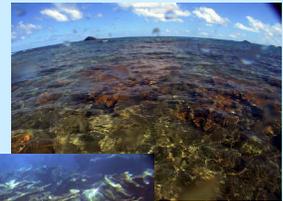


Plan de Manejo para la Conservación y Protección de los Arrecifes de Coral de Puerto Rico



31 de marzo de 2009

Plan de Manejo
Para la Conservación y Protección de los
Arrecifes de Coral de Puerto Rico

31 de marzo de 2009

TABLA DE CONTENIDO

I. Introducción	5
A. Trasfondo	6
B. Base Legal	6
C. Política Pública.....	8
D. Enfoque de Manejo – propósito, metas y objetivos.....	8
E. Metodología	9
A. Descripción del Recurso	10
A. Geografía y Fisiografía	10
B. Recursos Biológicos.....	13
1. Corales:	13
2. Roca viva	16
3.0 Invertebrados asociados a los arrecifes y a la roca viva	19
3.1 Poríferos.....	20
3.2 Anélidos.....	20
3.3 Moluscos.....	20
3.4 Artrópodos	21
3.5 Equinodermos	22
3.6 Briozoos y Cordados	22
4.0 Algas marinas y plantas con flores.....	23
C. Relaciones ecológicas	25
D. Distribución de especies de corales en Puerto Rico.....	27
E. Valoración y Usos de los arrecifes de coral	31
1. Importancia socioeconómica de los arrecifes de coral	31
2. Pesquerías	33
3. Turismo	34
4. Protección de costas	35
5. Uso comercial	36
6. Uso recreativo	36
7. Medicina y producción de compuestos farmacológicos (Investigación).....	37
8. Ciencia y educación	37
F. Condición actual de los arrecifes de coral	38
1. Tensores naturales.....	38
1.1 Cambio Climático y Blanqueamiento de corales.....	38
1.2 Enfermedades.....	41
1.3 Huracanes o tormentas tropicales	42
2. Tensores antropogénicos.....	43
2.1 Desarrollo costero, escorrentía y sedimentación	43
2.2 Contaminación Costera.....	44
2.3 Turismo y Recreación	44
2.4 Sobrepesca	45
3. Tensores antropogénicos.....	46
3.1 Sedimentación	47
3.2 Eutroficación	48
2.3 Contaminación.....	48

3.4	Daño Físico.....	49
3.5	Sobrepesca.....	50
3.6	Impacto de tensores antropogénicos sobre las praderas de yerbas marinas.....	50
E.	Manejo del Recurso	51
	Vigilancia.....	51
	Programa científico.....	52
F.	Implantación	55
I.	Inventarios de recursos marinos en Puerto Rico	56
a)	Arrecifes de coral.....	56
b)	Praderas de yerbas marinas.....	57
c)	Áreas de roca viva.....	57
V.	Desarrollar el Atlas de los Arrecifes de Coral y Yerbas Marinas del Archipiélago de Puerto Rico.....	57
VI.	Establecer un sistema de zonificación para los arrecifes de coral y las praderas de yerbas marinas en Puerto Rico.	58
VII.	Programa de Monitoreo e Investigación	58
1.	La Pesquería en Puerto Rico.....	59
2.	La Contaminación en Puerto Rico.....	60
3.	Usos de las Costas en Puerto Rico.....	61
4.	Especies Invasoras en Puerto Rico	62
5.	Cambios Climáticos en Puerto Rico.....	62
6.	Eventos Extremos en Puerto Rico	62
VIII.	Estrategias de acción local para la protección de los arrecifes de coral	63
1.	Educación y concienciación pública.....	63
2.	Sobre-Pesca	64
3.	Contaminación por Fuentes Dispersa Terrígenas.....	65
4.	Mal uso y sobre uso recreativo de los recursos	65
	Vigilancia.....	66
	Programa científico.....	66
	Programa de financiamiento e implantación:	69
IX.	Monitoreo	70
A.	Métodos.....	71
X.	Evaluación.....	71
	Componentes Bióticos y Valor Ecológico del Área	72
	Conflictos de uso.....	72
	Límites de Capacidad.....	72
	Problemas de las pesquerías relacionadas a los arrecifes de coral.....	72
	Sobrepesca	72
	Corales pétreos, octocorales, roca viva y praderas de hierbas marinas	73
	Colección de otros organismos invertebrados asociados al arrecife.....	73
G.	Identificación de Asuntos Condicionantes al Manejo del Área Natural, Estrategias, Metas y Objetivos	73
XI.	Referencias	75
XII.	Apéndices	87
	Apéndice A. Estatutos que establecen la base legal para la creación e implementación del Plan de Manejo de los Arrecifes de Coral.....	88

Apéndice B. Corales que se encuentran en las aguas alrededor de Puerto Rico y Áreas Naturales Protegidas	90
Apéndice C. LA SITUACIÓN ACTUAL DE LAS ESPECIES EXÓTICAS EN LOS AMBIENTES MARINOS DE PUERTO RICO.....	92

I. Introducción

Los arrecifes de coral son recursos de gran importancia tanto por su valor en la ecología de los ecosistemas costeros como por los beneficios que recibimos de ellos. Los arrecifes protegen nuestras costas de la erosión y del embate del oleaje durante marejadas, contribuyen a la formación de playas de arena, sostienen las pesquerías comerciales y recreativas, y son la atracción principal para la industria del buceo. Los arrecifes de coral también establecen las condiciones necesarias para el desarrollo de praderas de yerbas marinas y manglares en los márgenes de las costas. Estos funcionan como sistemas interdependientes que establecen ecosistemas marinos altamente productivos y de gran biodiversidad.

La condición de nuestros arrecifes de coral es preocupante. Varios estudios científicos revelan que durante las últimas tres décadas, especialmente en los últimos cuatro años, los arrecifes de coral en Puerto Rico han mostrado un aumento en la pérdida de coral vivo, tanto a consecuencia de causas naturales como antropogénicas. El rápido crecimiento y la alta densidad poblacional en Puerto Rico han desencadenado en un desarrollo urbano y comercial desmedido, concentrándose en las zonas costeras. El desarrollo acelerado ha resultado en un aumento en la deforestación, sedimentación y en las descargas de aguas usadas, al igual que en los desperdicios que se generan. Algunas de las consecuencias de la presión poblacional incluyen un alto flujo de sedimentos terrígenos y un aumento en los niveles de nutrientes a las aguas costeras, la pesca excesiva y la modificación de hábitats marinos. Además, las amenazas naturales como la mortandad masiva del erizo *Diadema antillarum* durante la década de 1980, las enfermedades que están desarrollando los corales, los eventos de blanqueamiento y los daños ocasionados por los huracanes y tormentas han contribuido al deterioro y reducción en la abundancia de los arrecifes de coral y han ocasionado el crecimiento y aumento de la cobertura de algas. De acuerdo al informe *Estado de los Ecosistemas de Arrecifes de Coral* (Turgeon et al, 2002), los factores antropogénicos que afectan a los arrecifes en las afueras de áreas urbanas van desde aquellos originados en la década de 1950 como lo fue la deforestación masiva de bosques de manglares, las escorrentías de desarrollos agrícolas a gran escala y la construcción de plantas termoeléctricas en las costas norte y sur de la isla; hasta el encallamiento de barcos, especialmente los que ocurrieron en la década de los '80 y '90 que causaron daños considerables a estructuras masivas de arrecifes de coral y hábitats de yerbas marinas. Otras actividades humanas de alto impacto a los arrecifes de coral lo son los derrames de productos derivados del petróleo, el anclaje de embarcaciones de gran tamaño utilizadas en el transporte de petróleo, actividades recreativas sin control, eutroficación de las aguas (a consecuencia de la carga de nutrientes provenientes de las descargas de aguas sanitarias), contaminación termal y actividades militares (especialmente aquellas realizadas en el pasado por la marina en áreas de bombardeo en las islas municipio de Vieques y Culebra).

Este plan toma como base dos documentos desarrollados para establecer prioridades en el manejo de los arrecifes de coral en Puerto Rico. Uno es el *Fishery Management Plan, Regulatory Impact Review and Final Environmental Impact Statement for Corals and Reef Associated Plants and Invertebrates of Puerto Rico and the United States Virgin Islands* publicado por el Consejo de Administración Pesquera del Caribe en el 1994 y enmendado en el 1999 y en el 2005, para el manejo de los arrecifes en aguas federales. El segundo consta de las **Estrategias de Acción Local** (*Puerto Rico Local Action Strategies for Coral Reefs*, LAS por sus siglas en

inglés), producido en el 2004 por el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales (DRNA) junto a la Administración Oceánica y Atmosférica Nacional (NOAA, por sus siglas en inglés) y revisado en el 2005. Los LAS establecieron las metas, objetivos y proyectos para la conservación y el manejo de los arrecifes de coral en Puerto Rico para un periodo de al menos cinco años.

Los LAS para los arrecifes de coral fueron preparados mediante un proceso de coordinación entre diferentes agencias estatales, federales, grupos no gubernamentales y universidades tanto en su versión original como en su revisión. El DRNA y la NOAA tuvieron a su cargo la coordinación del el proceso. Dentro de las agencias que participaron se encuentran el Departamento de Agricultura Estatal, la Compañía de Turismo de Puerto Rico, Departamento de Agricultura Federal, la Agencia Federal para la Protección Ambiental, el Consejo de Administración Pesquera del Caribe, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, la Administración Oceánica y Atmosférica Nacional, la Junta de Calidad Ambiental, la Junta de Planificación, Universidad de Puerto Rico (recinto de Río Piedras, Humacao y Mayagüez) y el DRNA. La participación ciudadana estuvo representada a través de organizaciones no gubernamentales como la Sociedad de Ambiente Marino.

Las áreas focales fueron trabajadas individualmente luego de identificarse los actores principales por medio de diferentes comités. Como resultado de este enfoque, ocurrieron solapes entre varios proyectos identificados en las diferentes áreas. Ello es más evidente en el área de Falta de Concienciación, ya que el mismo es amplio y en cada una de las otras áreas se identificaron proyectos que atañen a esta área. Por tal razón, se le añadió una sección de dichos proyectos.

Son muchos los retos que enfrentan los esfuerzos para la protección de los arrecifes y este documento presenta una guía de las prioridades gubernamentales para la conservación de los arrecifes de coral.

A. Trasfondo

La Ley Número 147 de 15 de julio de 1999 ordena al DRNA a crear un plan de manejo para la conservación, manejo y protección de los arrecifes de coral. El Programa de Arrecife de Coral del DRNA estableció que las reservas naturales que tuvieran un componente marino serían las áreas de prioridad para caracterizar, monitorear y crear mapas de zonificación. Además se identificó las áreas de prioridad a ser caracterizadas y monitoreadas. Desde que se realizó el primer inventario de los arrecifes de coral en los años 70 por Goenaga y Cintrón se estableció la importancia de estos hábitáculos en todas las esferas de nuestra vida.

B. Base Legal

Los estatutos que regulan actividades y usos de las áreas de arrecifes de coral son amplios y variados. De éstos los más importantes lo son la Ley que se decreta para la protección de este hábitáculo tan especial, junto con su reglamento. Otro estatuto que da amplios poderes en la protección de este ecosistema lo es la Resolución De La Cámara 307 para proteger la plataforma insular de nuestra isla. A continuación varias de estas leyes y un resumen de éstas.

1. Ley Número 147 de 15 de julio de 1999 – Ley para la protección, conservación y manejo de los arrecifes de coral en Puerto Rico

La ley faculta al Secretario del DRNA para que desarrolle un programa que permita la conservación, manejo y protección de los arrecifes de coral, así como penalizar acciones que sean perjudiciales a los mismos. El programa debe contemplar la educación al público en general sobre la importancia de los arrecifes de coral, su mantenimiento y la forma en que las personas pueden cooperar para protegerlos. Esta ley establece el precedente legal para la creación de este documento, pues reitera la necesidad de desarrollar un Plan de Manejo especial dirigido a los arrecifes de coral y a las comunidades coralinas y vida marina asociada a los mismos.

2. Reglamento de Arrecifes de Coral, del 2 de mayo de 2007

Reglamentar la extracción, posesión, transportación y/o venta de coral. Todo coral extraído en aguas sujetas a la jurisdicción de Puerto Rico, para cualquier propósito, deberá ser desembarcado en Puerto Rico. Todo coral extraído en aguas sujetas a la jurisdicción de Puerto Rico, e introducido de cualquier manera en Puerto Rico, estará sujeto a este reglamento y a todas las otras leyes y reglamentaciones aplicables.

3. Resolución Conjunta de la Cámara Número 307 del 12 de julio de 2000 para proteger tres (3) por ciento de la plataforma insular

El DRNA deberá identificar y establecer reservas marinas en áreas de necesidad prioritaria a ser conservadas para su recuperación, en un tres por ciento de la plataforma insular de Puerto Rico e islas adyacentes en un término de 3 años.

4. Ley 278 29 de noviembre de 1998 Ley de Pesquerías de Puerto Rico

Declara que son de dominio público, todos los organismos acuáticos y semiacuáticos que se encuentren en cuerpos de agua que no sean de dominio privado. Estos podrán ser pescados, aprovechados y comercializados libremente, con sujeción a las disposiciones de esta ley y los reglamentos promulgados a su amparo. Además, esta ley extiende el mar territorial hasta doce millas desde el límite de la línea de marea baja o desde las líneas de base que se tracen de acuerdo a los principios de derecho internacional.

5. Ley Número 430 de 21 de diciembre del 2000 - Ley de Navegación y Seguridad Acuática de Puerto Rico

Reglamenta el uso, manejo y operación de embarcaciones o vehículos de navegación en áreas debidamente identificadas y demarcadas por boyas u otros mecanismos o avisos instalados u operados por el Departamento para la protección de hábitats o criaderos de especies amenazadas, vulnerables o en peligro de extinción, así como aquellas áreas de alto valor natural y ecológico. Las agencias pertinentes podrán adoptar un reglamento de zonificación y delimitación de las áreas de protección de recursos naturales y ambientales.

Todos los estatutos que establecen la base legal para la creación e implantación del Plan de Manejo de los Arrecifes de Coral están desglosados en el Apéndice A.

C. Política Pública

La Constitución del Estado Libre Asociado de Puerto Rico en su Artículo VI Sección 19 declara que será política pública la más óptima conservación de los recursos naturales y el aprovechamiento de los mismos para el beneficio de todos los ciudadanos. La política pública del Estado Libre Asociado de Puerto Rico (ELA) establece la base legal para la protección de los arrecifes de coral mediante la Ley Número 147 de 15 de julio de 1999. En esta ley se declara y reitera que es política pública del ELA de Puerto Rico la protección, preservación y conservación de los arrecifes de coral en las aguas territoriales de Puerto Rico para el beneficio y disfrute de esta y futuras generaciones. Además, establece que en el interés público urge evitar y prevenir el daño continuo e irreparable a los arrecifes de coral y a la vida marina asociada a éstos.

D. Enfoque de Manejo – propósito, metas y objetivos

Como parte de un proceso de consulta entre varios comités con inherencia en asuntos de conservación de los recursos corales se estableció que el manejo de los arrecifes estaría guiado por el Plan Nacional de Conservación de los Arrecifes de Coral. Como parte de la participación de Puerto Rico dentro del “Coral Reef Task Force” (CRTF, por sus siglas en inglés) ha permitido el organizar y definir el manejo que se implementaría para proteger nuestros arrecifes conforme lo establecen la Constitución y las leyes que son la base legal de este plan de manejo.

Como resultado de la Resolución del CRTF en la reunión llevada a cabo en Puerto Rico en octubre del 2002, conocida como la Resolución de Puerto Rico se estableció mejorar la implementación del Plan Nacional de Conservación de los Arrecifes de Coral. A través de dicha Resolución se endosaron seis (6) áreas focales como prioridad de acción: sobrepesca, falta de concienciación, sobre-uso o mal uso recreativo, fuentes dispersas de contaminación, cambios climáticos vs blanqueamiento, y enfermedades de corales creando unas estrategias locales de acción (“Local Action Strategies”). Estas estrategias serían esenciales para mejorar la coordinación de implementación de la conservación de los corales. En un proceso de consulta auspiciado por el DRNA y la NOAA con las partes interesadas, llevado a cabo en el 2003, se escogieron cuatro de las seis (6) áreas focales identificadas en la Resolución de Puerto Rico: pesca, contaminación por fuentes terrígenas, usos recreativos y concienciación pública. Dentro del proceso de escoger las áreas focales, se identificaron los proyectos que pasaron a ser las *Estrategias Locales de Acción para la Protección de los Arrecifes de Coral* (LAS, por sus siglas en inglés) para alcanzar las metas y objetivos establecidos en el Plan Nacional de Acción para los componentes de manejo, ya que estas mejorarían el apoyo técnico y financiero para su implementación. De la manera en que se visualizó alcanzar las metas de los LAS fue:

- ▲ Incrementando la sincronización de las prioridades entre el gobierno local y el federal.

- ▲ Describiendo el perfil de los problemas y las preocupaciones acerca de los arrecifes de coral en programas relacionados (e.g. fuentes dispersas, Programa de Zona Costanera).
- ▲ Fortaleciendo la política pública y el apoyo para la conservación de los arrecifes de coral, proveyendo una base para poner al corriente los objetivos del estado para el manejo de los arrecifes de coral.

Si bien los proyectos que se identificaron y desarrollaron para atender las prioridades se realizarían dentro del término de tres años, ésto ha estado sujeto a conseguir los fondos, por lo cual la fecha de comienzo y duración de los LAS varió para las áreas de prioridad. Aún así, el promedio de fondos recibido por Puerto Rico para implementar los proyectos identificados en los LAS ha sido alrededor de 1 millón de dólares por año. No obstante, uno de los logros más significativos de todo el proceso de crear e implementar los LAS ha sido la colaboración que se creó y que se mantiene no sólo con agencias estatales y federales, sino también con entes no gubernamentales, quienes han sido instrumentales en conseguir fondos y voluntarios que han llevado a cabo los proyectos identificados.

Uno de los mayores retos en la implementación de estas estrategias lo ha sido la falta del personal necesario dentro del DRNA para hacer realidad y dar seguimiento a los proyectos de los LAS. Muchos de los proyectos descritos están a cargo del DRNA y no existe personal y/o fondos asignados suficientes, por lo que el desarrollo de esta propuesta y la búsqueda de fondos para implantarla ha sido un reto continuo. Como agencia encargada del Programa de Manejo de Arrecifes de Coral y líder en el desarrollo del documento LAS, el DRNA tomó el liderazgo en la búsqueda de fondos disponibles para los LAS. Un total de 109 proyectos se identificaron para atender las necesidades de protección de los corales, de los cuales, al momento, alrededor de un 85% han sido completados en su totalidad, 10% no han recibido fondos y 5% han sido completados o recibido fondos parcialmente.

E. Metodología

Este documento fue trabajado como parte de las tareas del “fellow” contratado por la NOAA para ayudar a levantar la capacidad del DRNA en el Programa de Arrecifes de Coral. Se preparó un borrador a partir del Plan de Manejo de Arrecifes de Coral del CFMC. Se llevaron a cabo varias reuniones públicas para integrar los insumos del público.

El 30 de abril y el 1^o de mayo de 2003, se celebró la reunión de inicio para desarrollar el borrador de los LAS de Puerto Rico. Un grupo central de personas fue invitado a preparar el borrador del documento de LAS y un itinerario de actividades para refinar los LAS en un periodo de cinco meses. Los objetivos del primer taller fueron:

- ✓ Introducir el grupo central al USCRTF y las actividades realizadas hasta ese entonces;
- ✓ Introducir el enfoque de los LAS, incluyendo las guías y las plantillas;
- ✓ Desarrollar un borrador inicial de los asuntos a discutir para las áreas prioritarias de amenazas;
- ✓ Desarrollar metas y objetivos iniciales para los asuntos a discutir identificados;
- ✓ Identificar los “grupos de interés” (stakeholders) o personas que contribuirían a la consecución de las metas y objetivos;

- ✓ Comprender el significado de ser parte del proceso;
- ✓ Examinar la plantilla de los LAS para presentarla a los grupos de interés y
- ✓ crear un itinerario y un plan de las tareas para desarrollar los temas prioritarios para cada una de las áreas de LAS.

Se llevaron a cabo 10 reuniones del grupo principal del área focal de falta de concienciación pública y sobreuso recreativo, tres reuniones de grupos de interés para el área de contaminación de fuentes terrígenas, tres del grupo de pesca excesiva, cuatro para el grupo del área focal de falta de concienciación, y cuatro para el de sobreuso recreativo. Los LAS se crearon basados en esta experiencia y se fortalecieron a través del incremento en la coordinación entre los socios estatales y federales, agencias locales y grupos no gubernamentales.

A. Descripción del Recurso

A continuación una caracterización de las áreas arrecifales alrededor de Puerto Rico extraída del *Estado de los Ecosistemas de Arrecifes de Coral en el 2005* (García-Sais et al, 2005).

A. Geografía y Fisiografía

Puerto Rico se encuentra localizado al norte del Caribe Central, entre las Islas Vírgenes Americanas y la República Dominicana. El archipiélago de Puerto Rico está compuesto por la isla principal de Puerto Rico, las islas oceánicas de Mona, Monito y Desecheo al oeste en el Pasaje de La Mona; Caja de Muertos en la costa sur; las islas de Culebra y Vieques, junto una serie de islotes que se extienden a lo largo de la costa este conocidos como La Cordillera de Fajardo. El archipiélago tiene una extensión total de 8,929,468 km² (García et al, 2005).

Las características geológicas, climatológicas y oceanográficas que afectan el crecimiento y desarrollo de los arrecifes de coral varían marcadamente entre segmentos de la plataforma insular (García et al, 2003). La costa norte y noroeste constituyen una plataforma estrecha y las comunidades coralinas de poca profundidad están expuestas a oleaje de alta energía durante el invierno y en la época de marejadas provenientes del norte del Océano Atlántico. La gran mayoría de los ríos de mayor caudal desembocan en la costa norte, seguidos por la costa oeste. Esto se traduce en una alta sedimentación por el transporte en los caudales de estos ríos. La zona noreste es una plataforma mucho más amplia protegida por una cadena de islotes emergentes (Reserva Natural Arrecifes La Cordillera de Fajardo) alineados de este a oeste entre la Isla de Culebra y la costa de Fajardo. Esta área no recibe descargas de ríos por lo que son propicias para el establecimiento y desarrollo de arrecifes de coral. La costa este entre Fajardo y la Isla de Vieques se caracteriza por extensos depósitos de arena que no constituyen un substrato adecuado para el crecimiento de corales. Sin embargo, existen formaciones rocosas dentro de este segmento de plataforma insular que ha sido colonizado por corales. El clima de la costa norte hacia el noreste, donde se ubica el bosque pluvial es generalmente lluvioso. No obstante, según nos movemos a la costa noroeste la cantidad de lluvia mengua.

La costa sur es un área de baja energía de oleaje, con una plataforma insular, generalmente, más amplia que la costa norte. Los ríos que desembocan en esta costa varían de cuencas hidrográficas pequeñas en el sureste, a pequeñas quebradas en el suroeste. El clima está clasificado como semi-

árido. Una característica de esta plataforma es que posee una alta cantidad de bahías y cañones submarinos (Acevedo & Morelock, 1988). Pequeños islotes de manglar proliferan a lo largo del borde de la costa sur, proveyendo substrato apropiado para el crecimiento de corales. El veril baja a unos 20 m en una pendiente empinada, casi vertical en algunos puntos. Al tope del veril existe un arrecife de coral sumergido que provee protección a otros arrecifes, sistemas de yerbas marinas y manglares (Morelock et al, 1977).

La costa suroeste se caracteriza por ser de clima seco con una plataforma amplia, con muchos arrecifes de coral emergentes y sumergidos, proveyendo condiciones propicias para el desarrollo de sistemas de yerbas y manglares de orilla (margen o franja). En la costa oeste central se encuentra la Bahía de Mayagüez: uno de los mayores sistemas estuarinos de la isla e influenciado parcialmente por la acción de marejadas del Atlántico del Norte durante el invierno. Los arrecifes fuera de la Bahía de Mayagüez muestran un deterioro marcado hacia la costa, pero los sistemas ubicados en el veril (borde de la plataforma) se encuentran en buen estado. Hacia el norte de la costa oeste, se encuentra el sistema de arrecife de coral de la Reserva Marina Tres Palmas, en la costa de Rincón. Este arrecife incluye el biotopo de coral Cuerno de Alce (*Acropora palmata*) bordeando la costa, el cual es probablemente el mayor que aún existe en Puerto Rico. En la costa noreste de Aguadilla, varios sistemas marginales pequeños de arrecife de coral se encuentran asociados a rocas en profundidades entre 15 a 25m. Estos arrecifes son fuertemente afectados por descargas intermitentes de ríos (como el Río Culebrinas) y la acción de las olas. Una característica prominente de la costa este de Aguadilla es la influencia de grandes plumachos de los ríos. Aunque los mismos impiden el desarrollo de arrecifes de coral, sí se encuentran corales en fondos duros y arrecifes rocosos.

