coral reefs: prospects for the future. Center for the Study of Carbon Dioxide and Global Change - Science and Public Policy Institute. 83 p.
- INVEVAR-CVS-CARSUCRE. 2001. Formulación del plan de manejo integrado de la Unidad Ambiental Costera y Estuarina del río Sinú y golfo de Morrosquillo, Caribe colombiano. Informe técnico. Santa Marta.
- INVEVAR. 2002. Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. Diagnóstico Nacional 2002. INVEVAR. 260 p.
- INVEVAR-UAESPNN -CARDIQUE-EPA CARTAGENA -DIMAR. 2003. Elaboración de un modelo de desarrollo sostenible para los archipiélagos de Nuestra Señora del Rosario y San Bernardo. Informe técnico. Resolución del MAVDT número 456 de 2003. 256 p. + anexos.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Solomon, S., D. Quin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, y H.L. Miller (Eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-996.
- Jackson, J.B.C, M.X. Kirby, W.H. Berger, K.A. Bjorndal, L.W Botsford, B.J. Bourque, R.H. Bradbury, R. Cooke, J. Erlandson, J.A. Estes, T.P. Hughes, S. Kindwell, C.B. Lange, H. S. Lenihan, J.M. Pandolfi, C.H. Peterson, R.S. Steneck, M.J. Tegner, R.R. Warner. 2001. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science* 293: 629-638.
- Julius, S.H., J.M. West, y G.M. Blate. 2008. Introduction: 2-1, 2-24 En CCSP Preliminary review of adaptation options for climate-sensitive ecosystems and resources. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research [Julius, S.H., J.M. West (Eds), J.S. Baron, B. Griffith, L.A. Joyce, P. Kareiva, B.D. Keller, M.A. Palmer, C.H. Peterson, and J.M. Scott (Autores)] U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.
- Keller, B.D., S. Airamé, B. Causey, A. Friedlander, D.F. Gleason, R. Grober-Dunsmore, J. Johnson, E. McLeod, S.L. Miller, R.S. Steneck, y C. Woodley. 2008. Marine Protected Areas: 8-1, 8-95 En CCSP Preliminary review of adaptation options for climate-sensitive ecosystems and resources. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research [Julius, S.H., J.M. West (Eds), J.S. Baron, B. Griffith, L.A. Joyce, P. Kareiva, B.D. Keller, M.A. Palmer, C.H. Peterson, and J.M. Scott (Autores)] U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.
- Kleypas, J. y O. Hoegh-Guldberg. 2008. Coral reefs and climate change: susceptibility and consequences: 19-29 En Wilkinson, C. y D. Souter (Eds). Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005. Global Coral Reef Monitoring Network, and Reef and Rainforest Research Centre, Townsville.
- Knowles, N., M.D. Dettinger, D.R. Cayan. 2006. Trends in snowfall versus rainfall in the Western United States. *Journal of Climate* 19(18): 4545-4559.
- Leble, S. y R. Cuignon. 1987. El archipiélago Islas del Rosario, estudio morfológico, hidrodinámico y sedimentológico. *Bol. Cient. CIOH*. 7: 37-52.
- López, A.C., P.C. Sierra-Correa, J.C. Rodríguez, J.L. Freyre-Palau (Eds). 2003. Plan de Manejo Integrado de la zona costera del complejo de las bocananas Guapi Iscuandé, Pacífico colombiano – Fase II. INVEVAR – CRC – CORPONARIÑO – IIAP. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Serie de Documentos Generales INVEVAR No. 17. Santa Marta, Colombia. 138 p.
- López-Rodríguez A.C., J.C. Rodríguez-Peláez, G. Arteaga-Morales, G. Almario-Cabrera, L.M. Prieto-Bayer, S. Espinosa, P.C. Sierra-Correa. 2008. Unidad ambiental costera de la llanura aluvial del sur (UAC-LLAS), Pacífico colombiano: Plan de manejo integrado de la zona costera. INVEVAR-CRC-CORPONARIÑO. Serie de Documentos Generale INVEVAR No. 23. 126 pp.
- López-Victoria, M. 1999. Estado actual de las áreas coralinas del archipiélago de San Bernardo: distribución, estructura, composición y estado de salud con notas sobre su origen y desarrollo geológico. Trabajo de grado (Biólogo). Universidad del Valle, Cali. 134 p.