En el Pasaje de la Mona se encuentran ubicados las Islas de Mona, Monito y Desecheo. La costa norte de estas islas es impactada fuertemente por marejadas provenientes del Atlántico Norte y sus plataformas son estrechas. Las secciones costeras del sur de estas islas están más protegidas y tienen plataformas más anchas en donde se desarrollan los arrecifes de coral. El sistema de arrecifes de coral en Desecheo es impresionante a profundidades entre 20 y 30 metros. Este posee una cubierta de coral vivo de más de 70% en muchas secciones. En Puerto Canoas se extiende hasta 40 m.

Los arrecifes de veril se formaron en Puerto Rico hace algunos 8,000 años atrás (Adey, 1978). Los arrecifes más cercanos a la costa que se formaron por encima de bancos sumergidos y fondos arenosos de la plataforma posiblemente tengan alrededor de 5,000 años (Adey, 1978). Al menos tres tipos principales de arrecife se han reconocido dentro de la plataforma puertorriqueña: arrecifes rocosos, arrecifes de fondo duro y arrecifes de coral (García-Sais et al., 2003). Diferentes formaciones de arrecifes de coral también se han reportado (Goenaga and Cintrón, 1979; Hernández-Delgado, 1992; Morelock et al., 1977).

Los arrecifes rocosos son sustratos duros sumergidos de relieve topográfico de moderado a alto, con cobertura de coral típicamente de baja a muy baja y están mayormente colonizados por lechos de algas ("turf algae") y otra biota incrustante. Las colonias de corales son abundantes en algunos casos. Estos arrecifes bordean las costas oeste y noroeste y se cree que constituyen los componentes principales de los sistemas de arrecifes profundos más allá del veril. Los arrecifes rocosos son hábitats importantes para los peces y marco invertebrados ya que usualmente son la

única estructura disponible que provee relieve topográfico bajo agua en estas áreas. Existen arrecifes rocosos basálticos profundos. Estos son un sistema extenso y complejo de lajas (“slabs”), peñones y grietas (“crevices”) y paredes verticales asociadas con la pendiente insular. La formación de arrecife profundo más extensa es la gran zona sur de falla de Puerto Rico (Glover, 1967; Garrison and Buell, 1971), que es una sección sumergida de la Cordillera Submarina “(Ridge)” Antillana que se extiende a través del Pasaje de Mona. La Cordillera Submarina se eleva desde una profundidad promedio de 4,600 m e incluye las islas de Mona, Monito y Desecheo, al igual que picos sumergidos que se elevan a profundidades de menos de 100 m, tales como Bajo de Cico y Bajo Esponjas.

Los arrecifes de fondo duro son mayormente plataformas planas y varían en profundidad de 5 a 30 m. Están cubiertos principalmente por alga “turf”, esponjas incrustantes y parchos dispersos de corales pétreos. Las colonias de coral son típicamente formaciones incrustantes, una adaptación a la extremadamente alta energía de oleaje que prevalece estacionalmente en la costa norte. Muchas de las colonias de coral crecen sobre paredes verticales en las grietas en el fondo duro. La esponja de barril, *Xestospongia muta*, es usualmente abundante en los arrecifes de fondo duro, representando una de las características principales que contribuye al relieve topográfico. Canales de arena de bajo relieve, alineados perpendiculares a la costa cortan a través de la plataforma de fondo duro en muchas áreas de las costas norte central y noreste de Puerto Rico (García-Sais et al., 2003).

Los arrecifes de coral en Puerto Rico se encuentran mayormente como formaciones de borde, parcho y de veril. Los arrecifes de coral de borde son los más comunes. Estos se localizan a través de la mayoría de las costas noreste, este y suroeste asociadas con rasgos rocosos erosivos del veril. Por lo general, el coral no es el constituyente principal de la estructura básica del arrecife, pero su desarrollo ha contribuido significativamente al relieve topográfico, influenciando la sedimentación de áreas adyacentes y proveyendo hábitat a una comunidad taxonómicamente diversa que es consistente con un sistema de arrecife de coral (García-Sais et al., 2003). En la costa sur, los arrecifes de coral bordean muchas islas o cayos pequeños y se encuentran como formaciones de coral extensas asociadas con la línea de costa en la desembocadura de bahías costeras. En algunos casos, el crecimiento del coral ha sido el responsable primario de la formación de arrecifes emergentes de islas o cayos, tales como los arrecifes en las afueras de La Parguera (García-Sais and Sabater, 2004). Los arrecifes de borde también se encuentran en las afueras de la costa noreste, mayormente en la sección de sotavento de las isletas mar afuera de Fajardo (en la Reserva Natural Arrecifes La Cordillera).

Los arrecifes de veril son los sistemas de arrecifes de corales mejor desarrollados (pero los menos estudiados) en Puerto Rico. Una formación de arrecife extensa se encuentra en el veril en las afueras de la costa suroeste en La Parguera. Este arrecife exhibe la típica formación de surco y espolón (“spur-and-groove”) con canales de arena perpendiculares a la costa, que cortan a través de la plataforma. Además, las formaciones de arrecifes en el veril de Ponce (Derrumbadero), Guánica, Desecheo y Mona están caracterizadas por comunidades complejas estructural y taxonómicamente. La hendidura del veril en la costa norte se caracteriza por una pendiente más suave que la de la costa sur y el substrato es generalmente arenoso o un fondo duro plano con bajo relieve. Muchas secciones de la costa norte presentan arrecifes rocosos dispersos. Algunos se encuentran abajo en la pendiente insular y representan el substrato principal para las comunidades

de arrecifes profundos con corales hermatípicos y ahermatípicos vivos, por lo que proveen un hábitat físico importante.

B. Recursos Biológicos

Los invertebrados, las plantas del arrecife, las algas marinas y las comunidades de hierbas marinas asociadas a los arrecifes de coral poseen una amplia diversidad de especies. Las comunidades de aguas llanas en el trópico tienden a estar dominadas por organismos sésiles que forman parte esencial del arrecife.

1. Corales:

Los corales pertenecen al Orden Scleractinia de la Clase Antozoa, filum Cnidaria. Sin embargo, el término coral se usa de forma flexible y se utiliza de manera genérica para incluir otros grupos taxonómicos dentro y fuera de la Clase Antozoa. Los octocorales constituyen la Sub-clase Octocoralia y los corales negros pertenecen a la Orden Antipatharia. Los hidrocorales pertenecen a la Clase Hidrozoa. En este documento el término coral se aplica a todos los organismos de las Clases Hidrozoa y Antozoa. El término coral pétreo aplica a las Clases Hidrozoa y Antozoa y al Orden Antipatharia. A continuación se describe, por Clase, la biología de los grupos principales de corales.

1.1 Clase Hidrozoa

Muchos hidrocorales crecen en colonias. El animal está compuesto de muchos pólipos que secretan un esqueleto sólido. Los pólipos poseen células urticantes (nematocistos) que le permiten capturar y paralizar a su presa; de ahí surge el nombre común de corales de fuego. Son corales hermatípicos (corales capaces de formar arrecifes) y juegan un papel importante en la construcción de los arrecifes, particularmente en los sustratos llanos expuestos al viento. Estos sirven de amortiguamiento a las olas en tiempo de marejada, ayudando a la protección de las áreas costeras.

1.2 Clase Antozoa (Antozoarios)

En los antozoarios se encuentran los corales negros (Orden Antipatharia), los gorgonios, los abanicos de mar (Sub-clase Octocoralia), las anémonas y organismos similares (Ordenes Actinaria, Zoantidea y Corallimorpha) y los corales que construyen los arrecifes, los del Orden Scleractinea.

1.2.1 Antozoarios del Orden Scleractinea (escleractíneos)-corales pétreos

Son animales capaces de secretar calcio, algunos forman colonias compuestas de pólipos entrelazados física y fisiológicamente; también pueden ser solitarios o consistir de un solo pólipo.

En contraste con las anémonas, éstos pueden producir carbonato de calcio y formar esqueletos de aragonita que pueden alcanzar tamaños considerables (por ejemplo, 5 m de diámetro y altura en individuos de la especie *Montastrea annularis*). El esqueleto es interno, en contraste a otros cnidarios que forman esqueletos. Muchas especies de escleractíneos poseen anillos de crecimiento anual que están directamente relacionados a la variable de densidad de su esqueleto; estos anillos pueden ser utilizados para inferir a cerca de diversas variaciones ambientales del pasado.

Ecológicamente, los escleractíneos pueden ser divididos en dos categorías generales: aquellos capaces de formar arrecifes, conocidos como hermatípicos y los que no son capaces de formar arrecifes o ahermatípico.

Las especies que forman arrecifes difieren de las que no los forman en que sólo los que forman arrecifes contienen algas endosimbiontes conocidas como zooxantelas. Las zooxantelas promueven el crecimiento de los corales hermatípicos y les permite formar colonias grandes. A lo largo del tiempo estas colonias se acumulan y forman los depósitos de carbonato de calcio de origen biogénico más grandes de la Tierra. Estos depósitos se conocen como arrecifes de coral. Los arrecifes de coral proveen el hábitat del cual dependen muchas otras especies de vertebrados e invertebrados.

La reproducción en los corales ocurre de dos maneras, sexual y asexual. La reproducción sexual consiste de la formación de larvas diminutas (plánulas) que forman parte del plancton por un período de tiempo variable (de días a semanas) y eventualmente se fijan o adhieren al fondo. Si la reproducción es asexual, las larvas se generan en el saco gástrico de los progenitores y son liberadas cuando están listas para fijarse en el fondo. La mayoría de los corales tienen patrones estacionales definidos para la reproducción sexual y muchos tienen requisitos específicos de los fondos a los que pueden adherirse. Las especies de coral tienen diferentes tasas de crecimiento pero la mayoría tiene un crecimiento lento y una larga vida. Por ejemplo, en el área de La Parguera en el suroeste de Puerto Rico los corales de la especie *Montastrea annularis* muestran una tasa de crecimiento de menos de 10 mm por año y pueden vivir por cientos de años.

Un estudio realizado en las Islas Vírgenes estableció el período de tiempo estimado para crecimiento lineal anual en cinco especies de corales durante períodos de temperaturas extremas (la más alta y la más baja); *Montastrea annularis* mostró un crecimiento de 6.6 a 8.9 mm/año y *Porites asteroides* de 3.0-3.5 mm/año. La especie de coral de más rápido crecimiento del género *Acropora*, *A. cervicornis*, mostró tasas de crecimiento de 71mm/año, *A. prolifera* de 59-82 mm/año y *A. palmata* de 47-99mm/año. Con muy pocas excepciones, las tasas de crecimiento de coral son extremadamente bajas.

En un estudio a nivel mundial, se estimó el crecimiento máximo sostenible de los arrecifes de coral a una razón de 10 mm/año. Estudios realizados en un arrecife de barrera en el veril de la plataforma insular en el área de La Parguera en el suroeste de Puerto Rico, indican que para estos arrecifes se ha registrado un crecimiento de 20 m en un período aproximado de seis mil años lo que equivale a una tasa de crecimiento de 0.3 cm/año.

Las comunidades de coral existen en variedad de condiciones en las que influyen: profundidad del agua, tipo de fondo, calidad de agua, energía del oleaje y corrientes. Los arrecifes bien

desarrollados usualmente ocurren en aguas tropicales y sub-tropicales de baja turbidez, bajo nivel de influencia de escorrentías terrestres y niveles bajos de sedimentos suspendidos. Los arrecifes de coral en el Caribe están formados por los géneros principales que forman arrecifes: *Acropora*, *Montastrea*, *Porites*, *Diploria*, *Siderastrea* y *Agaricia*. En general, los tipos de arrecifes se definen de la siguiente manera:

- Arrecifes de franja: arrecifes emergentes, cercanos a masas de tierra con algunas lagunas estrechas y abiertas entre éstos y la costa.
- Arrecifes sumergidos: son arrecifes de franja que no se han desarrollado hasta la superficie; en éstos pueden predominar un crecimiento activo de coral o pueden estar cubiertos por comunidades abundantes de colonias de gorgonias, esponjas y corales.
- Arrecifes de parcho: arrecifes pequeños de forma irregular que surgen del fondo y están separados de otras secciones del arrecife.

1.2.2 Antozoarios del Orden Antipatharia-corales negros

Estos antozoarios se encuentran debajo de escollos o plataformas en áreas profundas del océano. Su esqueleto axial es negro, espinoso y proteínico; es secretado en capas concéntricas alrededor de un centro hueco. No se conoce mucho de su ecología y desarrollo. La evidencia disponible sugiere que su reclutamiento es episódico y que, anualmente sólo algunos reclutas fuertes logran sobrevivir. Estos son de gran importancia para la abundancia de las poblaciones locales. Por lo tanto, las poblaciones de especies de importancia comercial corren el riesgo de ser sobre-explotadas. En el Caribe, algunas colonias son cosechadas con propósitos artesanales.

1.2.3 Antozoarios de la sub-clase Octocoralia

Forman colonias suaves y flexibles que pueden parecer abanicos, arbustos o varas. Al igual que los hidrocorales y corales negros, su esqueleto es interno y consiste de un eje central compuesto de proteína colágeno (gorgonin). Algunas especies carecen de esqueleto axial. De acuerdo a un estudio realizado durante un período de cinco años en trece especies en el suroeste de Puerto Rico y basado en relaciones de tamaño-edad, los gorgonios pueden vivir por más de veinte años con tasas de crecimiento anual que varían de 0.8 a 4.5 cm por año. Se encontró que la mortandad era baja en colonias grandes (>10 cm de alto) y alta en colonias pequeñas (< 6 cm de alto); siendo la mayor causa de muerte el daño a la base de la colonia o el desprendimiento. Los adultos generalmente alcanzan una altura de más de 25 cm.

El reclutamiento y supervivencia de las colonias pequeñas de gorgonios es muy variable mientras que la supervivencia de las colonias grandes es alta y predecible. Dado que el reclutamiento de nuevas colonias es variable, la supervivencia de los adultos es crítica para la persistencia de las poblaciones de gorgonios. En el contexto de manejo, es importante aclarar que existen interacciones mutualísticas entre gorgonios juveniles y adultos, lo que indica que los modelos clásicos de pesquerías (cuya base asume interacciones competitivas, donde la pesca hace posible

un aumento en el reclutamiento, supervivencia y crecimiento, dentro de ciertos límites) puede no ser aplicable a los gorgonios ni a otros organismos con demografías similares donde hay una relación directa al tamaño de las colonias; esto posiblemente aplica a otros organismos coloniales sésiles del arrecife.

En Puerto Rico, los gorgonios son componentes conspicuos de los arrecifes de coral y pueden ser abundantes en lugares donde los corales escleractíneos son incapaces de proliferar.

1.2.4 Actinarios y otros antozoarios

Conocidos comúnmente como anémonas, este grupo incluye una diversidad de organismos que pueden ser solitarios o coloniales y existe gran variación en la morfología y estructura colonial de los pólipos. Las especies usualmente son bien coloridas y crecen pegadas a las rocas aunque algunas formas son contráctiles y tienen la capacidad de esconderse. Las anémonas solitarias no-contráctiles son sésiles aunque pueden cambiar de posición mediante un deslizamiento lento. Las colonias de antozoarios están compuestas de numerosos pólipos con diámetros de 1-2 centímetros e interconectados como en un bordado o en una estera. Estos pueden pavimentar rocas o formar masas grandes e incrustadas. Las especies principales de anémonas pertenecen a los géneros: *Bartolomea*, *Stoichactis*, *Condylactis*, *Ricordea*, *Rhodactis*, *Phymanthus* y *Zoanthus*. La anémona caribeña, gigante y de puntas rosadas, *C. gigantea* provee protección a una gran variedad de crustáceos y peces tanto juveniles como adultos. Esta especie se ha estudiado en el estado de la Florida y se conoce que desova en Cayo Largo a finales de la primavera y puede reproducirse con poco tamaño y un peso de unos 4.5 g.

2. Roca viva

Roca viva es un término usado por la industria de acuarios marinos para describir el sustrato duro colonizado por invertebrados marinos sésiles y plantas marinas. Se incluye bajo la definición de roca viva la cosecha de cualquier invertebrado sésil si requiere ser removido del sustrato al que está adherido. El valor de la roca viva en esta industria es para los sistemas de “arrecifes vivos” o “mini arrecifes”, generalmente en acuarios privados o como sustrato en los acuarios. La demanda por la roca viva ha aumentado debido a los avances técnicos en los sistemas de acuarios de agua salada que han hecho posible el mantenimiento de la roca viva.

Típicamente la roca viva es cualquier sustrato no-viviente que se colecta para obtener los organismos asociados a ésta, por ejemplo, abanicos de mar, plumillas de mar, hidroídeos, anémonas, esponjas incrustantes, briozoos, tunicados, moluscos, etc. Cualquier combinación de plantas o invertebrados sésiles fijados a una roca, coral muerto u otro sustrato no viviente se considera como roca viva. El sustrato puede ser estructura de coral, una porción visible del sustrato sobre la superficie del fondo o piedras irregulares no-consolidadas en una variedad de hábitats. En general, se han descrito cuatro categorías de roca viva:

2.1 Escombros de coral (“rubble rock”)

Posee poca cubierta viva y es preferida por los organismos que viven en orificios (organismos endolíticos). En los acuarios se utiliza como sustrato base. El carricoche se compone mayormente de coral muerto y se encuentra en las aguas llanas detrás del arrecife; sus orificios sostienen una gran diversidad biológica.

2.2 Roca con algas (“algae rock”)

Es colonizada mayormente por algas y a nivel secundario por las plumillas de mar y otros invertebrados. También se conoce como planta-roca (“plant rock”). La importancia de las macroalgas en el arrecife está muy bien documentada. Las macroalgas sirven de forrajeo para un gran número de herbívoros y con la excepción de las algas simbióticas, son los productores de mayor importancia, haciendo posible la disponibilidad de energía a los consumidores no-coralinos del arrecife. Estas comunidades son de gran importancia como fuentes de carbono y nitrógeno fijo para otras comunidades marinas; la energía y el nitrógeno para sostener el resto del sistema provienen de este hábitat del arrecife.

2.3 Coral falso

Este se encuentra cubierto por anémonas, principalmente de los géneros *Ricordea*, *Phymanthus*, y *Rhodactis*, las que usualmente están acompañadas por gorgonios incrustante, esponjas “hígado de pollo”, otros invertebrados y algas. También se le conoce como anémona-roca o anémona verde azul y se encuentra en una variedad de hábitats. Muchas especies de peces e invertebrados están asociadas a los organismos que componen el complejo de coral falso, el cual constituye un micro-hábitat de gran importancia para una amplia diversidad de organismos.

2.4 Estera marina (“sea-mat”)

Es colonizada casi exclusivamente por organismos similares a las anémonas, usualmente del género *Zoanthus*, también se le conoce como roca cascajo o roca colonial. Al igual que el coral falso, éste provee un micro-hábitat para una amplia diversidad de organismos asociados.

Importancia de la roca viva

El sustrato de roca es esencial para la supervivencia y desarrollo de las comunidades de invertebrados y al igual que para los corales que forman arrecifes, este sustrato duro es un componente integral del hábitat del arrecife y es esencial para el bienestar de la flora y fauna

asociada al arrecife. Existen tres razones de gran importancia para la presencia de la roca viva en el ambiente del arrecife, primero, las comunidades de invertebrados sésiles que componen y están asociadas al complejo de roca viva son una fuente alimenticia significativa para especies de peces y mariscos de importancia económica para la Isla. Segundo, la complejidad física y topografía del sustrato duro y las comunidades vivas asociadas proveen albergue y hábitat crítico a un grupo amplio de organismos. Muchos estudios establecen una correlación positiva entre el aumento en la complejidad de hábitat y aumento en la abundancia y diversidad de peces (Carpenter et al., 1981; Roberts & Osmond, 1987; Hixon y Beets, 1993). Tercero, las superficies de roca y coral muerto son sustratos vitales para el asentamiento de las fases larvales de organismos bénticos que no pueden establecerse sobre el coral vivo. La disponibilidad de sustrato apropiado es uno de los factores de mayor importancia en el control de la distribución de muchas especies. Por ejemplo, el sustrato natural tosco, cubierto por organismos vivos con presencia de ciertas larvas y ausencia de ciertos organismos es necesario para el asentamiento de octocorales. Muchas otras especies de coral también requieren condiciones específicas de sustrato para el asentamiento de sus larvas. Kinzie en 1971 y Wheaton en 1989 encontraron que, aun después de seis meses, un sustrato desprovisto de su cubierta natural no mostraba una colonización apreciable de octocorales. Tanto la complejidad biológica como la física son esenciales para el desarrollo del ecosistema del arrecife. Los hábitats de arrecifes de coral y de roca viva forman el espinazo de este complejo ecológico.

Se conoce poco a cerca de las tasas de generación y regeneración de los complejos de roca viva. En términos de sustrato duro, el reemplazo ocurre en orden de tiempo geológico. Si se explota comercialmente, su colección resulta en una pérdida neta de este sustrato, el cual es esencial para el asentamiento de muchos de los organismos que forman las comunidades de invertebrados del ecosistema del arrecife de coral. Dada la diversidad de organismos invertebrados que componen la roca viva, son inevitables las amplias variaciones que existen en los patrones de colonización y establecimiento de comunidades clímax, los que parecen ocurrir lentamente. La información disponible demuestra que, por ejemplo, las razones de colonización para algunos organismos son altamente dependientes de la especie, algunos son rápidos y otros extremadamente lentos. Observaciones en arrecifes artificiales (de gomas) en Trinidad, indican que luego de dos meses era notable la colonización por algas filamentosas, bayocas y algunos briozoos. Luego de cuatro a cinco meses continuaba el dominio de éstos pero era notable la presencia de cangrejos flecha, ascidios y octocorales. El número de invertebrados aumentó alrededor de los ocho meses, mientras que era notable la colonización del sustrato artificial por hidroideos y corales (Plan de Manejo CFMC, 1994). Experimentos preliminares en el cultivo de roca viva en la Bahía de Tampa en Florida indican que las rocas a las que se le sembraron organismos mostraron suficiente crecimiento de una baja diversidad de organismos (por ejemplo, algas, hidroideos, bayocas, plumillas y algunas anémonas) produciendo así roca viva con valor comercial en un período de seis meses; otras especies surgieron a una razón mucho más lenta. Esto sugiere que una comunidad madura puede tardar muchos años en re-establecerse (Ehringer & Webb, 1992). Sin embargo, este estudio es un indicador prometedor de la viabilidad del cultivo de roca viva.

El ensamblaje que compone la roca viva abarca una comunidad de organismos que han sido reclutados en tiempos diferentes, a tasas de crecimiento diferentes y han establecido diferentes estrategias en su historial de vida. Este ensamblaje está sostenido por un sustrato duro usualmente compuesto de coral muerto, el cual se considera no renovable en la escala de tiempo humano. La

implicación es que las tasas de renovación de roca viva son inevitablemente muy lentas para su reemplazo en un futuro cercano y a través del tiempo su extracción resulta en la pérdida neta del hábitat de roca viva. La importancia física de la roca viva como hábitat es paralelo a la de los corales que forman arrecifes. Por esto y debido a que actualmente no hay información disponible respecto a cuán factible es una cosecha sostenible (y de haberla se tendría que asignar un nivel biológicamente aceptable para la cosecha) se tiene que considerar la roca viva como recurso no-renovable; su cosecha es comparable a la minería.

En 1992, la Comisión de Pesquerías Marinas de Florida (FMFC por sus siglas en inglés), votó para eliminar la colección de roca viva en la Zona Económica Exclusiva (EEZ, por sus siglas en inglés), por un período de tres años con la excepción del uso para la acuicultura. Las siguientes razones causaron esta determinación: 1) en Florida, la única producción neta de sustrato de carbonato que se encuentra bajo la roca viva ocurre en arrecifes de coral vivos y estos arrecifes se encuentran en equilibrio o en estado de erosión 2) personal del Departamento de Recursos Naturales de Florida testificó que más de un 90% de la roca viva examinada contenía colonias de corales. La FMFC concluyó que la colección de roca viva violaba las leyes federales y estatales que prohíben la toma de corales, reduce la complejidad topográfica, el área de superficie de los arrecifes de coral y remueve micro comunidades completas en el proceso de colección de especies para los acuarios. La explotación comercial de la roca viva ocurre mediante el desalojo del arrecife o remoción de sustrato adyacente a la estructura del arrecife. Como recurso pesquero, la roca viva es valorada por el comercio de acuarios marinos debido a la comunidad de invertebrados que éstas sostienen. El sustrato de roca es esencial para la supervivencia y desarrollo de las comunidades de invertebrados y no se puede lograr la colección eficiente de los organismos de interés para el mercado de acuarios sin la colección de la base.

En Puerto Rico, la colección de roca viva es prohibida por ley. Sin embargo, en la Isla no existe un inventario de las áreas de roca viva por lo que se desconoce su distribución. Se cree que al igual que la de los arrecifes de coral, su distribución es limitada. Es necesario aunar esfuerzos para obtener información acerca de la distribución, abundancia y tasas de regeneración de los recursos de roca viva.

3.0 Invertebrados asociados a los arrecifes y a la roca viva

Los invertebrados asociados a los arrecifes abarcan una amplia diversidad de organismos que se cobijan dentro, sobre o cerca de un hábitat de coral o arrecife rocoso. Algunos son animales solitarios mientras que otros viven en grupos o asociaciones con otros organismos (por ejemplo, comensalismo o mutualismo). En general, se conoce poco de la biología de los organismos individuales y aún menos de las comunidades que éstos forman. Algunos son sésiles (no se mueven) durante toda su vida adulta, algunos se mueven lentamente o rara vez, siendo esencialmente sedentarios mientras que otros se extienden extensamente sobre el hábitat. Son miembros de diversas especies de los Filo Porifera (esponjas), Cnidaria (anémonas y gorgonios), Anélida (gusanos poliquetos), Molusca (bivalvos, caracoles y pulpos), Artrópoda (camarones, langostas y cangrejos), Bryozoa, Equinodermata (estrellas de mar, estrellas quebradizas, erizos), y

Cordata (tunicados y ascidias). A continuación se presenta un resumen de las características generales de cada grupo de acuerdo a Barnes, 1987 (tomado del Plan de Manejo CFMC, 1994):

3.1 Poríferos

Las esponjas (filo PORIFERA) se encuentran adheridas al sustrato duro. Todas son sésiles y exhiben poco movimiento que se pueda detectar. Muestran gran variedad en tamaño y forma, sus tasas de crecimiento y la forma del cuerpo son altamente dependientes a la disponibilidad de espacio, la inclinación del sustrato y la velocidad de la corriente. Varias especies de esponjas son cosechadas por la industria de acuarios marinos, aunque sólo *Haliclona* ha sido identificada a género.

3.2 Anélidos

Los gusanos segmentados y gusanos de tubo (Filo ANNELIDA: Polychaeta) viven en tubos de varios grados de complejidad y adheridos a superficies duras. Estos se alimentan mediante filtración con sus extensiones que asemejan plumillas. Los gusanos plumilla son altamente vistosos, lo que los hace atractivos a la industria de acuarios marinos. Para la colección de gusanos segmentados, en ocasiones es necesario remover la roca a la que se encuentran adheridos. Por esta razón, el gusano conocido como árbol de navidad, *Spirobranchus spp.* se incluye en la categoría de roca viva.

3.3 Moluscos

Los moluscos (Filo MOLLUSCA: Gasterópoda; Bivalvia; Cephalopoda) comprenden un grupo de organismos que incluye formas comunes como caracoles, nudibranquios, ostras, almejas, y pulpos. Los gasterópodos (caracoles y nudibranquios) constituyen la clase más grande de los moluscos y se han adaptado a un amplio rango de hábitáculos. Los caracoles generalmente tienen una concha en espiral y un opérculo (cubierta o tapa del caracol). La concha en los nudibranquios está reducida pues no tiene opérculo. Los moluscos pueden ser herbívoros y alimentarse de las algas en las rocas o pueden ser depredadores como el tritón *Charonia variegata*, uno de los gasterópodos más espectaculares del Caribe. Esta especie se encuentra cercana a los arrecifes y es muy activa en las noches. Otros gasterópodos comunes son: *Cyphoma gibbosum* o flamenco, Familia Ovulidae que depreda a las gorgonias en aguas llanas y *Oliva reticularis*, la oliva reticulada, un gasterópodo carnívoro que usualmente se desplaza en la noche sobre las áreas arenosas cercanas a los arrecifes y crece hasta alrededor de 6 cm. Usualmente los nudibranquios son animales altamente coloridos. *Tridachia crispata* es una de las especies más comunes y se encuentra en la superficie de corales vivos o muertos o en áreas cubiertas de algas y pueden alcanzar hasta 10 cm de longitud. Un gasterópodo de gran importancia comercial lo es el *Strombus gigas* conocido como concha reina o carrucho. Muchos gasterópodos alcanzan el tamaño adulto y su madurez en un período de seis meses a dos años, pero continúan creciendo

lentamente y las especies de mayor tamaño pueden tardar muchos años en alcanzar su tamaño máximo. El largo de vida es altamente variable.

Los moluscos bivalvos (almejas y ostras) son comprimidos lateralmente y poseen una concha con dos valvas que están unidas por la parte dorsal y encierran todo el cuerpo. La tasa de crecimiento y el largo de vida son altamente variables. En general, los bivalvos crecen más rápido durante sus primeros años. Se conoce que las edades de 20 a 30 años son comunes en algunos bivalvos aunque otros como las vieiras pequeñas sólo viven de uno a dos años. La mayoría de los moluscos bivalvos se entierran en el suelo o tienen vidas sedentarias; otros son capaces de nadar libremente. Las especies que se mercadean en la industria de acuarios en Puerto Rico son la vieira flamante, *Lima scabra* (molusco más cosechado por la industria de acuarios en Puerto Rico) y la ostra espinosa del Atlántico, *Spondylus americanus*. La vieira flamante mide hasta 8 cm y vive en las grietas estrechas de las rocas, ocasionalmente en grupos y acomodadas unas encima de otras. Estas pueden permanecer adheridas o pueden nadar abriendo y cerrando las valvas, produciendo un chorro de agua. La ostra espinosa posee un buen camuflaje en su hábitat natural debido a la acumulación de sedimentos y organismos en su concha. La concha puede medir 10 cm en diámetro con espinas que alcanzan 5 cm de largo. El pulpo, *Octopus spp.*, es coleccionado ocasionalmente por la industria de acuarios. Además, es un componente importante de la pesca artesanal para la que se colecciona utilizando cloro, arpón o a mano. En 1990, la pesca de pulpo reportó un total de 20,028 lb., en 1991 unas 24,787 lb.; en su mayoría en las costas sur y oeste de Puerto Rico. El pulpo vive en los arrecifes de coral, en áreas rocosas y en praderas de hierbas marinas y en las noches se alimenta de organismos invertebrados.

3.4 Artrópodos

Los camarones, cangrejos y langostas (filo ARTROPODA: Crustácea, decápoda) son recursos de gran importancia asociados al arrecife. Se caracterizan por sus cuerpos segmentados, exoesqueleto de quitina y ojos compuestos. Usualmente tienen una fase de desarrollo larval en etapas tempranas de su historial de vida. Las especies de camarones cosechadas por la industria de acuarios poseen muchos colores y usualmente están asociadas a especies de anémonas de las cuales muchos obtienen protección. Algunas especies de camarones tienen el hábito de limpiar peces lo cual puede jugar un papel de gran importancia en la salud de los peces de arrecifes (por ejemplo: *Periclimenes spp.*, *Stenopus spp.* y *Lysmata spp.*). La langosta espinosa, *Panulirus argus* es un recurso de gran importancia comercial. Entre los cangrejos de mayor importancia se encuentran el cangrejo ermitaño rojo el cual posee una coloración distintiva y es muy activo en las noches; el cangrejo erizo, *Percnon gibbesi* se alimenta de algas filamentosas en aguas llanas y se encuentra usualmente asociado al erizo de espinas largas, *Diadema antillarum* del cual recibe protección entre sus espinas; el cangrejo esmeralda *Mithrax sculptus* se encuentra entre las ramificaciones del coral *Porites furcata* y en las noches se alimenta de sus pólipos. También se alimenta de organismos que crecen adheridos a las hierbas marinas. Varias especies de los cangrejos araña, mejor conocidos como “cangrejos decorativos” (Familia Majidae) tienen la costumbre de adherirse al cuerpo pedazos de esponjas y algas y se presume que lo hacen como camuflaje. El cangrejo flecha *Stenorhynchus spp.*, popular en la industria de acuarios, tiene forma de araña con un cuerpo largo y puntiagudo. En los arrecifes, se encuentra sobre las esponjas o

cercano a las anémonas. Se conoce poco acerca de la abundancia, crecimiento, longevidad o tasas de reemplazo de los crustáceos decápodos en su ambiente natural.

3.5 Equinodermos

Las estrellas de mar, estrellas quebradizas, estrellas plumosas y erizos pertenecen al filo ECHINODERMATA. Éstos poseen un esqueleto interno de placas calcáreas y a pesar de poseer una simetría bilateral subyacente, usualmente parecen circulares o presentan simetría de cinco rayos. Entre los equinodermos más cosechados se encuentran las estrellas quebradizas y las estrellas canastas, particularmente del género *Ophioderma*, *Ophiocoma* y *Astrophyton*. Los primeros dos géneros tienen “brazos largos” y se mueven activamente sobre el arrecife mientras que las estrellas canastas son relativamente sésiles y se adhieren a gorgonios o a cabezas de coral altas. Estas pueden alcanzar cerca de un metro de diámetro cuando se expanden en busca de alimento. Todas tienen su período de mayor actividad en la noche. También se cosecha con frecuencia la estrella de mar roja de Bahamas y la de las Indias Occidentales, *Oreaster reticulatus*, la estrella más grande de la región que puede alcanzar 50 cm en diámetro y se encuentra en las aguas llanas en áreas arenosas y en praderas de hierbas marinas. En el pasado, se han reportado las poblaciones naturales de *Oreaster* en densidades de 2-14 individuos por 100 m² y en agregaciones densas de 13 por m² relacionado posiblemente a actividades de desove. La especie se alimenta de animales sésiles o de poco movimiento y es una especie clave en aguas llanas y sedimentadas del Caribe. El único depredador natural de *Oreaster* en etapa adulta lo es el caracol tritón, *Charonia variegata*. Su reproducción ocurre entre finales del verano y principios del otoño y los juveniles alcanzan madurez reproductiva cuando su brazo alcanza un radio de 12 cm. Los individuos juveniles de *Oreaster* aparentemente viven en praderas de hierbas marinas densas donde pueden enterrarse en los sedimentos de las hierbas marinas.

Los erizos de mar, especialmente los erizos de lápiz, *Eucidaris tribuloides*, también son cosechados por la industria de acuarios. Esta especie que se distingue por sus espinas gruesas se encuentra en hábitats rocosos y probablemente es de crecimiento lento. *Tripneustes esculentus* es un organismo de alto valor para la investigación y en algunas áreas del Caribe sus huevos son de gran valor. Hasta el momento, en Puerto Rico aparentemente no hay datos disponibles acerca de la abundancia, longevidad, crecimiento o tasas de reemplazo de los equinodermos cosechados para el tráfico de la industria de acuarios.

3.6 Briozoos y Cordados

Otros Filos, principalmente BRYOZOA (ectoproctos o animales musgos) y CHORDATA (ascidias) no se consideran animales de cosecha, pero son animales de interés para colectores de roca viva por su capacidad para filtrar agua. Los briozoos tienen formas diversas, algunos secretan una cubierta externa sobre las colonias de animales que se percibe como una capa fina incrustante sobre la superficie de las rocas o son erectos y ramificados. En su etapa adulta, las ascidias usualmente viven adheridas, ya sea como individuos o en colonias, a substratos duros o a bases de gorgonios viejos y tienen gran variación en coloración y tamaño.

Los invertebrados béticos de nuestras áreas arrecifales son un grupo de gran diversidad altamente deseados por colectores de organismos para acuarios. Aunque algunos de estos organismos se han identificado a nivel de especie, muchos más han sido caracterizados solamente a nivel de familia o género, ya sea por el uso de nombres comunes en la industria de acuarios, los cuales no permiten identificación sin una inspección detallada, o debido a que, aun en las mejores circunstancias, la identificación a nivel de especie es difícil (por ejemplo, muchas de las esponjas, gorgonios y estrellas quebradizas). Es necesaria la recolección de datos para documentar la distribución y abundancia de especies cosechadas alrededor de las islas y evaluar su contribución a los arrecifes de coral. Un indicativo de la importancia de los organismos béticos en las comunidades de arrecifes de coral, se encuentra en un estudio realizado en un arrecife al sur de Ponce, Puerto Rico. En cuadrantes de muestreo con un 11-22 por ciento de coral vivo, arrojó porcentajes de 13-17 por ciento de algas calcáreas, 2-15 por ciento de esponjas incrustantes y de 5-15 por ciento de gorgonios incrustantes (Plan de Manejo CFMC, 1994).

Se conoce poco de la biología general de los grupos de invertebrados que componen nuestras comunidades de arrecifes de coral. Desde la perspectiva de manejo, es de particular interés, la consideración de reclutamiento y tasas de crecimiento al menos en lo que se refiere a las especies más utilizadas por la industria de acuarios; por ejemplo *Condylactis* y estrellas quebradizas. Debido a que muchas especies tienen tasas de crecimiento lentas y reclutamiento episódico, se necesitan datos para determinar los niveles de rendimiento óptimo para una explotación sustentable. En el proceso de determinar niveles de cosecha aceptables también es necesario considerar los niveles de interdependencia que existen entre varias especies. Por ejemplo, los camarones limpiadores habitan en las anémonas de mar y la remoción en exceso de estas anémonas puede impactar la salud de los peces del arrecife que dependen de estos servicios de limpieza. Actualmente, se desconoce la distribución a nivel isla de estas especies de invertebrados marinos asociados a comunidades de arrecifes de coral. Dada la naturaleza sésil de muchos de los invertebrados asociados a los arrecifes, se espera que éstos sean tan vulnerables como los corales a condiciones de baja calidad de agua y otras perturbaciones.

4.0 *Algas marinas y plantas con flores*

Las algas son fotosintéticas y carecen de raíces, tallos, hojas y flores. Muchas algas marinas son de gran valor en la industria de acuarios. Entre éstas se encuentran las especies de *Caulerpa*, *Halimeda*, *Valonia ventricosa* y *Penicillus capitatus*. *V. ventricosa* consiste de un cuerpo ovalado o esférico de pared fina que alcanza 5 cm o más en diámetro. Su pared es brillante y en forma de globo, es frágil y se rompe fácilmente, resultando en la muerte de la planta. *Penicillus capitatus* tiene una moña de filamentos sobre un eje carnoso erecto lo que le da el nombre común de brocha de afeitar y alcanza 15 cm de altura. Se encuentra en una variedad de hábitats hasta a una profundidad de 40 m. Las especies de *Caulerpa* tienen ramas erectas que surgen de un estolón horizontal que se adhiere a intervalos al sedimento con un rizoma. Estas especies se encuentran en bahías llanas y fangosas, en áreas arenosas y en aguas claras en ambientes del arrecife. Su distribución se extiende desde Bermuda y el estado de la Florida hasta Brasil incluyendo todo el Caribe; se encuentran en aguas bien llanas hasta profundidades de 100 m (Colin, 1978). Estas algas generalmente viven en estrecha relación con ciertas especies de yerbas marinas, las cuales

son plantas que producen flores (angiospermas). Aunque no son cosechadas directamente, las yerbas marinas proveen un hábitat de importancia crítica para organismos vertebrados e invertebrados de importancia comercial; se percibe que las yerbas marinas se encuentran bajo una amenaza considerable procedente de diversas actividades humanas. Las yerbas marinas forman praderas sobre sedimentos no consolidados en aguas llanas y su rol ecológico incluye proveer nutrientes y hábitat para un grupo extenso de organismos que incluye muchos recursos pesqueros como peces, carruchos, (*Strombus gigas*), esponja de hígado de pollo (*Chondrilla nocula*), el erizo blanco (*Tripneustes ventricosus*), moluscos, cangrejos, camarones y erizos. Las yerbas marinas también proveen hábitat para el manatí y la tortuga verde, especies que se encuentran en peligro de extinción. Además, juegan un papel importante en la modificación de propiedades físicas, químicas y geológicas de áreas costeras como lo es la filtración del agua y la protección de la costa de los procesos de erosión.

En Puerto Rico, se han reportado siete especies de yerbas marinas, lo que convierte a la Isla en uno de los lugares de mayor diversidad de esta flora al norte del Océano Atlántico. Estas son: *Thalassia testudinum* (yerba de tortuga), *Halophila decipiens*, *H. baillonis*, *H. engelmannii* (bejucos marinos), *Halodule wrightii* (“shoal grass”), *Syringodium filiforme* (yerba de manatí) y *Rupia maritima* (“widgeon grass”) (Vicente, 1992).

Las yerbas marinas son las únicas plantas vasculares capaces de completar el ciclo de vida completamente sumergida en el ambiente marino. Tienen una alta tasa de producción primaria neta, lo que suministra una gran cantidad de materia orgánica. Requieren obtener suficiente luz para su crecimiento, por lo que se encuentran en aguas llanas o aguas claras y profundas. De acuerdo a Fonseca et. al. (1992) en aguas contaminadas, la yerba tortuga presenta menos biomasa. *Halophila spp.* no es común en praderas mixtas, pero se puede encontrar en aguas llanas y turbias, en substratos fangosos o hasta en profundidades de 50 m en aguas claras pues están adaptadas a sobrevivir con poca intensidad de luz (Ogden, 1980). Una de las características de *Halophila spp.* es que usualmente se encuentra aislada, pero puede encontrarse junto a *Syringodium filiforme*. Además, sirve de alimento a los carruchos y a una gran variedad de peces. Los bejucos marinos tienen una amplia distribución en la región tropical del Atlántico occidental. La yerba de manatí tiene hojas redondeadas y rizomas densos de aproximadamente 5 cm de profundidad. Se encuentra usualmente junto a la yerba tortuga y sirve de alimento al carrucho (*Strombus gigas*) y a varios peces herbívoros.

La yerba tortuga, *Thalassia testudinum*, se encuentra distribuida a través del Caribe y en el Golfo de México. Tiene un rizoma horizontal que puede alcanzar hasta 25 cm de profundidad en el sedimento; tiene hojas verdes, chatas y erectas (Colin, 1978). De acuerdo a Vicente (1992), en Puerto Rico pueden encontrarse flores de yerbas de tortuga macho y hembra de marzo a junio en la zona sub-mareal. Las praderas de yerba de tortuga que viven expuestas a la alta energía del oleaje, las que sucumben bajo la arena, las que viven en baja calidad de agua y reciben efluentes de alta temperatura, no se reproducen sexualmente (Vicente, 1992).

Las comunidades de yerbas marinas son sistemas altamente productivos que proveen hábitat y nutrientes para un gran número de especies del arrecife, tanto plantas como organismos vertebrados e invertebrados; atrapan sedimentos y reducen la posibilidad de ser re-suspendidos, ayudando a la protección de los arrecifes de coral. Las praderas de yerbas marinas son altamente

susceptibles a la sedimentación, contaminación y otras actividades humanas de las que reciben gran impacto.

C. Relaciones ecológicas

Los ensamblajes de las múltiples especies de animales y plantas que forman el espinazo del arrecife y las comunidades de yerbas marinas, constituyen un arreglo de hábitats y micro-hábitats que constituyen la base de una riqueza de recursos naturales explotados por la especie humana. Aunque los arrecifes de coral y las praderas de yerbas marinas se distinguen con facilidad, estos ecosistemas están íntimamente interconectados entre sí y a otros hábitats marinos y terrestres. Las praderas de yerbas marinas sirven como áreas de alimentación secundaria para muchos animales del arrecife y, como se mencionó anteriormente, protegen los arrecifes atrapando sedimentos y reduciendo el potencial de re-suspensión y transporte de éstos. Los ambientes arrecifales, incluyendo los arrecifes de coral y los de roca, disipan la energía de las olas y protegen las praderas de yerbas marinas del embate de éstas; a su vez proveen refugio para muchos animales que se alimentan en las áreas de yerbas marinas. También existe un intercambio importante entre las praderas de yerbas marinas y los animales del arrecife. Por ejemplo, los roncós y pargos emigran entre ambos hábitats y cuando estos peces regresan al arrecife depositan, mediante sus heces fecales, una serie de compuestos orgánicos que quedan disponibles a los detritívoros y por tanto, entran a la red alimenticia. Existen varios factores que demuestran las relaciones e interdependencia ecológica que existe entre las praderas de yerbas marinas y los arrecifes de coral. La abundancia y la alta diversidad de especies en las aguas marinas de áreas tropicales, está relacionada a las praderas de yerbas marinas. Muchos vertebrados e invertebrados, incluyendo un número substancial de especies de importancia comercial, se encuentran en las praderas de yerbas marinas durante alguna etapa de su ciclo de vida. Éste hábitat es utilizado por una diversidad de especies para obtener alimento y protección y a la vez constituye un área de criadero para organismos juveniles. Ejemplares jóvenes y adultos de camarones, caracoles, anfípodos y peces pequeños se alimentan del detrito y de los organismos adheridos a las hojas de las yerbas marinas y éstos a su vez sirven de presa a carnívoros de mayor tamaño. Las macroalgas sirven de forraje para un alto número de herbívoros y las presas de muchas especies comerciales también pueden encontrarse en las praderas de yerbas marinas (por ejemplo, carruchos, almejas, peces cotorros, pargos y roncós, entre muchos otros). Las etapas post larvales de camarones y langostas se desarrollan en las praderas de yerbas marinas. Por los primeros 9 a 12 meses de vida, las langostas habitan estas áreas y luego emigran a las aguas profundas de donde regresan en las noches en busca de alimento.

Las praderas de yerbas marinas proveen sustrato y refugio a un gran número de organismos y tienen altas tasas de producción neta, lo que provee una gran fuente de materia orgánica. Las algas se encuentran entre los productores de mayor importancia pues suplen energía a los consumidores no-coralinos del arrecife. La mayoría de la fijación del nitrógeno se lleva a cabo en las planicies de algas. Existen al menos dos especies en peligro de extinción que dependen de las praderas de yerbas marinas para su alimentación: los juveniles y los adultos de la tortuga verde *Chelonia mydas*, se alimentan casi exclusivamente en las praderas de yerbas marinas, especialmente de las porciones más jóvenes de las hojas; y el manatí, *Trichetus manatus*, el cual excava los sedimentos en las praderas de yerbas y se alimenta de las raíces, rizomas y hojas.

Al igual que las praderas de yerbas marinas, los habitáculos de coral y arrecifes de roca son de importancia crítica para la productividad y para proveer refugio, alimento y sustrato para peces e invertebrados. Los arrecifes de coral se encuentran entre los hábitats más productivos del mundo.

Las pesquerías del Caribe, con muy pocas excepciones, pueden ser definidas como pesquerías de arrecifes de coral. Los productos provenientes de las pesquerías de arrecifes se encuentran entre las fuentes primarias de proteína para los habitantes de nuestras islas y comunidades costeras. De acuerdo al Consejo de Pesca del Caribe, el 59% del total de productos de pescado consumidos en Puerto Rico y las Islas Vírgenes proviene de los arrecifes de coral. La diversidad de organismos asociada al ambiente del arrecife también ha producido un orden de estilos de vida especializados. Estos organismos producen una variedad de compuestos químicos que en su mayoría ha evolucionado para propósitos de defensa, tienen gran potencial para la investigación biomédica y son diferentes a los bio-compuestos que se encuentran en organismos terrestres. Muchos de estos compuestos muestran propiedades antimicrobianas, antivirales, cardioactivas, citotóxicas, neurofisiológicas, coagulantes, anticoagulantes y antibióticas. En estudios realizados con más de 2,000 especies de Cnidarios se encontró que un 40% de estos resultaron ser agentes activos contra el cáncer. Se ha encontrado un alto rendimiento de estos productos en organismos procedentes de Fiji, Australia, Gran Cayman y Puerto Rico (Myers, 1983).

La frecuencia de relaciones simbióticas, como el comensalismo y el mutualismo, en el ambiente del arrecife de coral, son factores que contribuyen a la alta diversidad de especies en el ecosistema. Un ejemplo de estas interacciones son los organismos limpiadores en el arrecife. Existen especies de camarones y peces que viven en asociación con las anémonas por sus respectivas actividades limpiadoras lo que juega un papel de gran importancia en la salud del arrecife de coral. En las Indias Occidentales existen más de treinta especies de peces pequeños en el ambiente arrecifal que habitan entre los tentáculos de las anémonas. De acuerdo a los trabajos realizados por Limbaugh en 1961, en las Bahamas, más de 300 peces visitaron una estación de limpieza, en un período de seis horas. Tras varias semanas de remover las especies limpiadoras de dos de los arrecifes, se encontró una marcada reducción en los peces del área y entre los que quedaron se observó un aumento en las infecciones e infestaciones parasíticas. Este estudio confirma la importancia de los peces y camarones limpiadores para la salud del arrecife. Entre las especies de camarones limpiadores se encuentran: *Periclimenes spp.*, *Lysmata spp.* y *Stenopus spp.*, los cuales están asociados a las anémonas *Bartholomea annulata*, *Stoichactis helianthus* y *Condylactis gigantea*.