- Loya, Y. y B. Rinkevich. 1980. Effects of oil pollution on coral reefs communities. *Marine Ecology Progress Series* 3: 167-180.

- Luckhust, B.E y K. Luckhurst. 1978. Analysis of the influence of substrate variables on coral reef fish communities. *Marine Biology* 49: 317-323.
- Marshall, P. y H. Schuttenberg. 2006. A reef manager's guide to coral bleaching. Great Barrier Reef Marine Park Authority, Townville, Australia. 166 pp.
- Marszalek, D.S. 1987. Sewage and eutrophication: 77-90 En Salvat, B. (Ed) Human impacts on coral reefs: facts and recommendations. Antenne Museum, French Polynesia.
- McCarty, J.P. 2001. Ecological consequences of recent climate change. *Conservation Biology* 15(2): 320-331
- McClanahan, T.R. 1995. A coral reef ecosystem-fisheries model: impacts of fishing intensity and catch selection on reef structure and processes. *Ecological Modelling* 80: 1-19.
- Mogollón, J.V. 2000. Aproximación a la historia geomorfológica del área de influencia del Canal del Dique: 13-32. En Niño, L, M. Rodríguez, O. Sáenz. Ambiente y desarrollo en el Caribe Colombiano. Ensayos y Monografías. Cartagena.
- Molina, A., C. Molina, G. Giraldo, C. Parra, P. Chevillot. 1994. Dinámica marina y sus efectos sobre la geomorfología del golfo de Morrosquillo. *Bol. Cient. CIOH*. 15: 93-113.
- Muller-Parker, G y C. D'Elia. 1997. Interactions between corals and their symbiotic algae: 96-112 En Birkeland, C. (Ed) Life and Death of Coral Reefs. Chapman and Hall. New York.
- Mumby, P.J., A. Hastings, H.J. Edwards. 2007. Thresholds and resilience of Caribbean coral reefs. *Nature* 450: 98 - 101.
- Navas-Camacho, R., A. Rodríguez Ramírez, C. Reyes-Nivia, N. Santodomingo, K. Gómez-Campo, K. Bernal, J. Vega-Seaqueda, J. Olaya-Restrepo, D.L. Gil-Agudelo, J. Garzón-Ferreira, F. Zapata Rivera, N. Bolaños, A. Abril, G. Duque-Nivia, D.L. Duque, A. Taborda. 2007. Estado de los arrecifes coralinos en Colombia: 48-58. En INVEMAR Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: año 2006. Serie de Publicaciones Periódicas No. 8, Santa Marta, 329p.
- Navas-Camacho, R., K. Gómez-Campo, J. Vega-Seaqueda y T. López-Londoño. En prensa. Estado de los arrecifes coralinos en Colombia. En INVEMAR Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: año 2008. Serie de Publicaciones Periódicas No. 8, Santa Marta.
- NOAA Coral Reef Conservation Program. 2009. NOAA Coral Reef Conservation Program Internacional Strategy 2010 – 2015. Silver Spring, MD: NOAA. 20 p.
- Nyström, M., C. Folke y F. Moberg. 2000. Coral reef disturbance and resilience in a human-dominated environment. *TREE* 15 (10): 413 - 417.
- Obura, D.O. 2005. Resilience and climate change: lessons from coral reefs and bleaching in the western Indian Ocean. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 63: 353 - 372.
- Ogden, J.C. 1997. Ecosystem interactions in the tropical coastal seascape: 288-297. En Birkeland, C. (Ed). Life and death of coral reefs. Chapman & Hall., New York.
- Pastorak, R.A. y G.R. Bilyard. 1985. Effects of sewage pollution on coral reef communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 21: 175-189.
- Peneiro, J.L., G.R. Navas, R.A. Montoya, F. Cleves, L.T. Moreno. 1990. Cartografía ecológica de los fondos submarinos adyacentes al conjunto de islas Latifundio-Minifundio, Parque Nacional Natural Corales del Rosario, Caribe colombiano. Memorias VII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar, CCO, Cali. 184-194.
- Pineda, I.J., L.A. Martínez, D.M. Bedoya, P. Caparrosa, J.A. Rojas. 2006. Plan de manejo del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo. UAESPNN. Territorial Costa Caribe, Cartagena. 379 p.