En la literatura científica se ha reportado que la distribución de los meros, una de las principales especies de importancia comercial y recreativa en Puerto Rico, depende de las estaciones de limpieza. Incluso, los acuarios públicos incluyen camarones y peces limpiadores en muchos de sus tanques con el propósito de mantener la salud de sus peces. Se ha demostrado que la presencia de organismos limpiadores influye en los patrones de distribución y en la salud de varias especies de peces. Algunas especies de anémonas son parte esencial del hábitat de muchos organismos limpiadores y su desaparición puede afectar la salud de varias especies de peces en el arrecife.

Se han documentado otras asociaciones íter-específicas para numerosos peces, Cnidarios, moluscos, crustáceos, equinodermos y briozoarios (Wheaton, 1989). Por ejemplo, existe una gran variedad de animales que incluye crustáceos, poliquetos y peces que habitan en las esponjas. Muchas de las especies de peces del arrecife se alimentan de esponjas. Además, *Zoanthus*, una

anémoma colonial, es una fuente principal de alimento para al menos 16 especies en siete familias de peces, según Randall (1967). En este estudio, los poliquetos constituyeron una de las fuentes de alimento de mayor importancia para 62 especies de peces arrecifales en el Caribe, siendo sólo superados en preferencia por los crustáceos (copépodos, bayocas, anfípodos, estomatópodos, camarones, cangrejos y langostas). Se encontró que los ofiuroideos o estrellas quebradizas son fuente de alimento para 33 especies de peces y los tunicados bénticos para 16 especies de peces. Además, se encontró que los octocorales proveen un hábitat importante para peces e invertebrados y puede ser especialmente crítico para langostas de 20-40 mm en tamaño.

El carey, *Eretmochelys imbricata*, tortuga en peligro de extinción, se alimenta casi exclusivamente de esponjas. Se ha identificado un área de 122-152 metros de extensión entre el Cayo Luis Peña y la Isla de Culebra como un área de forraje para el carey. De acuerdo a un estudio de Vicente y Carballeira (1991), la esponja más utilizada como alimento por el carey es *Niphates digitalis*, mientras que *N. erecta*, *Aphimedon compressa*, *Spinoseella plicifera* y *S. vaginalis* son utilizadas en menor grado. Otros estudios han encontrado el uso de otras especies de esponjas presentes en las aguas de Puerto Rico como: *Geodia neptuni*, *Chondrilla nucula*, *Myriastras sp.*, *Cynachirella alloclada* y *Tethya cripta*, confirmando que las esponjas son una fuente importante de alimento para el carey (Vicente y Carballeira, 1991).

Los invertebrados en el ambiente del arrecife son el eslabón intermedio en la red alimentaria entre productores primarios y muchas especies de peces. Estos invertebrados forman comunidades bénticas que proveen hábitat y biomasa a un alto número de organismos, muchos de los cuales son altamente complejos y especializados.

Además, el espacio físico junto al paisaje natural existente en un arrecife de coral es vital para mantener unas relaciones ecológicas saludables. La complejidad del arrecife es de gran valor por la biodiversidad y abundancia de las especies, por las cualidades estéticas para la recreación y el turismo y la riqueza de biocompuestos que genera el sistema. Los estudios realizados evidencian que la alteración a una especie marina afecta negativamente otras especies, y por ende, impacta el balance ecológico de un ecosistema que es tan diverso e interdependiente. El esfuerzo por mantener su integridad es prioritario en el manejo de los recursos marinos de Puerto Rico.

D. Distribución de especies de corales en Puerto Rico

La distribución natural y abundancia de las especies de corales dependen de las condiciones ambientales prevalecientes. La costa norte de Puerto Rico es un ambiente de alta energía y a lo largo de muchas porciones de esta costa los corales que forman arrecifes están representados por pequeñas colonias esparcidas con bajo relieve vertical y baja diversidad de corales. Algunas aguas costeras reciben la influencia de la descarga de ríos, sus aguas se tornan turbias, los arrecifes reciben el excedente de sedimentos y pueden morir a pocos metros de profundidad. Como regla general, a mayor distancia de la costa, mayor es la transparencia del agua y los corales y comunidades arrecifales son más saludables y abundantes. En Puerto Rico, como en la mayoría de las islas del Caribe, el desarrollo extensivo de arrecifes ocurre en la costa Este.

Las siguientes fuentes proveen descripciones cualitativas de los principales arrecifes costeros en Puerto Rico: Goenaga y Cintrón (1979), Acevedo et. al. (1989), Hernández-Delgado (1992), Goenaga y Boulon (1992) y Tetra Tech (1992). Otros estudios más recientes por García Sais y Castro (2001-2004) ofrecen una evaluación cuantitativa y monitoreo de diversas comunidades de arrecifes de coral en las Reservas Naturales de Puerto Rico. Existen varios métodos establecidos para el monitoreo de arrecifes de coral. Rogers (1994) ofrece una guía excelente para el establecimiento de programas de monitoreo de corales al igual que Hill y Wilkinson (2004). En el caso del Programa de Monitoreo de Arrecifes de Coral de Puerto Rico, bajo el liderazgo del Departamento, se ha utilizado el método CARICOMP, que fue el adoptado por los científicos para la Región del Caribe.

Existen varias descripciones en referencia a los tipos de sustratos alrededor de la costa de Puerto Rico, como por ejemplo, arrecifes de coral vivo; hábitats rocosos; sustrato de eolianita duro y plano; corales solitarios; lodos y sedimentos (CFMC, 1984). En aguas de menos de 20 m de profundidad, el por ciento de cobertura de arrecifes es mayor en las afueras de la costa este (41%), seguido por el sur (33%) y oeste (21%). Los corales solitarios se encuentran predominantemente en las costas del este (19%) y norte (8%). Los hábitats rocosos muestran el mayor por ciento de cobertura en las costas oeste (43%) y sur (26%). La NOAA ha desarrollado mapas cuantitativos de la distribución de coral y sustratos rocosos en la plataforma insular. El USGS ha publicado seis mapas geológicos del sustrato marino de la plataforma insular alrededor de Puerto Rico y de las Islas Vírgenes. En el 2001, la NOAA publicó una colección de mapas béticos para todas las costas de Puerto Rico e Islas Vírgenes.

Aunque la abundancia relativa puede diferir entre arrecifes, la distribución de la mayor parte de los corales pétreos en los arrecifes de Puerto Rico es homogénea, pues la mayoría de las especies se encuentran en casi todos los arrecifes. La distribución de ciertas especies depende de los factores físicos prevalecientes. Por ejemplo, *Millepora squarrosa* tiene mayor abundancia relativa donde hay mayor movimiento de agua. El escleractíneo *Agaricia lamarcki* se encuentra en arrecifes expuestos a aguas turbias y profundas. La distribución de otras especies puede estar influenciada mayormente por gradientes de profundidad. *Montastrea annularis*, una de las especies de mayor importancia en la formación de la estructura arrecifal, muestra variaciones en forma y tamaño de acuerdo a la profundidad a la que se encuentre. Goenaga y Boulon (1992) presenta una lista detallada y cualitativa del tipo de hábitat y de las especies de corales predominantes por localización.

En el 1978, en Puerto Rico se consideraba el desarrollo de un inventario de los arrecifes de coral como un asunto de alta prioridad en el área de investigaciones científicas del DRNA (CZMP-EIS, 1978). Aunque se han realizado estudios significativos durante los últimos años en el área de arrecifes de coral dentro de las aguas costeras, se conoce poco a cerca de los arrecifes sumergidos fuera de la costa. Se conoce que éstos son extensos en las costas sur, este y oeste pero no están bien documentados. Recientemente, se han comenzado a realizar estudios de arrecifes en aguas profundas en la Reserva Marina de Desecho.

El siguiente resumen de los datos disponibles a cerca de la distribución de los arrecifes de coral está basado en datos cualitativos y cuantitativos (para el 1994).

En Puerto Rico, las comunidades de coral en la costa norte, consisten mayormente de un porcentaje bajo de colonias aisladas de corales pétreos (las observaciones cuantitativas no han excedido de un 7-8% de cobertura de coral) (Tetra Tech, 1992). Se han observado arrecifes poco desarrollados cerca de área metropolitana y se ha observado crecimiento incrustante en arrecifes de rocas en las afueras de San Juan (Goenaga y Cintrón, 1979). Hacia el este, los arrecifes de coral se encuentran más desarrollados y forman arrecifes de parcho y de franja, especialmente en áreas alrededor de las islas de La Cordillera y en los cayos fuera de las costas de Fajardo, Ceiba y Humacao (Goenaga y Cintrón, 1979). El porcentaje de cobertura viva en corales pétreos en estos arrecifes varía de 6-100% (Tetra Tech, 1992). Hernández-Delgado (1992) presenta un recuento de los sistemas principales de arrecifes en el noreste y este de Puerto Rico incluyendo a la isla de Vieques. A lo largo de la costa sur, los arrecifes se encuentran bien desarrollados tanto en la costa como en la plataforma insular (Morelock et al., 1977; Goenaga y Cintrón, 1979; Weinberg, 1981), aunque la cobertura total de coral se encuentra reducida cerca de las fuentes de flujo de sedimentos terrígenos, las cuales han reducido de manera drástica la cobertura de coral y su diversidad (Acevedo et al., 1989).

En algunos lugares como La Parguera, las comunidades de coral forman arrecifes extensos de parcho y de franja y están presentes comunidades de corales blandos que han sido descritas por Goenaga y Cintrón, 1979; Yoshioka y Yoshioka, 1989, 1991. El porcentaje de cobertura viva de corales pétreos en estos arrecifes varía de 1-100 por ciento. El complejo arrecifal de mayor extensión en Puerto Rico se encuentra en las aguas afuera de La Parguera donde la diversidad en lugares individuales puede alcanzar hasta 28 especies (Morelock et al., 1977; Acevedo et al., 1989). El veril o plataforma insular al sur de La Parguera es una barrera arrecifal localizada a 20 m de profundidad que se encuentra cruzada por numerosos canales estrechos. Entre el veril y la costa de esta área se encuentran dos sistemas arrecifales que dividen la plataforma en tres áreas: interior, centro y exterior (Morelock et al., 1977).

De acuerdo a Goenaga y Boulon (1992), los corales en la costa oeste de Puerto Rico se encuentran de poco a bien desarrollados, dependiendo en gran medida de su posición respecto a las fuentes de sedimentos terrígenos (Goenaga y Boulon, 1992). La cobertura de coral varía de alta (el arrecife de El Negro tiene aproximadamente un 80% de cobertura) (Loya, 1976), a baja en la zona industrial de Mayagüez (Tetra Tech, 1992). Se han encontrado otros tipos de arrecife como los arrecifes de algas incrustantes en aguas profundas (> 43 m) en la costa norte de Puerto Rico.

En Puerto Rico se necesita una mejor documentación respecto a la distribución y extensión de los hábitats ecológicos, especialmente de las comunidades de yerbas marinas. Se han reportado áreas de yerbas marinas compuestas principalmente por la yerba tortuga y la yerba de manatí cerca al área de Tortuguero, en Ensenada Boca Vieja y al este de Punta Salinas cerca de Bayamón. Las praderas de *Halophila* se han encontrado en aguas profundas de la costa en las afueras del Puerto de San Juan. En la costa este se ha encontrado la yerba tortuga y la yerba de manatí en las afueras de Humacao y en Fajardo en las áreas de la Bahía Las Cabezas, Laguna Grande, Cabo de San Juan y en las aguas de Cayo Icacos en la Reserva de La Cordillera. Las praderas de yerbas marinas presentan un mejor desarrollo en la costa sur debido a la protección que reciben de los arrecifes de coral. En el sur se han reportado en el área de Puerto Las Mareas, Bahía de Jobos, Punta Petrona, Ponce, Bahía de Guayanilla, Guánica y La Parguera. Sabemos que también abundan en las costas de Maunabo, en los Bajos de Patillas, en las islas de Culebra y Vieques y el islote de Caja de Muertos, entre muchas otras costas.

La distribución de organismos asociados al arrecife está relacionada a la de los corales y al sustrato de roca. Al igual que los corales que forman arrecifes, la distribución y abundancia relativa de los invertebrados es altamente influenciada por las condiciones ambientales locales y las actividades humanas que se llevan a cabo en la costa.

En el año 1999, el DRNA gestionó el comienzo de una serie de caracterizaciones cuantitativas de los arrecifes de coral de importancia, ubicados en Reservas Naturales. En el 2001, se llevó a cabo la caracterización cuantitativa de las yerbas marinas de mayor extensión en la Isla de Vieques, exceptuando la zona de tiro de la Marina de Estados Unidos. El DRNA contrató los servicios profesionales del Dr. Jorge García para realizar estos estudios. Una vez se obtuvieron las caracterizaciones iniciales, se ha procedido a monitorear los transectos establecidos en un lapso aproximado de cada dos a tres años.

Los arrecifes de aguas profundas en el archipiélago de Puerto Rico son extensos en las costas sur, este y oeste, pero no están documentados a cabalidad. No se conoce en detalle la composición de especies, distribución, estado de cobertura de coral vivo y localización de muchos de los arrecifes de aguas profundas.

No obstante, se han llevado a cabo monitoreo en al menos dos áreas de Reservas Naturales y una Marina para caracterizar y monitorear los cambios en la estructura de la comunidad arrecifal de aguas profundas. El Dr. Jorge García Saiz realizó un estudio reciente de comunidades bénticas asociadas a arrecifes profundos, en un área de 4,000m² dentro de un contorno de profundidad de 100 metros en la zona noroeste, utilizando un “side scan sonar” (SSS). De acuerdo a su presentación en el Simposio Núm. 26 del DRNA, celebrado del 24 al 25 de octubre de 2007, se identificaron corales hermatípicos y rodolitos a 300 pies de profundidad y cinco hábitats bénticos predominantes:

- Promontorios de cima “reef top”:
 - Este hábitat se identificó a profundidades de 85 a 100 pies (25-30m). La mayoría de los promontorios estaban colonizados por algas. El hábitat consiste de 55.3% algas, 28.6% de esponjas (que representa un hábitat de protección de peces e invertebrados) y 12.6% consiste de corales pétreos, especialmente *Agaricia*, con poca cobertura abiótica. Se encontraron 86 especies de peces. La riqueza y abundancia de especies es comparable con el borde de la plataforma insular. Se observaron peces de importancia comercial, incluyendo aproximadamente 1000 individuos de mero cherna boca amarilla y una cantidad significativa de careyes.
- Promontorios de pared “reef wall”:
 - En este hábitat se identificaron 66 especies. Aquí predomina la presencia de esponjas, con 47.6% de cobertura. Las algas tienen una cobertura de 17.6%. La comunidad de pared posee especies de corales negros que no se habían reportado antes en Puerto Rico.
- Fondos duros colonizados (“colonized pavement and sand”):
 - Aquí se documentó blanqueamiento de corales a 120 pies de profundidad.

- “Deep terrace reef (mesophotic)”:
 - Se encontró el “Deep terrace reef” a 165 pies sobre un depósito de rodolitos. La terraza crece de forma laminar entre esponjas. Aproximadamente un 60% del arrecife consistió de algas, un 14% de esponjas, las cuales tenían presencia de invertebrados y un 7.8% de *Agaricia*. Se encontraron 7 especies de escleractinios y 31 especies de peces que son más usuales en aguas someras. Estos hallazgos demuestran que existe una conectividad entre los hábitats y las especies arrecifales de las aguas someras y las profundas. Los resultados del estudio indican que el hábitat de terraza, que está creciendo a profundidades de 90 metros, constituye el sistema arrecifal continuo más grande de Puerto Rico con corales hermatípicos.

Los hallazgos indican que existen variaciones marcadas entre agregaciones de comunidades bénticas y pelágicas en diferentes hábitats y profundidades. Por otro lado, se documentó que los hábitats asociados a arrecifes de aguas profundas son importantes lugares de alimentación y residencia para una variedad de especies de tortugas. La abundancia de las tortugas y su gran tamaño lo evidenciaron. De igual forma, resultaron ser un hábitat importante para las especies pelágicas migratorias. Debido al estado saludable de meros (“groupers”), especialmente los cherna y guajiles y pargos, peto y dorado, el Dr. García recomendó el cierre permanente de pesca en estas áreas.

Aunque se han caracterizado y monitoreado muchas áreas de valor ecológico significativo, existe una necesidad urgente de realizar estudios de las praderas de yerbas marinas y arrecifes que todavía no se han documentado cuantitativamente a lo largo de toda la plataforma insular de Puerto Rico. Esta información resultaría valiosa para documentar mejor la extensión de estos hábitats y para ayudar a identificar aquellos que pueden resultar particularmente críticos a varias etapas de vida de especies de organismos de importancia comercial o recreativa o seleccionar la mejor localización para establecer reservas marinas en el futuro. La colección de esta información, al igual que una mayor densificación de transectos y estaciones, en las áreas ya monitoreadas y a un mayor número de profundidades, especialmente mayores a los 20 metros, más allá del veril promedio y en donde se conoce que se encuentran corales saludables, complementarían adecuadamente los esfuerzos actuales. Dicha información constituye una prioridad investigativa para el manejo de los recursos marinos alrededor de la isla. Dada la probabilidad de que los hábitats de arrecifes están generalmente limitados en su distribución, el DRNA los considera “hábitats significativos de distribución limitada”. Es importante robustecer las prácticas de manejo específicas para éstos.

E. Valoración y Usos de los arrecifes de coral

1. *Importancia socioeconómica de los arrecifes de coral*

La importancia de los arrecifes de coral está muy bien documentada. Se encuentran entre los ecosistemas más productivos del planeta y tienen mayor diversidad biológica que cualquier otro ecosistema, incluyendo los bosques tropicales lluviosos.

Los arrecifes de coral saludables proveen beneficios económicos, tanto a las comunidades costeras aledañas, como a los países en donde ubican. No obstante, estos beneficios disminuyen con su degradación. Los beneficios sociales y económicos asociados a los arrecifes de coral saludables incluyen:

- pesquerías de alto rendimiento
- ingresos altos relacionados a las actividades turísticas
- protección de la costa de los impactos de procesos de erosión, amortiguamiento de la energía del oleaje y protección contra inundaciones por marejadas
- disponibilidad de proteína fresca para las comunidades de la costa y
- La alta diversidad de organismos que habitan en los arrecifes de coral también es considerada como fuente de compuestos bioactivos para productos farmacéuticos.

La degradación de los arrecifes causa la pérdida de recursos pesqueros que forman el sustento de individuos que se ganan la vida en la pesca, pérdida de ingresos en el sector turístico, aumento en la erosión costera y la necesidad de invertir en la estabilización de las costas.

En su análisis de las implicaciones económicas de la degradación de los arrecifes de coral, Burke & Maidens (2004) establecen que muchas de las actividades que causan daño al arrecife, incluyendo la sobrepesca, dragados o descargas de aguas usadas en áreas cercanas a los arrecifes de coral, ocurren cuando un individuo o grupo se aprovecha de un beneficio inmediato sin tomar en consideración las consecuencias a largo plazo. Con frecuencia quien recibe el beneficio no es quien paga el costo. Por ejemplo, un nuevo desarrollo en la costa puede contaminar y degradar un área de arrecifes de coral pero quienes sufren las consecuencias pueden ser los pescadores y grupos de buceo que utilizan el área. Además, los autores establecen que entre los defectos de las prácticas de manejo costero se encuentra la falta de información adecuada a cerca de los costos y beneficios de las diferentes actividades y la visión del enfoque de manejo y toma de decisiones basadas en los beneficios a corto plazo en vez del análisis de los costos y beneficios a largo plazo.

Comúnmente, no se evalúa la amplia gama de impactos ambientales y sociales asociados a las actividades propuestas para las costas. En el caso de las decisiones relacionadas a usos de terrenos, rara vez se considera o se compensa por la sedimentación de las aguas costeras y la sofocación y asfixia de los arrecifes de coral que ocurren a consecuencia de la eliminación de la cubierta vegetal en los terrenos cercanos a la costa y en la ribera de los ríos.

Existen tres áreas principales que denotan la importancia socioeconómica de los arrecifes de coral: pesquerías, turismo-recreación y protección de costas.

2. *Pesquerías*

La producción de alimentos es uno de los beneficios directos y tangibles asociados a los arrecifes de coral. Las pesquerías de los arrecifes son una fuente de proteína para millones de personas en la región del Caribe; y en muchos lugares turísticos, los peces provenientes de arrecifes son elementos populares entre las selecciones que ofrecen los menús en restaurantes. Más aún, sostienen una industria pesquera artesanal y generan trabajos indirectos en las áreas de procesamiento y mercadeo de pescado, construcción de redes y embarcaciones, entre otros servicios.

Burke y Maidens (2004) estiman que de acuerdo a la degradación que ha ocurrido en los arrecifes y la que se proyecta que ocurra, la producción anual de los arrecifes en el Caribe puede declinar de 100,000 toneladas métricas a 60,000 ó 70,000 toneladas métricas para el 2015, una pérdida del 30 al 45 por ciento de la captura máxima estimada para arrecifes saludables. A los precios de mercado actuales (un promedio de \$6.00 por kilogramo), se calcula el ingreso bruto proveniente de las pesquerías de arrecifes de corales saludables en el Caribe en unos \$625 millones de dólares por año. A consecuencia de la degradación de los arrecifes proyectada para el 2015 se estima un descenso de 30 a 45 por ciento, representando una pérdida potencial en el ingreso bruto proveniente de las pesquerías de arrecifes en la región del Caribe de aproximadamente \$190 a \$280 millones de dólares. Los ingresos netos provenientes de las pesquerías, ajustados por el costo de embarcaciones, combustible, equipo, etc. son considerablemente menores, tal vez el cincuenta por ciento del ingreso bruto. Así que, de acuerdo a este estudio, en la región del Caribe se estima el beneficio neto por año de las pesquerías provenientes de arrecifes de coral saludables en unos \$310 millones de dólares. Se considera que para el 2015, los beneficios netos anuales provenientes de las pesca en arrecifes de coral degradados puede descender a una cifra entre \$175 millones a \$215 millones de dólares con una pérdida estimada entre \$95 a \$140 millones de dólares por año. Esta pérdida de millones de dólares anuales en beneficios netos provenientes de las pesquerías en los arrecifes de coral puede tener serias consecuencias para economías regionales y nacionales que dependen de la pesca para su sustento, nutrición y generación de ingresos.

De acuerdo al Informe del Estado de los Arrecifes de Coral en el Caribe de los EU y el Golfo de México, en Puerto Rico, las pesquerías de los arrecifes de coral han caído dramáticamente durante los últimos veinte años como resultado de la sobrepesca y el deterioro de los arrecifes. Las capturas reportadas han bajado en un sesenta y nueve por ciento entre 1979 y 1990. La captura total y la captura por unidad de esfuerzo han disminuido, las poblaciones de peces son más pequeñas y se han reportado fracasos en el reclutamiento de juveniles de ciertas especies. La pérdida de peces herbívoros en los arrecifes como lo son los peces cotorros y de grandes depredadores ha estimulado la proliferación de peces pequeños como las damiselas. La alta densidad poblacional de estos peces que muestran comportamiento territorialista puede presentar un problema adicional a los arrecifes degradados, pues muerden y matan los pólipos de coral, creando una mayor proliferación de algas en el arrecife.

La NOAA llevó a cabo un programa de monitoreo de peces en el Caribe en el año 2000 y ha coleccionado datos referentes a la abundancia, distribución, estructura por tamaño/clase y descripción de hábitats a micro escala en más de 1,000 estaciones en el Caribe de los EU (500

estaciones en Santa Cruz, 350 en Puerto Rico y 200 en St. John). Resulta preocupante el hecho que de cincuenta mil peces contados y medidos, solo el 0.6 por ciento midieron más de 30 centímetros. Peor aún, de los ocho mil pargos, meros y roncós contados menos del 0.4 por ciento superaron los treinta centímetros de largo; lo que significa que la mayoría se encuentran por debajo del tamaño necesario para poder reproducirse.

Las poblaciones de langostas continúan en descenso debido al aumento en su pesca. La disminución de langostas ha ocasionado un aumento en la cantidad de moluscos que se alimentan de los corales, pues éstos constituyen un alimento favorito de las langostas; situación que intensifica el daño a los corales. Las poblaciones del erizo *Diadema antillarum* (especie que controla el crecimiento de algas sobre el arrecife) se encuentran a un 10 por ciento de la abundancia que existía antes de la muerte masiva de éstos que ocurrió en 1983.

3. Turismo

El turismo es la fuente principal de ingresos para muchos países caribeños y constituye más del treinta por ciento del producto doméstico bruto en diez países o territorios dentro de la región. Uno de cada seis trabajadores caribeños está empleado directamente por la industria turística. En el año 2000, los ingresos procedentes del turismo internacional a la región del Caribe (excluyendo a los Estados Unidos) alcanzaron los 25.5 billones de dólares. Si se incluyen los servicios de apoyo, cada año el turismo contribuye un total de ciento cinco billones de dólares a la economía caribeña.

¿Qué tanto depende el turismo de la calidad de las aguas y de los arrecifes de coral saludables? Muchos de los valores que ofrecen los arrecifes de coral a la industria del turismo en el Caribe son indirectos. Los arrecifes son los contribuyentes principales de las arenas blancas de las playas del Caribe que constituye uno de sus atractivos principales. Una forma de estimar el impacto económico de la degradación de los arrecifes de coral al turismo es mediante una actividad turística directamente relacionada a arrecifes de coral saludables: el buceo. Los practicantes del buceo prefieren aguas claras con arrecifes de coral saludables con alta cobertura de coral vivo y diversidad en las especies de corales y peces. Los buzos constituyen el diez por ciento de todos los visitantes a la región, pero contribuyen con el diecisiete por ciento de los ingresos provenientes de la industria turística. El buzo promedio gasta alrededor de \$2,100 dólares por viaje al Caribe comparado al gasto promedio de \$1,200 dólares en que incurren los turistas en general. En el año 2000, las islas de Turks y Caicos reportaron los gastos turísticos más altos en la región; éstas son un destino de gran importancia para el buceo y poseen arrecifes de coral muy saludables.

Encuestas de mercadeo revelan que alrededor de 3.6 millones de entusiastas del buceo bucearon en la región del Gran Caribe en el año 2000. De éstos 1.2 millones en Florida o Texas y 2.4 millones en algún otro lugar del Caribe. Este último grupo incurrió en gastos brutos ascendentes a un estimado de 4.1 billones de dólares. Un estudio referente a los usos recreativos de los arrecifes en el sur de la Florida estimó unos \$625 millones de dólares los gastos directos asociados al buceo en arrecifes naturales en el año 2000, lo que combinado con la cifra de 4.1 billones para el resto del Caribe arroja un estimado de \$4.7 billones de dólares en gastos relacionados a la industria del

buceo en el Caribe. Este estimado no incluye el valor de los arrecifes para el turismo que no está directamente relacionado al buceo SCUBA.

La degradación de los arrecifes reducirá su valor para los entusiastas del buceo y otros turistas como resultado de lugares menos interesantes para el buceo SCUBA y el buceo a pulmón (“snorkeling”). La degradación de los arrecifes provoca menos pesca deportiva y la erosión de playas. Muchas de las amenazas que sufren los arrecifes de coral como lo es la pobre calidad de agua y el aumento en la sedimentación de las áreas costeras son poco deseables por los turistas. Las pérdidas de ingreso por la migración de turistas a lugares con arrecifes y costas saludables pueden afectar las comunidades y la economía de áreas donde los arrecifes de coral sufren una alta amenaza de degradación.

4. *Protección de costas*

Los ecosistemas costeros proveen servicios de estabilización de costas. Los arrecifes de coral disipan la energía del oleaje y de las tormentas y crean lagunas y ambientes sedimentarios favorables para el crecimiento de manglares y praderas de yerbas marinas. En cambio, los manglares y yerbas marinas ayudan a unir los sedimentos marinos y terrestres, reduciendo los procesos de erosión costera y reteniendo suficientes sedimentos para mantener aguas claras favorables a los arrecifes de coral. Los encargados de toma de decisiones con frecuencia subestiman los servicios de protección de costas que proveen los paisajes naturales y no le adjudican suficiente peso al evaluar opciones de desarrollo. Una de las razones para este descuido es la dificultad de cuantificar estos servicios.

El valor de la protección de costas por los ecosistemas naturales puede ser aproximado estimando el costo del reemplazo de este servicio mediante métodos artificiales. En muchas partes del mundo los esfuerzos e inversiones para estabilizar las costas por métodos artificiales han sido sustanciales. Por ejemplo, Sri Lanka invirtió unos treinta millones de dólares en proyectos de ingeniería para subsanar la erosión costera en áreas donde los arrecifes de coral habían sido minados. La vulnerabilidad de las áreas costeras a la erosión y el efecto de tormentas varían de acuerdo a la topografía, sustrato, tipos de hábitats, morfología de la costa y al clima. Por ejemplo las playas de arena son mucho más vulnerables a la erosión que las costas rocosas. En el Caribe los huracanes y las tormentas tropicales causan procesos de erosión costera; el aumento en el desarrollo de las áreas costeras en ocasiones amplifica los riesgos de erosión e impacto de tormentas en dos maneras. Primero, la destrucción de los hábitats naturales como manglares, praderas de yerbas marinas, corales y vegetación costera, expone los sedimentos costeros a un mayor movimiento y por tanto a la erosión y pérdida. Segundo, el desarrollo de la infraestructura física para la protección de áreas en la costa puede en sí mismo ser causal de erosión. Por ejemplo el desarrollo de barreras y canalización de cuerpos de agua conlleva cambios en los patrones de movimiento de las aguas costeras resultando en la erosión de áreas adyacentes. Estudios de cambio en perfiles de playa en el Este del Caribe demostró que, entre 1985 y 1995, el setenta por ciento de las playas monitoreadas sufrieron erosión. El estudio de Burke y Maidens (2004) estima que los beneficios de protección de la costa en el Caribe fluctuaron entre \$2,000 dólares por kilómetro de costa en áreas de poco desarrollo hasta \$1,000, 000 de dólares por kilómetro de costa en áreas altamente desarrolladas. Tomando en consideración el largo de la costa en varias

categorías de desarrollo (alto, mediano y bajo), se estima el valor de los beneficios anuales en servicios de protección de costas que proveen los arrecifes de coral saludables a través de la región del Caribe entre unos \$740 millones a \$2.2 billones de dólares por año. Se estima que en los próximos cincuenta años la pérdida en el valor neto de los beneficios asociados a la protección de costas que proveen los arrecifes de coral puede fluctuar entre \$140 millones y \$420 millones por año.

5. *Uso comercial*

Los recursos coralinos son altamente atractivos mundialmente para la industria de acuario. En Puerto Rico, esta actividad comenzó a ser reglamentada en 1979 cuando se promulgó el primer reglamento para controlar la extracción comercial de los corales. Mediante dicho reglamento se eliminó la captura, transporte y comercialización de todas las especies de coral. La Ley 147 de 15 de julio de 1999 establece la prohibición de extraer, mutilar y destruir entre otras actividades que sean perjudiciales a los arrecifes de coral. A través del Reglamento de Pesca de 2004, según enmendado, se establecen las especies de organismos asociados a los arrecifes que se permiten la captura y exportación para la industria de acuario. Entre éstos existen 18 especies de peces, 6 crustáceos, un molusco y un equinodermo. La medida de reglamentación establece la cuota anual de captura para cada una de las especies permitidas. Además, se prohíbe la captura y comercialización de roca viva.

El uso comercial de las especies está altamente reglamentado dentro de las aguas territoriales de Puerto Rico. A nivel federal, se enmendó el Plan de Manejo del Consejo Pesquero en el 2004, aunque se mantiene la prohibición de captura de las especies de coral, al igual que en nuestra jurisdicción. Pero se transfirieron las especies de peces e invertebrados que componen las especies para la industria de acuario dentro de la unidad de manejo de corales que estaban protegidas a status de monitoría en la jurisdicción federal.

6. *Uso recreativo*

La importancia recreativa de los arrecifes de coral y de sus organismos asociados prevalece en el turismo y la industria del buceo. La mayoría de estos negocios ofrecen certificaciones de buceo a residentes locales y sólo algunos proveen cursos de buceo y facilidades de 'snorkeling' y buceo para turistas. Las principales áreas de buceo en Puerto Rico en el sur y suroeste son: La Parguera y la Isla de Caja de Muertos; en el oeste: Rincón, Aguadilla y las Islas de Desecheo y Mona y en la costa este: Humacao, Fajardo y las Islas de Vieques y Culebra.

Los intereses de las personas que practican el buceo van desde observar y fotografiar la vida marina, a la pesca y colección de organismos marinos para acuarios. Los residentes de comunidades costeras cercanas a los arrecifes de coral ocultan los alerones y el equipo submarino que utilizan para recreación cerca de este ecosistema y se tiran al agua apuntando cerca de los

arrecifes de coral. El turismo y la recreación pueden de esta manera proveer argumentos económicos poderosos para el manejo y pueden jugar un papel importante en el rol educativo para los usuarios a cerca del ambiente sensitivo de los arrecifes de coral, Así se crean unas grandes bases de información para la continua protección de los arrecifes de coral (Kenchington, 1988; Robinson, 1982). Este tipo de desarrollo, sin embargo requiere supervisión de cerca y educación sobre los procesos paralelos en relación a la fragilidad de los organismos que componen el arrecife. En compañía de estas actividades consideradas turísticas se puede determinar el detrimento de estos ecosistemas frágiles (e.g., Salm, 1985).

7. Medicina y producción de compuestos farmacológicos (Investigación)

Los octocorales guardan gran potencial como fuente de compuestos con actividad biomédica. Las prostaglandinas se encuentran entre los materiales biológicos de mayor potencia y se descubrieron en el gorgonio *Plexaura homomalla*. Luego de un proceso de purificación, las prostaglandinas se utilizan para estimular las contracciones uterinas para inducir el parto y/o los abortos terapéuticos, para acelerar el proceso de cicatrizar úlceras estomacales y revertir los efectos de las condiciones cianóticas congénitas de las enfermedades del corazón); éstos guardan gran promesa para la investigación científica. Tres especies de *Pseudoplexaura* contienen compuestos activos para combatir el carcinoma humano de la nasofaringe y la leucemia linfocítica. Los organismos coleccionados con fines científicos incluyen algas, corales blandos y esponjas. Se desconoce la frecuencia, cantidad e impacto ambiental de la colección de organismos marinos con fines investigativos.

También se han aislado bio-compuestos altamente activos de organismos invertebrados asociados a los arrecifes que han demostrado propiedades anti-microbianas, anti-leucémicas, anticoagulantes y cardioactivas (Fenical, 1982; Rinehart et al., 1981; Salm and Clark, 1982). Los organismos asociados a los arrecifes de coral han servido de instrumento para dilucidar mecanismos fisiológicos (por ej. el “sea hare”), de fertilización (por ej. los erizos), de regeneración y asociación de células (por ej. las esponjas) y mecanismos de acción de medicamentos (por ej. los calamares) (Ángeles, 1981). Se desconoce hasta qué punto se extiende la necesidad de colección de estos organismos, cuál será su demanda en el futuro y qué otros compuestos están por descubrirse (Goenaga y Boulon, 1992-Plan de Manejo CFMC).

8. Ciencia y educación

La diversidad de organismos asociados a los ambientes arrecifales y a las praderas de yerbas marinas son parte de ecosistemas que representan laboratorios naturales, como lo es el área de La Parguera para el Departamento de Ciencias Marinas del Recinto Universitario de Mayagüez de la Universidad de Puerto Rico (UPR), el área de la Reserva de La Cordillera en Fajardo para el Colegio Universitario de Humacao (UPR) y el Recinto de Río Piedras (UPR) y la Reserva del

Canal Luís Peña en Culebra para estudios de corales que realiza el Recinto de Río Piedras. Además, de acuerdo a Goenaga y Boulon, 1992 (Plan de Manejo CFMC) constituyen áreas de importancia para probar hipótesis ecológicas relacionadas a la coexistencia de especies. Es necesario desarrollar programas educativos que discutan la importancia del ambiente del arrecife para su conservación. En esta dirección, el Departamento de Educación de Puerto Rico ha desarrollado un currículo para la clase de ciencia a nivel de noveno grado que incluye una amplia discusión acerca de nuestros ecosistemas marinos especialmente de los arrecifes de coral.

Además, el Programa de Educación de este documento discute el tópico de concienciación pública dentro de las ***Estrategias de acción local para la protección de los arrecifes de coral en Puerto Rico*** que cuenta con proyectos que destacan las áreas de:

- ✓ interacción ciudadana
- ✓ educación escolar
- ✓ educación pública
- ✓ educación a usuarios del recurso: navegantes y buzos
- ✓ comunicación gubernamental

F. Condición actual de los arrecifes de coral

Tanto los tensores naturales como los antropogénicos impactan seriamente la distribución, condición y productividad de los arrecifes y de las plantas e invertebrados asociados a estos. Los tensores naturales influyen en los hábitats dentro y fuera de la costa mientras que los tensores antropogénicos impactan seriamente a los hábitats costeros. Desde un punto de vista general, los arrecifes de coral en el Caribe difieren en muchos aspectos de los arrecifes de coral en el resto del mundo, lo que los hace más vulnerables a fuentes de disturbios que los corales del Indo-Pacífico. Por ejemplo, los arrecifes del Caribe están expuestos a la influencia de cinco ríos de gran importancia: Mississippi, Río Grande, Río Magdalena, Amazonas y Orinoco los cuales inducen condiciones ecológicas muy por debajo de lo que se considera óptimo. A través de la tecnología de satélites y muestreos de campo se ha podido detectar la influencia de estos ríos en la cuenca del Caribe y en Puerto Rico se ha detectado la presencia de escorrentías procedentes del río Orinoco. Además los arrecifes del Caribe muestran una menor diversidad de especies y están más expuestos que los arrecifes de la región del Indo-Pacífico a procesos de bioerosión debido a que se desarrollan en aguas donde la producción primaria es mayor (Highsmith, 1980). Estas características exponen la integridad ecológica de los arrecifes de coral en el Caribe a una mayor susceptibilidad a los disturbios naturales y antropogénicos.

1. *Tensores naturales*

1.1 Cambio Climático y Blanqueamiento de corales

Otro tensor que afecta a los arrecifes es el blanqueamiento masivo de corales. Este fenómeno ocurre en los corales escleractíneos cuando las zooxantelas son expulsadas del coral o se degeneran in situ. Esta condición afecta la tasa de crecimiento del coral y la capacidad de sanar

las heridas. Eventos de esta naturaleza ocurrieron en todo el Caribe en 1987 y en 1990 (Williams et al. 1987; Goenaga y Canals, 1990).

El blanqueamiento se ha reportado en los arrecifes del Caribe desde la década de 1940 (Goreau, 1964) y se ha asociado con eventos que incluyen cambios marcados en salinidad, turbidez y mareas extremadamente bajas (Winter et al., 1998).

Durante el verano de 1987, un evento de blanqueamiento masivo de coral se observó en Puerto Rico (Goenaga et al., 1989; Williams et al., 1987) y a través del Caribe (Williams and Bunkley-Williams, 1988). Goenaga et al. (1989) reportó un blanqueamiento extensivo de cnidarios con zooxantelas en ambientes de arrecife frontal en La Parguera que incluyó escleractinios, zoántidos, gorgonios incrustantes, anémonas e hidrocorales. Un total of 64 especies de huéspedes foto-simbióticos de arrecifes de coral se afectaron (Williams and Bunkley-Williams, 1989). Goenaga et al. (1989) asoció el blanqueamiento con los mares excepcionalmente calmados en unión a la alta transparencia en el agua y al aumento en la temperatura del agua. Vicente (1994b) encontró 22% de 326 corales monitoreados en el Arrecife Cayo Enrique en La Parguera blanqueados en 1987 y 44% de los cuales tenían necrosis en el tejido. Goenaga et al. (1989) también encontró que el blanqueamiento no estaba relacionado a la profundidad y que el coral de estrella de peñón *Montastrea annularis*, fue el más afectado por el blanqueamiento en Cayo Enrique, La Parguera. El blanqueamiento en los corales en La Parguera perduró hasta el 1988 (Bunkley-Williams et al., 1991). Williams and Bunkley-Williams (1990b, 2000) plantearon que más allá del daño inicial, los corales no tienen suficiente tiempo para recuperarse entre eventos de blanqueamiento tan corridos y por ende, el daño puede ser acumulativo y cada vez mayor. Velasco et al. (2003) observó 386 especímenes de 23 especies de corales en las afueras del suroeste de Puerto Rico después del evento de blanqueamiento en 1998. Encontraron que el 99% de las colonias de corales se recuperaron después de 3 años, incluyendo el 15% que se blanqueó nuevamente en 1999 (Velasco et al., 2003). Wilkinson (2003) y Williams and Bunkley-Williams (2000) sugirieron que el evento de 1998 en el norte del Caribe consistió de un blanqueamiento amplio, pero bajo o moderado. Wilkinson (2003) sugirió que los corales más susceptibles han sido destruidos por blanqueamientos previos. Varios estudios sobre blanqueamiento se han llevado a cabo en Puerto Rico (e.g., Bunkley-Williams et al., 1991; Goenaga y Canals, 1990; Goenaga et al., 1989; Goreau et al., 1992; Hall et al., 1999; Hernández-Delgado y Alicea-Rodríguez, 1993; Velasco et al., 2003; Vicente, 1989, 1990, 1994a,b; Williams y Bunkley-Williams, 1988, 1989; Williams et al., 1987; Winter et al., 1998; Woodley et al., 1997). Los arrecifes más cercanos a la costa parecen ser los que más se han afectado por blanqueamientos y se han recuperado menos que los arrecifes del veril en el suroeste de Puerto Rico (Williams and Bunkley-Williams, datos sin publicar). Muchos arrecifes de coral costeros se han convertido en arrecifes de algas. Los arrecifes en la Isla de Mona aparentan haberse impactado más que los de la Isla Grande pero parece que se debe más a las enfermedades que al blanqueamiento aunque éste último pudo haber tenido un efecto precursor (Williams and Bunkley-Williams, datos sin publicar).

Winter et al. (1998) comparó los eventos de blanqueamiento de coral en La Parguera en términos de la temperatura de la superficie del océano (sea surface temperatura, SST) durante un periodo de 30 años (1966-1995) y encontró que los índices de temperatura anual del máximo SST diario (días >29.5°C, y días >30°C) pronosticaron los años de blanqueamiento severo en La Parguera que ocurrieron en 1969, 1987, 1990 y 1995. No obstante, de acuerdo a Winter et al. (1998) no se

puede aplicar un pronosticador simple de eventos de blanqueamiento dentro de un año determinado.

Un blanqueamiento masivo sin precedentes ocurrió en todo el Caribe en el año 2005. Ha sido el evento de blanqueamiento más severo en Puerto Rico, resultando en una alta mortandad y pérdida de cobertura de coral vivo en varios arrecifes de coral alrededor de Puerto Rico (Hernández, 2005; García et al, 2006). Un brote de enfermedades asociado a este evento de blanqueamiento causó un incremento en la mortalidad de corales que sufrieron blanqueamiento durante el periodo del verano de 2005 al verano de 2006 (Weil et al, 2007).

Los siguientes son algunos apuntes sobre el blanqueamiento que ocurrió en PR y que se resumen en la sección del diario contenido en el informe *The Status of Caribbean Coral Reefs after Bleaching and Hurricanes in 2005*, el cual fue editado por Clive Wilkinson y David Souter. Los mismos fueron extraídos del portal de CORIS/NOAA:

- 25-Jun-05 La temperatura superficial del mar (SST) alcanzó 30.5°C en Culebra y los corales se estaban blanqueando. En algunas áreas, 50% de los corales se habían muerto. Además, se reportaron brotes de plaga blanca y banda negra. Las temperaturas más cálidas usualmente no se alcanzaban aquí.
- 26-Jul-05 “Bleaching Watch” para Puerto Rico
- 23-Aug-05 Los corales cerca de la Isla Palominitos se están blanqueando.
- 09-Sep-05 Los corales duros en el este de Puerto Rico se han blanqueado extensamente y octocorales, gorgonios y zoántidos también se han blanqueado. Las temperaturas fueron 29.5-30°C y no hay casi viento.
- 12-Sep-05 Los corales en el suroeste de Puerto Rico han comenzado a blanquearse y la plaga blanca se ha visto.
- 14-Sep-05 Primer blanqueamiento del coral de flor *Mussa angulosa* fue reportado en el noreste de Puerto Rico, como también de *Palythoa caribbaeorum*.
- 15-Sep-05 Se reportó el primer blanqueamiento de una colonia de coral cuerno de alce (Elkhorn) en la región del este de Puerto Rico. Ha habido blanqueamiento y mortandad extensos, al igual que un brote de la enfermedad de banda negra. Existe ausencia de gobios limpiadores (cleaning gobies) en los arrecifes.
- 21-Sep-05 Estrés termal ha progresado hacia el sur y este.. Niveles de DHW han excedido 8°C-por semanas, por lo que las probabilidades de mortandad de corales es alta.
- 05-Oct-05 Blanqueamiento a lo largo de la costa norte. Los valores de DHW han alcanzado records altos.
- 04-Nov-05 Los corales han comenzado a recobrar su color en los pasados 10 a14 días. Muchos corales cuerno de alce y cuerno de ciervo (Staghorn) (*Acropora palmata* and *A. cervicornis*) han muerto durante el evento termal y los brotes de enfermedades y lesiones han afectado los corales con blanqueamiento. Las enfermedades de corales se están dispersando. Dichos brotes se han vinculado a períodos de estrés termal. Por tal razón, la prevalencia de enfermedades a menudo aumenta luego de eventos de blanqueamiento, debido a que corales ya bajo estrés son más susceptibles a infecciones. Según las temperaturas retornan bajo sus niveles de estrés, el progreso de las enfermedades disminuye.
- 07-Nov-05 El “U.S. Coral Reef Task Force” aprobó una resolución para dirigir una respuesta interagencial coordinada para monitorear los impactos ecológicos y sociológicos

del blanqueamiento del Caribe; uno de los peores eventos documentados en una escala regional. La resolución solicitó mejorar los pronósticos de estrés termal y sus impactos en los ecosistemas de arrecifes de coral.

- 22-Nov-05 Los niveles del sistema de alerta de blanqueamiento se redujeron a no estrés.
- 28-Nov-05 Brotes de plaga blanca se reportaron en una variedad de especies en el suroeste. Los brotes son más intensos en aguas mar afuera donde las profundidades son 15 m o más. Algunas muertes de coral se atribuyen a la enfermedad.
- 16-Dec-05 En La Parguera, aunque la mayoría de los corales han comenzado a recuperar su color, algunos se mantienen completamente blancos y ha habido una alta mortandad entre corales Elkhorn, Staghorn and *Millepora*.

1.2 Enfermedades

Una enfermedad de coral, específicamente, la enfermedad de banda negra (BBD), se reportó por primera vez en los arrecifes alrededor de Puerto Rico en el 1972 (Antonius, 1981). Otros investigadores han realizado observaciones esporádicas por las pasadas tres décadas (Williams and Bunkley-Williams, 1990b). Un programa de monitoreo de enfermedades que se estableció en el 1994 ha documentado brotes de BBD en ciertos lugares cerca de La Parguera, Rincón y Aguadilla, con caso aislados observados en otros lugares incluyendo las islas de Desecheo y Mona (Bruckner, 1999). La prevalencia de BBD ha declinado desde el Huracán Georges (1998), aunque brotes focalizados en sitios que previamente no habían sido afectados continúan ocurriendo. Un estudio a nivel del Caribe reportó una prevalencia de BBD inusualmente alta (6.8%) en la Isla de Desecheo (Weil et al., 2002). En Isla de Mona, el BBD ha afectado un 1-11% de los corales de cerebro (*Diploria strigosa* and *D. clivosa*) en ambientes de cresta arrecifal y arrecife posterior desde mediados de la década de los 1990s, con infecciones ocurriendo esporádicamente (<1%) entre otros corales masivos (*M. faveolata*, *C. natans* and *S. siderea*) y de plato (*Agaricia* spp.) en ambientes de arrecifes frontales más profundos.

Un brote de plaga blanca fue reportado en arrecifes cerca de La Parguera en 1997 (Bruckner and Bruckner, 1997), y nuevamente en 2003 en lugares de veriles, en los cuales afectó al menos 16 especies (Weil, datos sin publicar). Otro brote de plaga blanca se observó en 1999 en Isla de Mona que afectó 14 especies, con la prevalencia más alta entre corales masivos pequeños (*D. strigosa*, *D. stokesii*), muchos de los cuales murieron en una o dos semanas. Las poblaciones de la especie *Montastraea* en la Isla de Culebra han sido afectadas también por la plaga blanca desde el 2002, con el brote observado más reciente en abril de 2004 (E. Hernández-Delgado, com. personal con el Dr. Jorge García Sais).

La enfermedad de banda blanca (WBD, por sus siglas en inglés), principal causa de mortandad para las poblaciones de acropóridos del Caribe, fue reportada por primera vez por Goenaga a comienzos de los 1980s con 20-33% de las colonias de *A. palmata* afectadas en un arrecife cerca de La Parguera (Davis et al., 1986). Casos aislados de WBD fueron observados entre 1995-2003, incluyendo un brote que afectó el 15% de las colonias en un arrecife en las afueras de la costa este de Mona (Bruckner and Bruckner, próximo a publicar). WBD ha sido también observada entre poblaciones de *A. cervicornis* cerca de La Parguera en lugares llanos cercanos a la costa y en arrecifes profundos de veril. Una forma más virulenta de WBD fue documentada por primera vez

entre colonias de *A. cervicornis* en Culebra en 2003, afectando 45% de todas las colonias en siete arrecifes (AGRRA, 2003). Más recientemente, esto ha sido reportado entre viveros costeros de *A. cervicornis* y en ambientes arrecifales alrededor de Culebra (E. Hernández-Delgado, com. personal con el Dr. Jorge García Sais).