- Pittock, A.B. 1999. Coral reefs and environmental change: adaptation to what? *American Zoologist*. v39 i1 p10(1)
- Potts, D.C. y J.R. Jacobs. 2000. Evolution of reef-building scleractinian corals in turbid environments: a paleo-ecological hipótesis. *Proc. 9th Int Coral Reef Sym.*
- Prahl, H-v. 1985. Blanqueo y muerte de corales hermatípicos en el Pacífico colombiano atribuidos al fenómeno de El Niño 1982-1983. *Boletín ERFEN*. 12: 22-24.
- Pujos, M. y O. Javelaud. 1991. Depositional facies of a mud shelf between the Sinú river and the Darién Gulf (Caribbean coast of Colombia): environmental factors that control its sedimentation and origin of deposits. *Continental Shelf Research* 11(7): 601-623
- Reaser, J.K., R. Pomerance, P.O. Thomas. 2000. Coral bleaching and global climate change: scientific findings and policy recommendations. *Conservation Biology* 14(5): 1500-1511.

- Richardson, L.L. 1998. Coral diseases: what is really known?. *Trends Ecol. Evol.* 13: 438-443.
- Restrepo, J.D., B. Kjerfve, J.C. Restrepo. 2006. Factors controlling sediment yield in a major South American drainage basin: the Magdalena River, Colombia. *Journal of Hydrology* 316: 213-232.
- Roberts, C.M. 1995. Effects of fishing on the ecosystem structure of coral reefs. *Conservation Biology* 9: 998-995.
- Roberts, J.M., A.J. Wheeler, A. Freiwald. 2006. Reefs of the deep: the biology and geology of cold-water coral ecosystems. *Science* 312(5773): 543-547.
- Rodríguez-Ramírez A., J. Garzón-Ferreira, S. Bejarano-Chavarro, R. Navas-Camacho, C. Reyes-Nivia, G. Duque, C. Orozco, F. Zapata, O. Herrera. 2005. Estado de los arrecifes coralinos en Colombia: 77-114. En Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: Año 2004. INVEMAR. Serie Publicaciones Periódicas 8. Santa Marta, Colombia.
- Rogers, C.S. 1983. Sublethal and lethal effects of sediments applied to common Caribbean reef corals in the field. *Marine Pollution Bulletin* 14: 378-382.
- Rogers, C.S. 1990. Response of coral reefs and reef organisms to sedimentation. *Marine Ecology Progress Series* 62: 185-202p.
- Rojas, J.A. 2004. Evaluación de los ecosistemas de arrecife de coral y pastos marinos de cuatro áreas críticas de Parque Nacional Natural Los Corales del Rosario y de San Bernardo. Convenio Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales y el Centro de Investigación Educación y Recreación UAESPNN-CEINER, Cartagena. 35 p.
- Russ, G. 1991. Coral reef fisheries: effects and yields: 601-636 En *The ecology of fishes on coral reefs*. Sale, P.F. (Ed), Academic Press, NY.
- Salm, R.V. y S.L. Coles 2001. Coral bleaching and marine protected areas. Proceedings of the workshop on mitigating coral bleaching impact through MPA design, Bishop Museum, Honolulu, Hawaii, USA. 118 p.
- Sarmiento E., F. Flechas, G. Galvis. 1989. Evaluación cuantitativa del estado actual de las especies coralinas del Parque Nacional Natural Corales del Rosario. Tesis de grado, biología Marina. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 143 p.
- Schuhmacher, H. 1978. Arrecifes coralinos: su extensión, mundo animal y ecología. Omega S.A. Barcelona. 288p.
- Science Online. 2006. Coral reef distribution. Acceso: junio de 2009 en <http://www.scionline.org>
- Smayda, T.J. y Y. Shimizu. 1993. Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea. Elsevier, Amsterdam, 952 pp.
- Smith, S.V., W.J. Kimmerer, E.A. Laws, R.E. Brock, T.W. Walsh. 1981. Kaneohe Bay sewage diversion experiment: perspectives on ecosystem responses to nutrient perturbation. *Pacific Science* 35: 239-396.
- Smith, T.M. y R.W. Reynolds. 2005. A global merged land-air-sea surface temperature reconstruction based on historical observations (1880-1997). *Journal of Climate* 18(12): 2021-2036.
- Solano, O.D., G. R. Navas, S.K. Moreno-Forero. 1993. Blanqueamiento coralino de 1990 en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario (Caribe colombiano). *An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín*. 22: 97-111.