Otras condiciones que han aumentado en abundancia desde 1999 en arrecifes cerca de La Parguera, Desecheo y Mona incluyen la enfermedad de banda amarilla (YBD) entre *M. faveolata* y *M. annularis* y la enfermedad de puntos oscuros en *S. siderea* y otras especies (Bruckner, data sin publicar; Weil, 2004). La prevalencia de enfermedades se ha monitoreado anualmente en Mona desde 1995, con énfasis en YBD. YBD estuvo ausente en estos arrecifes en 1995 y fue observada por primera vez en 1996 entre cuatro colonias of *M. faveolata*. En 1999, YBD afectó hasta un 50% de todas las colonias *M. annularis* en sitios permanentes, incluyendo muchas de las colonias más grandes (2-3 m diámetro y altura) y presumiblemente, de las más antiguas. La prevalencia más alta de la enfermedad fue documentada en profundidades llanas (3-10 m) en la costa oeste protegida, mientras que menos colonias fueron afectadas en aguas más profundas (15-25 m) de la costa sur. Las tasas medidas de dispersión de enfermedad y mortandad de tejido han sido lentas (5-15 cm/año) comparadas con otras enfermedades, aunque diferencias espaciales, estacionales y diferencias anuales fueron observadas. Colonias individuales con una sola lesión de YBD han exhibido infecciones múltiples en la superficie de la colonia y con el tiempo. Con la excepción de aquellas colonias con YBD que murieron, la mayoría de los corales que fueron afectados primero por YBD entre 1999 y 2001 todavía estaban afectados en 2003, con colonias perdiendo 50-100% de su tejido en este periodo. La prevalencia de YBD aumentó progresivamente en sitios más profundos en los pasados seis años y esta enfermedad es la mayor amenaza que está afectando la supervivencia de las poblaciones de las especies de *Montastraea*.

1.3 Huracanes o tormentas tropicales

Los huracanes son eventos catastróficos naturales que han causado mortandades masivas a los arrecifes de coral y a otras comunidades marinas en Puerto Rico. En particular, los huracanes parecen ser el factor principal para la mortandad a gran escala de los biotopos de coral cuerno de alce (*Acropora palmata*) en arrecifes de Puerto Rico. La acción intensa del oleaje, marejada y estrés de abrasión de sedimento asociados con los huracanes causan el despegue mecánico y la mortandad de muchos de los organismos arrecifales bénticos, incluyendo los corales en zonas llanas. Las comunidades costeras son también impactadas por las cargas altas de sedimentos y nutrientes de la escorrentía durante y varios días después del paso de los huracanes. Los efectos del Huracán Edith (1963) en los arrecifes llanos de La Parguera fueron documentados por Glynn et al. (1964). Además, de la mortandad masiva de los invertebrados arrecifales bénticos, las algas y la destrucción del biotopo de coral cuerno de alce, una mortandad de 50% fue observada en los arrecifes interiores (“inner reefs”) por Glynn et al. (1964).

Armstrong (1981) describió el despegue y deposición de fragmentos de coral de mayor escala, mayormente coral de cuerno (*A. palmata*), coral de dedo (*Porites porites*) y coral de fuego (*Millepora* spp.) en el arrecife frontal de Cayo Enrique, La Parguera, después que el Huracán David pasó 340 km al sur de Puerto Rico en agosto de 1979. El manglar rojo de borde (*Rhizophora*

mangle) también sufrió daños significativos por el Huracán David (Armstrong, 1981). Ballantine (1984) reportó mortandades masivas de algas bénticas a profundidades de hasta 17 m luego de los Huracanes David y Allen un año más tarde (en agosto 1980). Matta (1981) notó también una merma drástica en abundancia y riqueza de especies s de macroalgas en Cayo Turrumote, La Parguera.

Una destrucción masiva de coral de cuerno de alce en las afueras del noroeste de Vieques fue reportada por García-Sais et al. (2001d). Estos arrecifes parecen haber sido impactados por una fuerza mecánica de alta magnitud, probablemente por el Huracán Hugo en 1989. Las algas bénticas y otra biota incrustante han crecido sobre fragmentos de corales rotos. Este evento fue altamente significativo para las comunidades arrecifales de la costa norte de Vieques por el área relativamente extensiva de la cresta de arrecifes en relación a intensificar los arrecifes en las zonas fisiográficas. La re-colonización y crecimiento de colonias de *A. palmata*, según se infiere de observaciones en los arrecifes de La Parguera y Vieques, parecen estar ocurriendo a un ritmo muy lento. En una escala mayor, los huracanes pueden cambiar la productividad de las regiones de la costa debido a la influencia de las descargas sobre los ríos y la cantidad de sedimentos, nutrientes, materia orgánica y otros materiales que afectan la productividad primaria del fitoplancton. Utilizando las series de tiempo de percepción remota para analizar los cambios en el color del océano, Gilbes et al, (2001) muestra el paso después del Huracán Georges (septiembre 21-22, 1998), incremento en la biomasa del fitoplancton por el mínimo de dos órdenes de magnitud, extendida por la costa de regiones oceánicas adyacentes a más de 37km de distancia de la costa. Basado en el Geological Survey de los Estados Unidos las medidas del flujo de la corriente de 55 estaciones en 15 cuencas, Gilbes et al. (2001) estimó que más de 1,000 toneladas métricas de nitrato fueron descargadas en aguas de la costa de Puerto Rico durante septiembre 20-25 de 1998, y concluye que este pulso masivo de nutrientes aumentó significativamente la productividad del plancton, originó una señal proveniente en un Sea WiFS.

Una gran parte del Caribe se encuentra en el área de paso de huracanes lo que expone con frecuencia a los arrecifes de coral a sus impactos severos. Los huracanes pueden modificar porciones sustanciales de los arrecifes en aguas llanas. Dos tormentas tropicales en 1979, David y Federico causaron mucho daño a los arrecifes en la costa sur y en las afueras de la costa este; especialmente en la zona llana de *Acropora palmata*. En la costa este, el huracán Hugo en 1989 y el huracán Georges en 1998 también impactaron las comunidades arrecifales.

Los huracanes también pueden ser beneficiosos pues logran desplazar grandes cantidades de corales ramificados que crecen rápidamente y monopolizan el sustrato; al ser removidos queda espacio disponible para el desarrollo de especies de corales masivos y de crecimiento lento. En ausencia de otros tensores, esta acción parece resultar en un aumento en la diversidad de especies.

2. Tensores antropogénicos

2.1 Desarrollo costero, escorrentía y sedimentación

Seis de las siete ciudades de Puerto Rico más pobladas están en la costa. Estas son San Juan, Bayamón, Ponce, Carolina, Arecibo y Mayagüez. Las mismas poseen el 32% del total de la población, lo que equivale a 1.23 millones de personas (García, et al 2006). La mayoría de los sistemas de arrecifes de coral en Puerto Rico están localizados lejos de los centros poblacionales e insumos terrestres, tales como los de Arrecifes La Cordillera de Fajardo, Vieques, Culebra y en las islas de Desecheo y Mona. Puerto Rico cuenta con arrecifes de coral extensos en la costa suroeste, al igual que en la plataforma insular de Mayagüez y Ponce.

En estos dos últimos municipios, los arrecifes de coral se desarrollaron bajo la alta y moderada influencia respectivamente de escorrentías estacionales provenientes de las descargas de ríos. Estos arrecifes han experimentado una degradación significativa, particularmente en sistemas localizados cercanos a la costa. El desarrollo costero histórico en ambas ciudades ha sido detrimental para los corales. El mismo ha incluido dragados, descargas de plantas de tratamiento primario y descargas orgánicas de la industria del atún. Los hábitats bénticos han estado sujetos a la sedimentación causada por la re-suspensión durante actividades relacionadas a los puertos y a la navegación en las bahías. Se han perdido arrecifes de coral dentro de la plataforma interior y ha ocurrido un cambio mayor en la estructura de la comunidad béntica en las secciones medias de la plataforma, donde los corales blandos han colonizado hábitats bénticos de fondo duro (García-Sais and Castro, 1995). No obstante, los sistemas en la plataforma exterior en ambas bahías, tales como Arrecifes Tourmaline en Mayagüez y el Arrecife Derrumbadero en Ponce, están entre los mejores desarrollados en Puerto Rico, con cobertura de coral de sobre 40%. En ambos sitios se han implantado iniciativas de restauración de calidad de agua para prevenir daños adicionales a sus hábitats marinos.

2.2 Contaminación Costera

La mayoría de las descargas industriales están conectadas a Plantas Regionales de Tratamiento. Existen 5 de estas plantas de tratamiento primario (Carolina, Bayamón-Puerto Nuevo, Arecibo, Aguadilla y Ponce) que descargan efluentes desinfectados con cloro a través de emisarios submarinos al ambiente marino en cumplimiento con la Ley Federal de Agua Limpia.

Otra fuente potencial de contaminación costera lo es la operación de plantas termoeléctricas, que necesitan grandes cantidades de agua salada para enfriar su maquinaria. Existen plantas en San Juan, Aguirre-Guayama y Guayanilla. Las plantas de Aguirre y EcoEléctrica tienen torres de enfriamiento y no descargan efluentes calientes a las aguas costeras. En un estudio realizado en la Bahía de Jobos, se demostró que dichos efluentes impactaron las raíces del manglar, las comunidades de yerbas marinas y la fauna asociado a éstos tales como invertebrados y peces (PRNC, 1972).

2.3 Turismo y Recreación

El efecto de las actividades de turismo en los sistemas de arrecifes de coral en Puerto Rico no se conoce bien. De acuerdo a la Compañía de Turismo (PRT, 2002), un total de 2.5 millones de cuartos de hoteles y paradores fueron ocupados en la Isla durante el 2001-2002. Aproximadamente

58% del total de cuartos de hotel ocupados se han concentrado en el área metropolitana de San Juan, donde no existen arrecifes de coral. Sin embargo, los turistas que se hospedan en San Juan viajan a menudo a través de la isla para participar de actividades recreativas marinas tales como el buceo.

Las escuelas de buceo, por lo general, prohíben la pesca con foga y exhortan a sus usuarios a no tocar los arrecifes de coral. El efecto adverso del anclaje de embarcaciones grandes de buceo se ha disminuido, ya que el DRNA instaló boyas de amarre en las áreas más frecuentadas por estas embarcaciones.

Una de las mayores preocupaciones sobre la salud ecológica de los arrecifes de coral en Puerto Rico es que no conocemos la capacidad de acarreo de estos sistemas o su límite de cambio aceptable ante usos recreativos.

2.4 Sobrepesca

Los arrecifes de coral están bajo intensa presión en Puerto Rico por parte de varios grupos de usuarios, incluyendo pescadores comerciales, pescadores recreacionales, colectores y exportadores de organismos ornamentales. La pesquería ha ido en picada durante las pasadas dos décadas y muestran signos clásicos de sobrepesca reducida en los desembarcos totales, declinación de las capturas por unidad de esfuerzo, cambiar a peces pequeños, y aislamiento de pérdidas. Los desembarcos de pesca comercial reportados entre 1979 y 1990 descendieron por 69 % (Appeldoorn et al, 1992). El último censo de pesquería (Matos Caraballo, 2002) reportó 163 peces comerciales en Puerto Rico para el 2002, una reducción de 38% desde 1982. La pesquería comercial del 2002 incluye una data de 956 en la industria pesquera., en 10,372 trampas de peces.

Reef fish are under intense pressure in Puerto Rico from a variety of user groups, including commercial fishers, recreational anglers, as well as ornamental organism collectors and exporters. Reef fisheries have plummeted during the last two decades and show the classic signs of overfishing: reduced total landings, declining catch per unit effort (CPUE), shifts to smaller fish, and recruitment failures. Commercial fish landings reported between 1979 and 1990 fell by 69% (Appeldoorn et al., 1992). The latest commercial fishery census (Matos-Caraballo, 2002) reported 1,163 commercial fishers in Puerto Rico for 2002, a reduction of 38% since 1982. Los datos de pesquería comercial incluyen 956 embarcaciones pesqueras, y 10,372 nasas.

Como se mencionó anteriormente, la bio-erosión también presenta un problema de importancia para los arrecifes del Caribe. La proporción de arrecifes que contienen bivalvos que penetran las cabezas de corales en el Caribe es mayor que la de los corales en el Océano Indico y en la región del Pacífico occidental (Highsmith, 1980). La pérdida de masa esquelética por bio-erosión reduce el crecimiento del arrecife. Aunque los corales pétreos, las algas coralinas y otros invertebrados marinos secretan carbonato de calcio como material arrecifal, fuerzas naturales y otras causadas por el hombre continúan erosionando estos sustratos. Reportes del estado de los arrecifes de coral en Florida indican que los procesos de deposición y erosión se encuentran en el mejor de los casos, en estado de equilibrio (Norris y Wheaton, 1991). Por lo tanto, una presión adicional en los

corales y arrecifes, procedente de la cosecha de éstos y de otras actividades antropogénicas puede resultar en una pérdida neta de estos recursos a largo plazo.

Las enfermedades de corales atacan los arrecifes en Puerto Rico. Se cree que la enfermedad de la banda blanca ha mermado largas extensiones de las poblaciones de *Acropora palmata* como la de Cayo Largo en Fajardo. La enfermedad de la banda negra, causada por cianobacterias, se ha observado en los arrecifes de La Cordillera en Fajardo y El Negro en las afueras de la costa oeste de Puerto Rico.

La mortandad masiva a lo largo del Caribe del erizo negro, *Diadema antillarum*, un herbívoro de gran importancia en los sistemas de arrecifes de coral también ha contribuido a la modificación de los corales y el hábitat del arrecife (Vicente y Goenaga, 1984, Hernández, 2005). Los individuos de esta especie de erizo se alimentan del sustrato donde consumen algas carnosas, filamentosas y de crecimiento rápido lo que mantiene las poblaciones de algas bajo control y permite el asentamiento y crecimiento de las larvas de coral. La biomasa de algas en los arrecifes ha aumentado luego de la mortandad de los *Diadema*. Si no ocurre un aumento en la población de otros herbívoros, el incremento en la biomasa de algas puede reducir el sustrato disponible para el asentamiento de las larvas de coral, afectando así el reclutamiento de larvas y el desarrollo de nuestros arrecifes. Esta situación empeora en lugares con altos niveles de eutroficación donde existe una mayor estimulación para el crecimiento de algas (Goenaga y Boulon, 1992).

3. Tensores antropogénicos

Los Arrecifes- En general, el efecto de las actividades humanas en los arrecifes depende de dos factores: la distancia a la que se encuentren los arrecifes de la costa y la salud general de los arrecifes (Goenaga y Boulon, 1992). Muchos arrecifes en Puerto Rico han sufrido daños considerables a causa de las actividades humanas. Se ha observado una degradación extensa de los arrecifes de coral en las siguientes áreas:

- 1) todos los arrecifes desde San Juan hasta Las Cabezas de San Juan en Fajardo,
- 2) los arrecifes en la costa de Fajardo,
- 3) los arrecifes en Humacao,
- 4) los arrecifes anulares en las afueras del Puerto de Yabucoa,
- 5) los arrecifes en la costa de Ponce,
- 6) todos los arrecifes en la Bahía de Guayanilla y en la Bahía de Tallaboa,
- 7) todos los arrecifes en las afueras de y bordeando Guánica,
- 8) todos los arrecifes costeros del área oeste desde Boquerón hasta Rincón,
- 9) los arrecifes en las afueras de la costa de Arecibo,
- 10) los arrecifes en las afueras de la costa de Dorado.

El daño a los arrecifes alrededor de las islas y a los organismos asociados a los hábitats del arrecife, es causado por uno o varios de los siguientes factores (Goenaga y Boulon, 1992): sedimentación, eutrofización, contaminación (tóxica y termal), daño físico y sobrepesca. Estos

problemas no son exclusivos de los corales en Puerto Rico. El Grupo de Trabajo para la Conservación de los Arrecifes de Coral ha identificado veinticuatro actividades humanas que son perjudiciales a los arrecifes de coral. En general y a escala mundial el mayor daño es causado por:

- 1) colección de caracoles, corales y peces,
- 2) sedimentación proveniente de escorrentías de agua dulce,
- 3) actividades de dragado (Salvat, 1981).

Los arrecifes en Puerto Rico están expuestos a estos daños aunque no en el mismo orden de gravedad.

3.1 Sedimentación

Las preocupaciones principales en Puerto Rico respecto a la sedimentación surgen de la remoción de la capa vegetal y la eutrofización particularmente en áreas adyacentes a los arrecifes costeros (Goenaga y Boulon, 1992). La sedimentación y la turbidez disminuyen la cantidad de luz (fuente vital de energía) disponible a los corales para la fijación fotosintética de carbonato de calcio; lo que reduce las tasas de calcificación (crecimiento) o causa enterramiento y muerte de peces, invertebrados y plantas. La sedimentación también reduce el sustrato disponible para el asentamiento de corales y otras larvas. Se ha demostrado claramente que los niveles de turbidez influyen en la abundancia y diversidad de peces. En la laguna Torrecilla, la sedimentación producto de dragados y contaminantes orgánicos procedentes de las plantas de tratamiento de aguas casi destruyeron los arrecifes al noroeste de Boca Cangrejos (citado en Goenaga y Boulon, 1992). El Puerto Las Mareas y Ponce son algunas de las áreas donde se ha reducido la cubierta de coral vivo debido a los sedimentos terrígenos procedentes de ríos. El bajo porcentaje de cobertura de coral en el cañón de Guayanilla ha sido atribuido a la re-suspensión de sedimentos causada por el transporte marítimo local (Morelock et al. 1979).

Hay muchas prácticas en las que se remueve la cubierta vegetal sin el uso de técnicas apropiadas para la conservación de suelos. Por ejemplo, en el suroeste de Puerto Rico es común observar grandes plumachos de sedimentos después de eventos de lluvias intensas. A principios de la década de los 90 se encontró que el patrón de descargas estimadas de sedimentos provenientes de fuentes directas es mayor en el área norte con las costas sur y oeste con patrones cercanos. La costa este obtuvo el estimado más bajo para descargas de sedimentos provenientes de fuentes directas. Se encontró que la costa oeste recibía la mayor cantidad de descargas de sedimentos provenientes de diversas fuentes dispersas en los ríos, seguida por la costa norte con rangos de 16-59 veces mayor que los sedimentos provenientes de fuentes directas en todas las áreas, exceptuando la costa norte (Tetra Tech, 1992). La producción de sedimentos puede ser 10,000 veces mayor para un área de construcción que para un área cubierta con capa vegetal. Por ejemplo, la cuenca de Loíza produce alrededor de 115 toneladas de sedimento por milla cuadrada por año mientras que un área de construcción/desarrollo puede producir 96,000 toneladas anuales por cada milla cuadrada. Mediante el uso de técnicas de mitigación, es posible controlar los

impactos negativos del aumento en sedimentación; estas técnicas forman parte de las prácticas de conservación de suelos.

3.2 Eutroficación

La eutroficación o enriquecimiento de nutrientes por desecho de aguas negras o drenaje terrestre puede estimular el crecimiento excesivo de algas (algal blooms) lo que desplaza a los organismos de crecimiento lento como lo son los corales. Esto puede resultar en la proliferación de organismos que compiten con o dañan los corales (por ejemplo, bivalvos y algas incrustantes y esponjas perforadoras. En Puerto Rico la contaminación por aguas negras es un tensor que afecta a los arrecifes de coral; los corales que crecen cerca de descargas sanitarias muestran proliferación de algas verdes. El enriquecimiento excesivo de nutrientes en las áreas de hierbas marinas puede ocasionar el reemplazo de las hierbas por algas bénticas o fitoplancton. Estudios realizados en 1992 encontraron que la mayor fuente de nutrientes en Puerto Rico provenía de fuentes directas en los municipios costeros (Tetra Tech, 1992).

2.3 Contaminación

La contaminación termal y tóxica es de origen agrícola, industrial y residencial e incluye toxinas, patógenos biológicos, sedimentos y fuentes termales (Tetra Tech, 1992). De acuerdo a este reporte, en Puerto Rico se detectaron 14 metales pesados en aguas marinas y estuarinas. En la costa norte, principalmente en las cercanías del Puerto de San Juan, se encontraron los niveles más altos de arsénico, cadmio, cromo, cianuro, mercurio, níquel, talio y zinc. Los niveles más altos de aluminio, berilio, cobre, plomo y plata se encontraron en la costa sur. Muchos de estos metales pesados pueden dañar la vida acuática y pueden causar riesgos a la salud humana por el consumo de peces y mariscos contaminados. En Puerto Rico al parecer no existe un programa de monitoreo para la detección de inorgánicos.

La contaminación por bacterias fecales y agentes virales producto de prácticas inadecuadas para la disposición de aguas negras, puede impactar de manera negativa el ambiente del arrecife y crear un serio problema de salud en las aguas costeras. En Puerto Rico, numerosas áreas costeras exceden los estándares para coliformes fecales por factores que exceden hasta 100 veces los establecidos por el estándar como por ejemplo, San Juan, Fajardo, Humacao, Guayama, Ponce y Mayagüez. La clausura de playas, las cuales pueden tener un impacto negativo en el turismo, ha sido implementada como resultado de alto niveles de patógenos en aguas superficiales, disposición de basura, impactos de aparejos de pesca comercial perdidos y sistemas de alcantarillados inadecuados.

Una fuente que afecta de gran manera los cuerpos de agua en Puerto Rico lo son los efluentes con permisos NPDES (por sus siglas en inglés). La mayoría de estos efluentes provienen de plantas de tratamiento de aguas clasificadas como secundarias. En una inspección federal de estas plantas en

Puerto Rico en agosto de 1991, 16 de 46 plantas de tratamiento secundario, es decir, un 35 % de éstas no pasó inspección; nueve de ellas en el área de Humacao (EQB, 1990; Tetra-Tech, 1992). La contaminación costera tiene gran impacto en las áreas de arrecifes cercanos a la costa y en los hábitats y comunidades asociadas.

3.4 Daño Físico

El daño físico es causado por los dragados, anclajes, maniobras militares y ciertas técnicas de cosecha. Las actividades de dragado para remover arena o roca de playa no solamente resultan en sedimentación y en un aumento en turbidez también causan daño mecánico a los arrecifes o remueven el sustrato. Además se conoce que las aguas sobre áreas de dragado tienen un contenido de bacterias mucho mayor que el de las aguas vecinas. Los metales pesados pueden ser perjudiciales a los arrecifes de coral mediante la interrupción de sus procesos fisiológicos y posiblemente debilitan la estructura de su esqueleto de aragonita (Howard y Brown, 1984).

El anclaje sobre los corales puede afectar seriamente las comunidades del arrecife y es de gran preocupación dado el aumento en el turismo y en la cantidad de usuarios de embarcaciones en las áreas arrecifales (Allen, 1992). Entre enero y marzo de 1987, Rogers et al. (1988) estudiaron el daño de los anclajes en varias bahías al norte y noreste de la isla de St. John en las Islas Vírgenes americanas. De las 186 embarcaciones observadas, 32% anclaron en praderas de hierbas marinas y 14% en coral. De las 30,000 anclas que se tiran en las aguas del Servicio Nacional de Parques cada año, esto puede resultar en un daño considerable a los arrecifes de estas áreas. Las cadenas de los anclas también pueden causar un gran daño al arrecife cuando se arrastran por el fondo. En 1989, un crucero de vela de 440 pies de eslora, el Wind Spirit tiró ancla en un arrecife al norte de St. John y destruyó un área de 330 m² de arrecifes de coral. Diversas actividades turísticas como el buceo y el uso de embarcaciones pueden causar un daño considerable por los anclajes y las embarcaciones que se encallan. Por ejemplo, en el Windswept Reef en la costa norte de St. John, en promedio encallaban cinco embarcaciones cada semana hasta que se instalaron boyas de amarre (Goenaga y Boulon, 1992). También es común observar gran cantidad de anclajes provenientes de embarcaciones recreativas en los arrecifes de La Parguera, al suroeste de Puerto Rico, las islas al noreste de Puerto Rico incluyendo los arrecifes de La Cordillera y en la Isla de Caja de Muertos al sur de Ponce.

Las maniobras militares que se llevaron a cabo por más de cincuenta años cerca a los arrecifes de coral en los alrededores de la Isla de Vieques al este de Puerto Rico, ocasionaron daño físico directo e indirecto, entre muchos factores, por el daño que causa la deposición de sedimentos provenientes de detonaciones de explosivos en los arrecifes de Vieques. Gran cantidad de municiones no explotadas en estas áreas de arrecifes limitan su uso para fines de pesca o turismo en el futuro (Goenaga y Boulon, 1992). Una situación similar se dio en Culebra.

El uso de varios métodos de cosecha en áreas arrecifales puede causar daño físico directo a la estructura arrecifal y puede reducir el porcentaje de cobertura de coral vivo (Russ, 1991). Por

ejemplo, el uso de redes para capturar peces, el uso de palancas, patas de cabra y otras herramientas para la extracción de sustrato y roca viva, el desplazamiento de cabezas de coral para coleccionar organismos y el uso de químicos amenazan con dañar el arrecife y sus organismos asociados (Sadovy, 1991). La cosecha de roca viva remueve el sustrato y las comunidades de invertebrados asociados a éstas, además causa la extracción de colonias de corales jóvenes adheridos a estas rocas. La extracción de la estructura física ocasiona una reducción en la cantidad de corales y en la heterogeneidad del arrecife y puede impactar seriamente la disponibilidad de espacio para el refugio de peces juveniles y el asentamiento de larvas. Los estudios demuestran una correlación entre relieve topográfico y abundancia de peces.

3.5 Sobrepesca

No se conocen a cabalidad los efectos de la sobrepesca en la estructura de la comunidad arrecifal. Sin embargo, la reducción a gran escala en la cobertura de coral vivo, en la heterogeneidad estructural o la sobrepesca de ciertos componentes de la pesca comercial, pueden resultar en el desbalance de la comunidad de los organismos asociados. Por ejemplo, a mayor diversidad estructural en el sustrato ocurre un aumento en la biomasa de peces. Los trabajos realizados por Hughes et al. (1987) en Jamaica indican que un aumento en la presión de la pesca de los herbívoros del arrecife, como lo son los peces cotorros, puede causar un incremento en la biomasa de algas lo que reduce la cobertura de invertebrados. Los herbívoros del arrecife pueden reducir la abundancia de ciertas especies de algas permitiendo así la supervivencia de corales y algas coralinas que cementan el arrecife. Anterior a la mortandad masiva del erizo *Diadema antillarum* en la década de los ochenta, la sobrepesca de peces depredadores se consideraba la causa para la gran abundancia de este erizo, cuya abundancia en grandes cantidades puede reducir la razón de reclutamiento de los corales pues cubren el sustrato que necesitan las larvas para asentarse (Ogden et al., 1973; Sammarco, 1980).

3.6 Impacto de tenses antropogénicos sobre las praderas de yerbas marinas

Existe preocupación respecto a un número de actividades que pueden impactar la integridad biológica de las praderas de yerbas marinas. Actividades tales como dragados, rellenos, daño con hélices de embarcaciones y energía del oleaje provocada por el paso de embarcaciones aumentan la turbidez del agua y matan las yerbas marinas. El desarrollo poco planificado, las escorrentías, el aumento en turbidez y aguas negras poco tratadas han destruido numerosas praderas de yerbas marinas en muchas áreas de Puerto Rico (Vicente et al., 1992). Para que se pueda llevar a cabo el proceso de fotosíntesis en las yerbas marinas se necesitan aguas claras con poca turbidez y la supervivencia de las plantas requiere un mínimo de 20-25% de radiación solar incidente en la superficie de la columna de agua. Los derrames de petróleo y otros tipos de contaminación química pueden afectar seriamente al hábitat por efectos físicos agudos como lo es el sofocar directamente las yerbas e indirectamente mediante la reducción a la tolerancia a perturbaciones luego de la exposición al petróleo y otros químicos. Aunque la pérdida de yerbas marinas a consecuencia de efectos a corto plazo potencialmente puede mitigarse mediante la restauración

(trasplante de plantas maduras), los disturbios crónicos como lo es la exposición a largo plazo a niveles altos de turbidez no son fáciles de rectificar y la restauración no se debe presentar como alternativa a un buen manejo de la calidad del agua. Otra situación que afecta el desarrollo de praderas de yerbas marinas lo es el cambio en la dirección de corrientes y oleaje a consecuencia de la construcción de malecones, barreras para oleaje y otras obras de ingeniería costera.

Los arrecifes de coral y las praderas de yerbas marinas de Puerto Rico son impactados por un gran número de tensores ambientales y antropogénicos. Existe gran preocupación por los efectos que causa en la costa la sedimentación procedente de fuentes dispersas. La sedimentación es uno de los causantes principales de los altos niveles de turbidez en las zonas costeras. Además, es evidente el daño físico causado a las praderas de yerbas marinas y a los arrecifes de coral por embarcaciones recreativas y actividades relacionadas al buceo y a la pesca ya sea por el anclaje que se lleva a cabo en estas áreas o por exceso de velocidad en áreas llanas, entre otros factores.

Las comunidades de arrecifes de coral y praderas de yerbas marinas están adaptadas a cambios cíclicos naturales y por lo general tienen la capacidad de recuperarse de diversos disturbios ambientales; sin embargo su recuperación puede verse afectada cuando las áreas arrecifales impactadas ya se encuentran degradadas por su exposición a tensores antropogénicos. Es importante minimizar el impacto de las actividades humanas en las áreas de arrecifes de coral y praderas de yerbas marinas para que estos puedan recuperarse totalmente luego del impacto de un disturbio natural.

E. Manejo del Recurso

- 1) *Recomendaciones para implantar medidas en el manejo de los arrecifes de coral en Puerto Rico y*
- 2) *Plan de acción para los componentes de manejo establecidos en las Estrategias de acción local para la protección de los arrecifes de coral en Puerto Rico.*

Vigilancia

El DRNA debe establecer un programa de vigilancia intensa en las áreas que reciben mayor impacto a consecuencia de actividades recreativas y de inspecciones rigurosas para el control de sedimentos y descargas de aguas usadas en proyectos costeros y cercanos a las riberas de los ríos. El sistema de zonificación para ecosistemas costeros, una vez sea aprobado por la Junta de Planificación, debe servir de guía para identificar áreas prioritarias para el programa de vigilancia. Además, todas las reservas y refugios costeros deben encabezar la lista de prioridades para este programa. Un sistema de vigilancia intenso debe incluir patrullajes nocturnos y durante todos los fines de semana. Se recomienda establecer proyectos pilotos en la Reserva de La Cordillera en Fajardo, Reserva del Canal Luis Peña en Culebra, Guánica, Parguera, Cabo Rojo y Mayagüez.

Programa científico

A continuación presentamos una guía de veintidós proyectos que constituyen el programa científico, éste equilibra las áreas donde se necesita información científica para comenzar el desarrollo de un manejo estructurado de los arrecifes de coral en Puerto Rico.

En páginas anteriores, este documento instituye las **Recomendaciones para implantar medidas en el manejo de los arrecifes de coral en Puerto Rico** donde dos de los puntos de discusión recomiendan:

1. Establecer un programa consistente de monitoreo e investigación que esté dirigido a desarrollar una base de datos científicos que pueda sustentar las prioridades para el manejo de los arrecifes de coral en Puerto Rico. Para esto se necesita:
 - a) determinar cambios de límite aceptable dentro de las áreas de alto uso recreativo y/o comercial,
 - b) desarrollar indicadores para establecer niveles de impacto antropogénico.

2. Cuantificar la pérdida de arrecifes de coral y hábitat esencial (sistemas asociados a los arrecifes de coral, como los son las praderas de yerbas marinas):
 - a) establecer las causas de las mermas
 - b) desarrollar prácticas de manejo para estas actividades.

Aunque discutido anteriormente, reiteramos que existe una necesidad urgente de realizar un estudio comprensivo y cuantitativo de las praderas de yerbas marinas y arrecifes de coral a lo largo de la plataforma insular de Puerto Rico. Sin esta información no es posible documentar adecuadamente la extensión de estos hábitats, tampoco es posible identificar aquellos que pueden resultar particularmente críticos a varias etapas de vida de especies de organismos de importancia comercial o recreativa ni seleccionar la mejor localización para establecer reservas marinas en el futuro. Además esta información es esencial en el proceso de instituir áreas para proyectos de restauración de arrecifes de coral y yerbas marinas.

El tópico relacionado a la pesca, como parte de los componentes de manejo establecidos en las **Estrategias de acción local para la protección de los arrecifes de coral en Puerto Rico**, ha establecido una serie de proyectos de investigación necesarios para el desarrollo de un buen manejo de las pesquerías de arrecifes de coral:

1. Identificación de indicadores y parámetros necesarios para designar áreas de no pesca (uso para hábitat/estudios de zonificación en reservas naturales).

2. Diseño de programas de monitoreo para las zonas de no pesca.

3. Desarrollar medidas para la restauración de hábitat basada en la cuantificación de la pérdida de arrecifes de coral y hábitat esencial para peces.
4. Inventario del estado de las pesquerías.
5. Establecer un programa de monitoreo para cuantificar los esfuerzos de colección de peces ornamentales por colectores no-comerciales e identificar las áreas y temporadas de captura.

Por otro lado, el tema de contaminación por fuentes terrígenas dentro de los tópicos de interés especial definidos en los componentes de manejo establecidos en las ***Estrategias de acción local para la protección de los arrecifes de coral en Puerto Rico*** establece entre sus metas el promover e implementar el manejo integral de las cuencas hidrográficas y de uso de tierras para reducir la pérdida de cobertura de coral vivo. Se establecen una serie de prioridades investigativas que presentamos a continuación:

1. Continuar monitoreando áreas de arrecifes de coral, incluyendo los lugares establecidos por el DRNA.
2. Caracterizar y monitorear los sedimentos suspendidos en áreas de arrecifes llanos y cercanos a la costa y analizar el posible impacto de estos sobre los arrecifes de coral en Puerto Rico.
3. Desarrollar un protocolo de investigación para evaluar la efectividad de las medidas de control de erosión en las costas.
4. Llevar a cabo monitoría y análisis de datos de cobertura de coral y poblaciones de peces alrededor de las reservas naturales.
5. Desarrollar indicadores y protocolos para evaluar la condición de los arrecifes de coral y las amenazas que reciben de fuentes de contaminación de origen terrígeno.
6. Determinar el impacto de los sedimentos suspendidos en la atenuación de luz y la fisiología de los corales.
7. Llevar a cabo análisis de costo-beneficio de los diferentes sistemas financieros y de manejo de áreas marinas que se encuentran bajo programas de manejo.
8. Llevar a cabo evaluaciones de impacto antropogénico en áreas de arrecifes de coral que reciben un número alto de visitantes y definir que se considera un número alto de visitantes por un tamaño determinado de extensión de área.

La discusión de Usos Recreativos dentro de las ***Estrategias de acción local para la protección de los arrecifes de coral en Puerto Rico*** recomienda mediante los proyectos descritos a continuación,

el establecimiento de programas de monitoría y desarrollo de protocolos de investigación para determinar impactos antropogénicos:

1. Estimar el daño causado a los arrecifes de coral por anclaje, encallamientos y pisotear (trampling) en las siguientes áreas: La Cordillera, Guánica, Canal Luis Peña y La Parguera.
2. Caracterización y monitoreo de daño mecánico a las praderas de yerbas marinas en el área de la reserva natural Arrecifes de La Cordillera.
3. Identificar las áreas impactadas por el encallamiento de embarcaciones recreativas en La Cordillera, Guánica, Canal Luis Peña y La Parguera.

En la sección **3.0 Invertebrados asociados a los arrecifes y a la roca viva** se discute la siguiente información recopilada del Plan de Manejo del Consejo de Administración Pesquera del Caribe donde se establece que se conoce poco de la biología general de los grupos de invertebrados que componen nuestras comunidades de arrecifes de coral. De la perspectiva de manejo es de particular interés, la consideración de reclutamiento y tasas de crecimiento al menos en lo que se refiere a las especies más utilizadas por la industria de acuario; por ejemplo *Condylactis* y estrellas quebradizas. Debido a que muchas especies tienen tasas de crecimiento lentas y reclutamiento episódico, se necesitan datos para determinar los niveles de rendimiento óptimo para una explotación sustentable. En el proceso de determinar niveles de cosecha aceptables también es necesario considerar los niveles de interdependencia que existen entre varias especies. Por ejemplo, los camarones limpiadores habitan en las anémonas de mar y la remoción en exceso de estas anémonas puede impactar la salud de los peces del arrecife que dependen de estos servicios de limpieza. Actualmente se desconoce la distribución a nivel isla de estas especies de invertebrados marinos asociados a comunidades de arrecifes de coral. Dada la naturaleza sésil de muchos de los invertebrados asociados a los arrecifes, se espera que éstos sean tan vulnerables como los corales a condiciones de baja calidad de agua y otras perturbaciones.

Reconocemos que todavía se necesita información a cerca de la biología general de innúmeros grupos de invertebrados que componen nuestras comunidades de arrecifes de coral incluyendo el reclutamiento y las tasas de crecimiento de muchos de estos. Por lo tanto se recomienda el establecimiento de proyectos de investigación dirigidos a:

1. Analizar los datos de exportación de invertebrados marinos durante los últimos diez años para establecer cuáles son las especies de mayor explotación comercial actualmente y el número de individuos exportados.
2. Un inventario a nivel isla para determinar las especies de invertebrados marinos asociados a comunidades de arrecifes de coral y la distribución de éstas.

3. Determinar mecanismos de reclutamiento, tasas de crecimiento y los niveles de interdependencia que existen al menos para las especies más utilizadas por la industria de acuarios como pueden ser *Condylactis* y estrellas quebradizas.
4. Establecer los niveles de rendimiento óptimo para una explotación sustentable de las especies de mayor importancia comercial.

F. Implantación

El gobierno y el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico enfrentan un gran reto ante la necesidad de conservar, preservar y restaurar diversos ecosistemas marinos incluyendo a los arrecifes de coral. Los presupuestos que se presentan a continuación son cifras considerables y los fondos disponibles provienen en su mayoría de diversos programas subvencionados por NOAA; aquellos proyectos en busca de fondos probablemente también serán asistidos por NOAA. Tenemos que comenzar a diseñar estrategias financieras para lograr programas de manejo sustentables que no dependan de fondos externos y así poder garantizar su continuidad.

Como punto de partida recomendamos establecer una cuota ambiental de \$7.00 a los registros de embarcaciones hasta 24', de \$14.00 a las embarcaciones de 25' a 45' y de \$25.00 a las embarcaciones mayores de 45' de eslora. Esta cuota recaudará de \$400,000 a \$500,000 dólares por año que deben ser utilizados estrictamente en proyectos de manejo de recursos marinos dando prioridad a los arrecifes de coral y a las yerbas marinas. Estos fondos podrían subvencionar programas de vigilancia continua y permanente en áreas de alto impacto recreativo y ayudar a muchos otros proyectos que necesitan fondos operacionales. Se recomienda además establecer cuotas por el uso de boyas de amarre para cubrir el costo de mantenimiento de éstas y desarrollar un programa para el buen uso de las boyas. Se recomienda revisar los programas de manejo de boyas de amarre del Sistema de Parques Nacionales en las Islas Vírgenes de los Estados Unidos y el Programa de Boyas de Amarre de las Islas Vírgenes Británicas.

Este documento presenta dos áreas de proyectos para el manejo de los arrecifes de coral:

- 1) *Recomendaciones para implantar medidas en el manejo de los arrecifes de coral en Puerto Rico* y
- 2) *Plan de acción para los componentes de manejo establecidos en las Estrategias de acción local para la protección de los arrecifes de coral en Puerto Rico.*

En cuanto a las *Recomendaciones para implantar medidas en el manejo de los arrecifes de coral en Puerto Rico*, estimamos que el inventario de recursos marinos establecido en el primer renglón puede completarse con unos \$200,000 dólares si se llevan a cabo simultáneamente. El *Atlas de los Arrecifes de Coral y Yerbas Marinas del Archipiélago de Puerto Rico* puede cumplirse con un presupuesto de \$70,000. El sistema de zonificación para los arrecifes de coral y las praderas de yerbas marinas es parte de la tarea 309 del Programa de Zona Costanera del DRNA, tiene

presupuesto asignado y se encuentra en progreso. El establecer un programa de monitoreo e investigación dirigido a obtener datos científicos para determinar prioridades en el manejo de los arrecifes de coral en Puerto Rico debe contar con un presupuesto de unos ciento cincuenta mil dólares por año mientras que el desarrollar un programa para alcanzar las metas y objetivos establecidos en el plan de acción para los componentes de manejo establecidos en las *Estrategias de acción local para la protección de los arrecifes de coral* debe contar con al menos unos setenta mil dólares por año y debe extenderse al menos por cinco años.

I. Inventarios de recursos marinos en Puerto Rico

Es importante llevar a cabo los siguientes inventarios de recursos marinos en el archipiélago de Puerto Rico:

a) Arrecifes de coral

El *Inventario de Arrecifes de Coral de Puerto Rico* se llevó a cabo en 1979 (Goenaga y Cintrón, 1979), hace unos 28 años. Existen estudios que se han llevado a cabo por regiones pero no se ha llevado a cabo un nuevo inventario de arrecifes de coral a nivel de toda la Isla. A finales de la década de los 90's, Puerto Rico se integró a la iniciativa de arrecifes de coral y comenzó a hacer una evaluación cuantitativa de las comunidades de arrecifes de coral en áreas designadas como Reserva Natural (García, *et al* 2001a y b). La falta de información histórica cuantitativa de las comunidades arrecifales en las áreas de las Reservas Naturales ha afectado la habilidad de detectar, documentar y monitorear mejor los cambios en su salud ecológica. Una limitación de estos estudios es que no se están monitoreando todas las áreas inventariadas en 1979. Por tal razón, existe la necesidad de repetir el inventario y expandir la red de monitoreo hacia dichas áreas.

El esfuerzo de caracterizar los hábitats bénticos de Puerto Rico, por parte de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica junto al DRNA y la academia, se concentró en todas las áreas costeras hasta 50 metros de profundidad, usando el sonar de pulso múltiple (multi-beam sonar).

Los hallazgos indican que existen variaciones marcadas entre agregaciones de comunidades bénticas y pelágicas en diferentes hábitats y profundidades. Por otro lado, se documentó que los hábitats asociados a arrecifes de aguas profundas son importantes lugares de alimentación y residencia para una variedad de especies de tortugas. La abundancia de las tortugas y su gran tamaño lo evidenciaron. De igual forma, resultaron ser un hábitat importante para las especies pelágicas migratorias. Debido al estado saludable de meros ("groupers"), especialmente los cherna y guajiles y pargos, peto y dorado, el Dr. García recomendó el cierre permanente de pesca en estas áreas.

b) Praderas de yerbas marinas

Una reducción de yerbas marinas afecta el desarrollo y crecimiento de muchos organismos que dependen de éstas. Las yerbas marinas tienen una gran capacidad para retener sedimentos y su pérdida implica una reducción en la calidad del agua, lo que eventualmente conlleva a que estas áreas se convierten en zonas desprovistas de vida marina.

Las yerbas marinas de Vieques, exceptuando las presentes en las áreas que anteriormente fueron utilizadas como zonas de tiro por la Marina de Estados Unidos, se han caracterizado y monitoreado, como parte de los esfuerzos del Departamento. Los mapas béticos preparados para Puerto Rico por NOAA incluyen el ecosistema de yerbas marinas. Los mismos constituirían una base para desarrollar mapas más detallados sobre este recurso.

c) Áreas de roca viva

Determinar las especies de invertebrados marinos asociados a comunidades de arrecifes de coral y la distribución de éstas alrededor de Puerto Rico.

Aunque se han caracterizado y monitoreado muchas áreas de valor ecológico significativo, existe una necesidad urgente de realizar estudios de las praderas de yerbas marinas y arrecifes que todavía no se han documentado cuantitativamente a lo largo de toda la plataforma insular de Puerto Rico. Esta información resultaría valiosa para documentar mejor la extensión de estos hábitats y para ayudar a identificar aquellos que pueden resultar particularmente críticos a varias etapas de vida de especies de organismos de importancia comercial o recreativa o seleccionar la mejor localización para establecer reservas marinas en el futuro. La colección de esta información, al igual que una mayor densificación de transectos y estaciones, en las áreas ya monitoreadas y a un mayor número de profundidades, especialmente mayores a los 20 metros, más allá del veril promedio y en donde se conoce que se encuentran corales saludables, complementarían adecuadamente los esfuerzos actuales. Dicha información constituye una prioridad investigativa para el manejo de los recursos marinos alrededor de la isla. Dada la probabilidad de que los hábitats de arrecifes están generalmente limitados en su distribución, el DRNA los considera “hábitats significativos de distribución limitada”. Es importante robustecer las prácticas de manejo específicas para éstos.

V. Desarrollar el Atlas de los Arrecifes de Coral y Yerbas Marinas del Archipiélago de Puerto Rico.

En el 2001, el Programa de Biogeografía de la NOAA publicó un CD-ROM titulado *Los Hábitats Béticos de Puerto Rico y las Islas Vírgenes de los E.U.* Este trabajo consiste de una colección de mapas béticos de las costas y mosaicos de fotos aéreas georeferenciadas e incluye una

clasificación de los hábitats bénticos en dichas regiones. El *Atlas de los Arrecifes de Coral y Yervas Marinas del Archipiélago de Puerto Rico* debe utilizar como base los mapas bénticos publicados por NOAA y debe llevar a cabo visitas e investigaciones de campo para corroborar y corregir (“groundtruthing”) estos mapas. Este trabajo se debe realizar en conjunto con el *Inventario de Arrecifes de Coral de Puerto Rico*. Esta información es necesaria para documentar adecuadamente la extensión de los hábitats, para identificar aquellos que pueden resultar particularmente críticos a varias etapas de vida de especies de organismos de importancia comercial o recreativa y para seleccionar la mejor localización de reservas marinas en el futuro. Además, esta información es esencial en el proceso de instituir áreas para proyectos de restauración de arrecifes de coral y yerbas marinas.

VI. Establecer un sistema de zonificación para los arrecifes de coral y las praderas de yerbas marinas en Puerto Rico.

Existe el reglamento para la zonificación de la zona costanera y acceso a las playas y costas de Puerto Rico (Reglamento de Planificación #17), el cual se diseñó como una guía para controlar el uso y desarrollo de la zona costanera en Puerto Rico. Mediante este reglamento los distritos de zonificación establecidos por la Junta de Planificación pueden ser utilizados para controlar, entre otros, el desarrollo de la tierra, el fondo oceánico, las aguas marítimas, los arrecifes de coral, isletas e islas adyacentes dentro de nueve millas de aguas costeras. Dentro de este sistema se estableció el distrito para la conservación de los recursos para clasificar áreas como bahías bioluminiscentes, manglares, parques marinos, arrecifes de coral, hábitats naturales para especies en peligro de extinción y otras áreas de interés especial que deben ser protegidas para observación, estudios científicos y el uso controlado y limitado de facilidades y/o lugares recreativos.

La aprobación y adopción de mapas de la zona costanera utilizando las designaciones de este reglamento le permitirá a la Junta de Planificación, al Departamento de Recursos Naturales y Ambientales y a cualquier otro instrumento gubernamental utilizar estas nuevas herramientas como política pública para el manejo de los recursos costeros. Urge incluir los arrecifes de coral y las praderas de yerbas marinas existentes en las costas de Puerto Rico dentro del sistema de zonificación para áreas sumergidas en Puerto Rico.

Recientemente, el DRNA hizo un análisis y recomendaciones de zonificación de humedales, incluyendo los arrecifes de coral, de Puerto Rico. Se está trabajando con los mapas para que formen parte del análisis. Se espera que esta información sea sometida a la Junta de Planificación, para su consideración y aprobación.

VII. Programa de Monitoreo e Investigación

La meta del Programa de Monitoreo e Investigación es instituir un programa consistente de monitoreo e investigación que esté dirigido a desarrollar una base de datos científicos que pueda sustentar las prioridades para el manejo de los arrecifes de coral en Puerto Rico. La base de datos, deberá incluir, por ejemplo, los cambios de límite aceptable dentro de las áreas de alto uso recreativo y/o comercial e indicadores para establecer niveles de impacto antropogénico. Es

necesario además cuantificar la pérdida de arrecifes de coral y hábitat esencial (sistemas asociados a los arrecifes de coral), establecer las causas y desarrollar prácticas de manejo para estas actividades. Además, será necesario diseñar un programa de monitoreo para evaluar la efectividad de la eventual implementación de las zonas de no-pesca y de otras reservas.

El DRNA cuenta con un programa de monitoreo de arrecifes de coral en áreas de Reservas Naturales. El Dr. Jorge García Sais fue contratado por la agencia para realizar las caracterizaciones cuantitativas iniciales, las cuales se llevaron a cabo durante los años 1997 a 1999. En el 2000, personal del Departamento monitoreó parte de las estaciones identificadas. A partir de 2001, el Departamento ha contratado al Dr. García para dar continuidad al monitoreo. Se recomienda desarrollar internamente esfuerzos de monitoreo a largo plazo, luego de que se invierta en adiestrar y desarrollar personal de la agencia y en la compra y mantenimiento de equipo. Ello permitiría que el personal del DRNA tenga conocimiento directo constantemente sobre las condiciones de los arrecifes de coral, lo que ayudaría a una mejor toma de decisiones dirigidas a la protección del recurso, en cualquier momento. Igualmente, presentaría una oportunidad de expandir o complementar esfuerzos existentes.