- Solano, O.D. 1994. Corales, formaciones arrecifales y blanqueamiento de 1987 en Bahía Portete (Guajira, Colombia). *An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín*. 23: 149-163.
- Soto, C.G. 2002. The potential impacts of global climate change on marine protected areas. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 11: 181-195
- Spalding, M.D.; C. Ravilious y E.P. Green. 2001. World atlas of coral reefs. Univ. California Press, Berkeley, USA. 424 p.
- Steneck, R.S., M.H. Graham, B.J. Bourque, D. Corbett, J.M. Erlandson, J.A. Estes, M.J. Tegner. 2002. Kelp forest ecosystems: biodiversity, stability, resilience and future. *Environmental Conservation* 29(4): 436-459.
- Sutherland, K.P., J.W. Porter, C. Torres C. 2004. Disease and immunity in Caribbean and Indo-Pacific zooxanthellate corals. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 266: 273-302.
- Tester, P.A. 1996. Climate change and marine phytoplankton. *Ecosystem Health* 2: 191-197.
- UAESPNN. 2003. Censo pesquero del archipiélago de San Bernardo, Caribe colombiano.
- UJTL (Universidad Jorge Tadeo Lozano)-INDERENA. 1989. Plan de manejo del Parque Nacional Natural "Corales del Rosario". Bogotá. Diagnostico general. Vol. 1. 215 p.

- UN-CIOH. 1999. Universidad del Norte y Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas. Plan de restauración ambiental de los ecosistemas degradados por el área de influencia del canal del Dique. Diseño preliminar del modelo numérico 2D-3D de calidad para el canal del Dique y sus sistemas lagunares. Cartagena. Informe ejecutivo. 24p.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1983. Ecological impacts of sewage discharges on coral reefs communities. Contract Number 68-01 -5906, Office of Water Program Operations, Washington, D.C. 86 p.
- Vargas-Ángel B., F.A. Zapata, H. Hernández, J.M. Jiménez. 2001. Coral and coral reef responses to the 1997-98 El Niño event on the Pacific coast of Colombia. *Bull. Mar. Sci.* 69(1): 111-132.
- Vernette, G. 1985. Le plate-forme continentale Caraïbe de Colombie. Importance du diapirisme argilleux sur la morphologie et la sédimentation. Thèse Doctorat. Mem. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine. No 20: 387 p.
- Walker, D.I. y R.F.G. Ormond. 1982. Coral death from sewage and phosphate pollution at Aqaba, Red Sea. *Marine Pollution Bulletin* 13:21-25.
- Weil, E., I. Urreiztieta, J. Garzón-Ferreira. 2002. Geographic variability in the incidence of coral and octocoral diseases in the wider Caribbean. *Proc. 9th Int. Coral Reef Sym.* 2: 1231-1237.
- Werding, B. y H. Sánchez. 1979. Informe faunístico y florístico de las Islas del Rosario en la costa norte de Colombia. Situación general y estructuras arrecifales. *An. Inst. Inv. Mar. Punta Betín* 11: 7-20p.
- Whelan, K.R.T., J. Miller, O. Sanchez, M. Patterson. 2007: Impact of the 2005 coral bleaching event on *Porites porites* and *Colpophyllia natans* at Tektite Reef, US Virgin Islands.
- Wilkinson, C.R. 1998. Status of Coral Reefs of the World: 1998. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia.
- Wilkinson, C.R. 2000. Status of Coral Reefs of the World: 2000. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia.
- Wilkinson, C.R. 2002. Status of Coral Reefs of the World: 2002. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia.
- Wilkinson, C.R. 2004. Status of Coral Reefs of the World: 2004. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia.
- Wilkinson, C. 2008. Status of coral reefs of the world: 2008. Global Coral Reef Monitoring Network, and Reef and Rainforest Research Centre, Townsville.
- Wilkinson, C. y D. Souter. 2008. Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005. Global Coral Reef Monitoring Network, and Reef and Rainforest Research Centre, Townsville. 152 p.
- Zapata, P. 2005. Análisis histórico de los impactos naturales y antrópicos sobre los arrecifes coralinos del Parque Nacional natural corales del Rosario, Caribe Colombiano. Trabajo de grado para optar al título de Bióloga Marina, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Zea, S. y F. Duque. 1990. Bleaching of reef organisms in the Santa Marta region, Colombia: 1987 Caribbean-wide event. *Trianea*. 3: 37-51