1. La Pesquería en Puerto Rico

- Producir altas resoluciones batimétricas y mapas de hábitats de 20 m.
- Evaluar la bio-economía de las costas y los beneficios de los reglamentos comunes de pesca (e.g., límites de tamaño, áreas cerradas, y temporadas cerradas asociadas con agregaciones de desoves) y de la efectividad de estas regulaciones.
- Evaluar la distribución, abundancia y el rol ecológico de las especies que se comercializan en los acuarios y de los impactos asociados a sus extracciones.
- Identificar áreas esenciales para aprovechar los suelos para hacer viveros de peces.
- Determinar el valor económico de la pesca comercial y recreativa.
- Determinar el nivel de compromiso y dependencia de las comunidades en ecosistemas de arrecifes de coral, percepciones, y preferencias con respecto a la utilización e identificar métodos para integrar la información dependiente de la pesca en los procesos de manejo.
- Proteger, conservar y mejorar la recuperación para proteger, especies amenazadas y adaptar otras. Carrucho, langosta espinosa, y pulpo.
- Evaluar la subsistencia comercial y recreacional de la pesca del caracol., el pulpo y la langosta y las regulaciones adecuadas existentes.
- Caracterizar las poblaciones dinámicas, la utilización del hábitat aislamiento y patrón del movimiento de carruchos, langostas y pulpos en lugares adecuados

factores antropogénicos que exacerban los impactos de un número de estresores naturales como los huracanes., blanqueamiento del coral y las enfermedades de los corales. La zona de la costa es manejada por el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales, pero la determinación fundamental con el Plan de Manejo de la Zona Costanera para Puerto Rico es responsabilidad de la Junta de Planificación. La Junta de Calidad Ambiental monitorea la calidad del agua, en parte es una certificación completa del programa de calidad de agua, y de la Administración de Reglamentos y Permisos de los reglamentos o regulaciones para determinar el uso y el desarrollo de la zona costanera puede resultar en impactos en los cuerpos de agua, incluyendo los humedales, es también regulado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos. El Departamento de Recursos Naturales de Puerto Rico y el Concilio de Manejo de Pesquería del Caribe. Parte de esta responsabilidad para manejar 24 MPA's. En un esfuerzo para convertir una pesquería colapsada dentro de una sustentable. El Gobierno de Puerto Rico puede promulgar reglamentos de para una nueva pesquería que requiera licencias de de pesca recreativa, prohibir el uso de los arpones en la pesca recreativa cuando se bucea, establecer un límite de tamaño para la cuota diaria de distintas especies, requerir permisos para especies específicas de alto valor y especies sensitivas, y crear MPA's alrededor de las Islas de Mona, Monito, y Desecheo, en la Laguna del Condado. Material introductorio fue tomado, con modificaciones pequeñas, de Kelty (2004).

- Desarrollar y apoyar proyectos de acuicultura que minimicen el impacto de la pesca en los ecosistemas de arrecifes de coral, abastecer, comunidades donde exista la pesca.
- Evaluar los impactos socioeconómicos de los proyectos de acuicultura en las comunidades donde exista la pesca.
- Determinar la viabilidad de las poblaciones de peces de los arrecifes con importancia comercial y recreacional para ayudar en su recuperación.
- Evaluar el impacto de las operaciones nuevas y existentes de acuicultura (especialmente de viveros de peces), con énfasis en la introducción de enfermedades, genéticas, impactos en el hábitat, y el estatus del conjunto de peces.

2. La Contaminación en Puerto Rico

- Reducir el impacto de los contaminantes en los ecosistemas de arrecifes de coral para mejorar el entendimiento de sus efectos.
- Desarrollar modelos internos de circulación para Puerto Rico, para entender y predecir el destino y el efecto de los nutrientes y otros contaminantes.
- Determinar el impacto del vertedero Municipal de Culebra en el lado este de la Reserva Natural del Canal Luis Peña.
- Determinar el impacto del alto uso de las marinas en áreas con pobre circulación de agua.

- Evaluar el efecto del desperdicio de agua de las descargas de las plantas de tratamiento y de aguas negras que entran en los cuerpos de agua adyacentes a los ecosistemas de los arrecifes de coral.
- Mejorar la calidad del agua contribuyendo a reducir los contaminantes con base en tierra y los impactos en los ecosistemas de los arrecifes de coral.
- Desarrollar Mejores Prácticas de Manejo (BMP's) con relación a áreas tropicales para reducir o eliminar la alta prioridad de fuentes de contaminación y evaluar la efectividad de implantar medidas (e.g., erosión y reglamentos de control de sedimentos).
- Evaluar el rol de los humedales de costa en la reducción de contaminantes antes de su liberación dentro del ambiente marino.
- Evaluar la calidad del agua, su impacto en los ecosistemas de los arrecifes de coral en relación con los cambios en tierra y el uso de marinas en áreas costeras.

3. Usos de las Costas en Puerto Rico

- Reducir el impacto del uso recreacional, industrial, desarrollo costero, y marítimo de las embarcaciones en los ecosistemas de los arrecifes de coral
- Designar y conducir proyectos demostrativos para evaluar las opciones de manejo establecidas científicamente para mejorar la estabilidad de la orilla mientras da mantenimiento a las funciones de los ecosistemas de los arrecifes de coral.
- Determinar el impacto en la orilla y distante de la orilla del desarrollo costanero en los ecosistemas de arrecifes de coral.
- Balancear el uso del recurso para minimizar conflictos por los usuarios, proveer usos equitativos, y garantizar beneficios óptimos para las presentes y futuras generaciones.
- Conducir una valoración económica para los ecosistemas de arrecifes de coral (incluyendo el hábitats de los mangles y las hiervas marinas) en Puerto Rico.
- Proteger, conservar y mejorar la recuperación, protección y amenaza de otras especies fundamentales.

a. Acropóridos

- Identificar el hábitat crítico de las especies de Acropora en Puerto Rico, incluyendo la distribución histórica y común de las poblaciones de los acropóridos y los factores que afectan su extensión especial.
- Identificar las causas directas de mortandad (e.g., enfermedad, depredación y tormentas) para los acropóridos, el rol de los estresores antropogénicos en el incremento de su susceptibilidad o resistencia a estos factores, y el beneficio de las medidas de manejo existentes y nuevas al mitigar la amenaza y reconstruir las poblaciones de acropóridos.
- Evaluar la efectividad de los viveros de Acropora cervicornis como herramienta de restauración, incluyendo implicaciones potenciales de traslado de estos corales a la costa sur de Culebra.

b. Tortugas Marinas

- Determinar el impacto del continuo desarrollo alrededor de la Isla de Culebra en las tortugas verdes y su hábitat.
- Reducir los impactos de y la restauración del daño de embarcaciones ancladas y tiradas.
- Evaluar el alcance y el impacto de daños causados por encallamientos , anclajes, Pisadas del ser humano en los arrecifes de coral y su hábitats asociados
- Desarrollar recomendaciones para medidas de restauración del hábitat de los arrecifes de coral basadas en la calidad del hábitat y el potencial para el éxito.
- Evaluar la efectividad de los planes de manejo existentes para las reservas naturales, para determinar la fuerza o la intensidad con que vengan estos planes garantizados.
- Determinar si existen áreas de manejo que faciliten la recuperación para proteger otras especies fundamentales amenazadas, incluyendo al carrucho, el mero, y la langosta.

4. Especies Invasoras en Puerto Rico

- Minimizar la introducción y la extensión de las especies extranjeras.
- Controlar y erradicar las especies invasivas que tengan el potencial de causar daño a ecosistemas de los arrecifes de coral .
- Determinar la distribución y abundancia del árbol del libro de rústica e identificar su impacto en los humedales de la costa.
- Determinar la distribución y la abundancia de la iguana verde e identificar su impacto en los hábitats y los potenciales métodos de control y erradicación de esta fuera de la introducción de las especies amenazadas.
- Determinar el efecto de los árboles de Pino de Casuarina en nidos de tortugas en poblaciones alrededor de Isla de Mona, y los beneficios de programas eliminados para mejorar la calidad del hábitat costero.

5. Cambios Climáticos en Puerto Rico

- Mejorar la capacidad de pronosticar y responder a los eventos de blanqueamiento.
- Desarrollar e implantar un protocolo de respuesta rápida para caracterizar y manejar futuros eventos de blanqueamientos.

6. Eventos Extremos en Puerto Rico

- Identificar las causas y las consecuencias de enfermedad en los ecosistemas de arrecifes de coral y mitigar sus impactos.
- Evaluar las diferencias en la prevalencia de enfermedades, incidencia e impactos entre la profundidad y los arrecifes y los ubicados en la orilla, y su relación con otros estresores ambientales.

- Reducir los impactos para y promover la restauración de los organismos de arrecifes de coral afectados por eventos extremos.
- Desarrollar un modelo para predecir impactos potenciales de tormentas para el hábitat de los arrecifes de coral incluyendo factores tales como extensiones espaciales y el grado del daño causado por las tormentas; intensidad de las tormentas, velocidad, y trayectoria; y las características bénticas del hábitat.
- Identificar los factores que se necesitan para dirigirse a mejorar la recuperación de los arrecifes de coral, para seguir los daños causados por los huracanes y las tormentas.

VIII. *Estrategias de acción local para la protección de los arrecifes de coral*

A continuación una descripción de cada una de las estrategias locales desarrolladas e implementadas para manejar los arrecifes de corales en los pasados cuatro años.

1. Educación y concienciación pública

El programa de educación tiene que desarrollarse dentro de un contexto abarcador que incluya proyectos de educación formal e informal y que logre alcanzar a la ciudadanía en general. El programa de concienciación pública dentro de los tópicos de interés especial definidos en los componentes de manejo establecidos en las ***Estrategias de acción local para la protección de los arrecifes de coral en Puerto Rico***, provee diecisiete proyectos excelentes para el comienzo de un programa de educación. Además el enfoque dirigido a la pesca ha desarrollado doce proyectos relacionados a la concienciación pública, el tópico relacionado a la contaminación por fuentes terrígenas ha definido ocho proyectos y el tema relacionado a usos recreativos tiene cuatro proyectos dirigidos al proceso de concienciación pública. El reto permanece en elaborar un proceso de evolución continua donde los proyectos de alto impacto puedan desarrollarse en estrategias duraderas. Tenemos que desarrollar tácticas de concienciación que integren conceptos de mercadeo. Aún las marcas de mayor volumen de ventas nunca dejan de anunciarse y trabajan continuamente en el desarrollo de presentaciones y eventos creativos que agraden al consumidor. De igual manera los programas de educación ambiental tienen que mantenerse creativos y en evolución continua si pretenden ser efectivos a largo plazo.

El programa de concienciación pública dentro de las ***Estrategias de acción local para la protección de los arrecifes de coral en Puerto Rico***, cuenta con proyectos que destacan las áreas de:

- ✓ interacción ciudadana
- ✓ educación escolar
- ✓ educación pública
- ✓ educación a usuarios del recurso: navegantes y buzos
- ✓ comunicación gubernamental

El programa de concienciación pública cuenta con cuatro proyectos que resaltan la interacción ciudadana; uno de éstos lleva a cabo reuniones con comunidades costeras para discutir la importancia de los arrecifes de coral y los esfuerzos que se están llevando a cabo para protegerlos,

otro desarrolla talleres regionales para administraciones municipales con el fin de establecer estrategias de comunicación entre agencias gubernamentales y comunidades costeras. También hay proyectos para establecer acuerdos cooperativos entre comunidades y gobierno para la conservación de ecosistemas marinos en diferentes regiones de Puerto Rico e identificar criterios para desarrollar una evaluación del conocimiento, las actitudes y el comportamiento del público hacia los arrecifes de coral.

Para la educación escolar se definieron tres proyectos; uno para revisar materiales educativos que hacen referencia a los arrecifes de coral con contenido relevante a Puerto Rico y re-imprimir materiales educativos relacionados a los ecosistemas de arrecifes de coral, otro para llevar a cabo una serie de talleres de entrenamiento para maestros de quinto a séptimo grado en diferentes regiones de la Isla para discutir estrategias educativas en el estudio de los arrecifes de coral y cómo éstas pueden ser integradas al currículo regular y un proyecto de educación con CD interactivo en el área de arrecifes de coral.

Dirigidos a la educación pública hay detalladas cuatro actividades que incluyen identificar y contactar cincuenta negocios costeros y/o industrias marítimas que deseen ser parte de los esfuerzos de concienciación para la conservación de los arrecifes de coral mediante la distribución de materiales educativos; escribir artículos educativos referentes a los arrecifes de coral en periódicos y revistas locales, grabar y distribuir anuncios de servicio público para la radio aludiendo la conservación de los arrecifes de coral y desarrollar un sistema de letreros en referencia a las diferentes maneras de proteger los ecosistemas marinos costeros.

En cuanto a la educación a usuarios del recurso, se han descrito tres proyectos para navegantes y buzos que incluyen: incorporar información referente a nuestros ambientes costeros y a prácticas de navegación compatibles con el medioambiente en los cursos de navegación del DRNA; seleccionar literatura educativa para distribución al público en Navegación (registro de embarcaciones), recaudación y otras designadas para emitir las licencias de pesca, preparar seis talleres referentes a los arrecifes de coral y ofrecerlos a una audiencia de instructores, operadores, dueños de embarcaciones y tiendas de buceo a cerca de la importancia ecológica y económica de los arrecifes de coral.

Las iniciativas para la comunicación gubernamental están representadas en tres proyectos que procuran desarrollar un directorio de todas las agencias estatales y federales, universidades y agencias no-gubernamentales que trabajan en asuntos relacionados a la conservación y el manejo de los arrecifes de coral; organizar agencias estatales, federales y organizaciones no-gubernamentales para llevar a cabo reuniones para el personal a cargo del manejo de proyectos relacionados a los arrecifes de coral y llevar a cabo un foro cada cuatro años para intercambio de información entre la comunidad científica y los legisladores.

2. Sobre-Pesca

El enfoque dirigido a la pesca incluye una serie de proyectos diseñados para diseminar información acerca de los nuevos reglamentos de pesca y problemas en las pesquerías, entre estos:

llevar a cabo una serie de talleres a usuarios a cerca del nuevo reglamento de pesca, completar talleres de orientación a pescadores recreativos en referencia a las leyes de pesca estatales y federales, desarrollar alianzas con entidades sin fines de lucro y promover iniciativas dirigidas a la concienciación pública para reducir el impacto de la pesca comercial y recreativa; establecer alianzas con municipios costeros a través de sus programas educativos para informar a los usuarios a cerca de la importancia del nuevo reglamento de pesca tanto comercial como recreativa y desarrollar materiales educativos para distribución pública referentes al impacto causado a los arrecifes de coral por la colección ilegal de peces ornamentales e invertebrados. Además incluye proyectos para instruir a los dueños de embarcaciones en el uso de sistemas para la recuperación de anclas y diseminar información acerca de las boyas de amarre a los dueños de tiendas de buceo, operadores de botes de alquiler, instructores de navegación, personal de turismo y otros grupos interesados. Otros proyectos orientados a la concienciación pública dentro del tópico de las pesquerías incluyen llevar a cabo talleres para establecer un equipo de trabajo con personal del DRNA y grupos de usuarios respecto al desarrollo e implementación de un plan de manejo para áreas de no-pesca dentro de reservas naturales y una serie de proyectos dirigidos al Cuerpo de Vigilantes que son materia de discusión bajo el programa de vigilancia.

3. Contaminación por Fuentes Dispersa Terrígenas

El tema de la contaminación por fuentes terrígenas ha establecido proyectos orientados a establecer vías de comunicación con diversos grupos, por ejemplo: ofrecer talleres a dueños de terrenos y agricultores para fomentar la conservación de la capa vegetativa como medida de planificación para el control de la erosión y la calidad del agua en las cuencas hidrográficas, llevar a cabo talleres en el área de uso de tierras y evaluación de impactos acumulativos al personal técnico de las agencias estatales y municipales; desarrollar un programa comunitario para mejorar el uso de sistemas de pozos sépticos en los municipios de Añasco y Culebra, llevar a cabo campañas educativas a estudiantes y el público en general para prevenir la contaminación por fuentes dispersas y desarrollar un currículo escolar para la prevención de la contaminación por fuentes dispersas. Por otro lado el *Programa Aguas Limpias, Marinas Limpias* ofrece a los nautas talleres y materiales educativos sobre buenas prácticas ambientales en la navegación mientras que un estudio del uso de pesticidas y fertilizantes químicos en los campos de golf desarrolla materiales educativos para entrenar el personal a cargo del mantenimiento de los campos de golf a implementar prácticas efectivas y responsables con el ambiente. Además se está desarrollando un modelo computarizado para prevenir la contaminación costera proveniente de plantas de tratamiento y aguas de escorrentías en el municipio de Patillas que integra prácticas educativas para oficiales gubernamentales y líderes comunitarios en el área de contaminación por fuentes dispersas.

4. Mal uso y sobre uso recreativo de los recursos

El tópico referente a usos recreativos instituye una serie de proyectos de concienciación pública dirigidos a nautas y usuarios de los recursos costeros como desarrollar mapas y materiales educativos de las áreas de arrecifes de coral que reciben un alto impacto recreativo para ser

distribuidos en las reservas de La Cordillera, Guánica, Canal Luís Peña y La Parguera; coordinar y proveer materiales educativos referentes a los arrecifes de coral a diversos grupos recreativos, desarrollar una campaña educativa respecto a prácticas en el buceo compatibles con el ambiente y desarrollar la campaña “Adopte una Boya”.

Ha sido reconocido la importancia de la vigilancia y el desarrollo de un programa científico para implementar un programa de conservación de arrecifes de coral comprensivo.

Vigilancia

El DRNA debe establecer un programa de vigilancia intensa en las áreas que reciben mayor impacto a consecuencia de actividades recreativas y de inspecciones rigurosas para el control de sedimentos y descargas de aguas usadas en proyectos costeros y cercanos a las riberas de los ríos. El sistema de zonificación para ecosistemas costeros, una vez sea aprobado por la Junta de Planificación, debe servir de guía para identificar áreas prioritarias para el programa de vigilancia. Además, todas las reservas y refugios costeros deben encabezar la lista de prioridades para este programa. Un sistema de vigilancia intenso debe incluir patrullajes nocturnos y durante todos los fines de semana. Se recomienda establecer proyectos pilotos en la Reserva de La Cordillera en Fajardo, Reserva del Canal Luis Peña en Culebra, Guánica, Parguera, Cabo Rojo y Mayagüez.

Programa científico

A continuación presentamos una guía de veintidós proyectos que constituyen el programa científico, éste equilibra las áreas donde se necesita información científica para comenzar el desarrollo de un manejo estructurado de los arrecifes de coral en Puerto Rico.

En páginas anteriores, este documento instituye las *Recomendaciones para implantar medidas en el manejo de los arrecifes de coral en Puerto Rico* donde dos de los puntos de discusión recomiendan:

1. Establecer un programa consistente de monitoreo e investigación que esté dirigido a desarrollar una base de datos científicos que pueda sustentar las prioridades para el manejo de los arrecifes de coral en Puerto Rico. Para esto se necesita:
 - a) determinar cambios de límite aceptable dentro de las áreas de alto uso recreativo y/o comercial,
 - b) desarrollar indicadores para establecer niveles de impacto antropogénico.

2. Cuantificar la pérdida de arrecifes de coral y hábitat esencial (sistemas asociados a los arrecifes de coral, como los son las praderas de yerbas marinas):
 - a) establecer las causas de las mermas
 - b) desarrollar prácticas de manejo para estas actividades.

Aunque discutido anteriormente, reiteramos que existe una necesidad urgente de realizar un estudio comprensivo y cuantitativo de las praderas de yerbas marinas y arrecifes de coral a lo largo de la plataforma insular de Puerto Rico. Sin esta información no es posible documentar adecuadamente la extensión de estos hábitats, tampoco es posible identificar aquellos que pueden resultar particularmente críticos a varias etapas de vida de especies de organismos de importancia comercial o recreativa ni seleccionar la mejor localización para establecer reservas marinas en el futuro. Además esta información es esencial en el proceso de instituir áreas para proyectos de restauración de arrecifes de coral y yerbas marinas.

El tópico relacionado a la pesca, como parte de los componentes de manejo establecidos en las ***Estrategias de acción local para la protección de los arrecifes de coral en Puerto Rico***, ha establecido una serie de proyectos de investigación necesarios para el desarrollo de un buen manejo de las pesquerías de arrecifes de coral:

1. Identificación de indicadores y parámetros necesarios para designar áreas de no pesca (uso para hábitat/estudios de zonificación en reservas naturales).
2. Diseño de programas de monitoreo para las zonas de no pesca.
3. Desarrollar medidas para la restauración de hábitat basada en la cuantificación de la pérdida de arrecifes de coral y hábitat esencial para peces.
4. Inventario del estado de las pesquerías.
5. Establecer un programa de monitoreo para cuantificar los esfuerzos de colección de peces ornamentales por colectores no-comerciales e identificar las áreas y temporadas de captura.

Por otro lado, el tema de contaminación por fuentes terrígenas dentro de los tópicos de interés especial definidos en los componentes de manejo establecidos en las ***Estrategias de acción local para la protección de los arrecifes de coral en Puerto Rico*** establece entre sus metas el promover e implementar el manejo integral de las cuencas hidrográficas y de uso de tierras para reducir la pérdida de cobertura de coral vivo. Se establecen una serie de prioridades investigativas que presentamos a continuación;

1. Continuar monitoreando áreas de arrecifes de coral, incluyendo los lugares establecidos por el DRNA.
2. Caracterizar y monitorear los sedimentos suspendidos en áreas de arrecifes llanos y cercanos a la costa y analizar el posible impacto de estos sobre los arrecifes de coral en Puerto Rico.

3. Desarrollar un protocolo de investigación para evaluar la efectividad de las medidas de control de erosión en las costas.
4. Llevar a cabo monitoría y análisis de datos de cobertura de coral y poblaciones de peces alrededor de las reservas naturales.
5. Desarrollar indicadores y protocolos para evaluar la condición de los arrecifes de coral y las amenazas que reciben de fuentes de contaminación de origen terrígeno.
6. Determinar el impacto de los sedimentos suspendidos en la atenuación de luz y la fisiología de los corales.
7. Llevar a cabo análisis de costo-beneficio de los diferentes sistemas financieros y de manejo de áreas marinas que se encuentran bajo programas de manejo.
8. Llevar a cabo evaluaciones de impacto antropogénico en áreas de arrecifes de coral que reciben un número alto de visitantes y definir que se considera un número alto de visitantes por un tamaño determinado de extensión de área.

La discusión de Usos Recreativos dentro de las *Estrategias de acción local para la protección de los arrecifes de coral en Puerto Rico* recomienda mediante los proyectos descritos a continuación, el establecimiento de programas de monitoría y desarrollo de protocolos de investigación para determinar impactos antropogénicos:

1. Estimar el daño causado a los arrecifes de coral por anclaje, encallamientos y “trampling” en las siguientes áreas: La Cordillera, Guánica, Canal Luis Peña y La Parguera.
2. Caracterización y monitoreo de daño mecánico a las praderas de yerbas marinas en el área de la reserva natural Arrecifes de La Cordillera.
3. Identificar las áreas impactadas por el encallamiento de embarcaciones recreativas en La Cordillera, Guánica, Canal Luis Peña y La Parguera.

En la sección **3.0 Invertebrados asociados a los arrecifes y a la roca viva** se discute la siguiente información recopilada del Plan de Manejo del Consejo de Administración Pesquera del Caribe donde se establece que se conoce poco de la biología general de los grupos de invertebrados que componen nuestras comunidades de arrecifes de coral. De la perspectiva de manejo es de particular interés, la consideración de reclutamiento y tasas de crecimiento al menos en lo que se refiere a las especies más utilizadas por la industria de acuario; por ejemplo *Condylactis* y estrellas quebradizas. Debido a que muchas especies tienen tasas de crecimiento lentas y reclutamiento episódico, se necesitan datos para determinar los niveles de rendimiento óptimo para una explotación sustentable. En el proceso de determinar niveles de cosecha aceptables también es necesario considerar los niveles de interdependencia que existen entre varias especies. Por ejemplo, los camarones limpiadores habitan en las anémonas de mar y la remoción en exceso de estas anémonas puede impactar la salud de los peces del arrecife que dependen de estos servicios

de limpieza. Actualmente se desconoce la distribución a nivel isla de estas especies de invertebrados marinos asociados a comunidades de arrecifes de coral. Dada la naturaleza sésil de muchos de los invertebrados asociados a los arrecifes, se espera que éstos sean tan vulnerables como los corales a condiciones de baja calidad de agua y otras perturbaciones.

Reconocemos que todavía se necesita información a cerca de la biología general de innúmeros grupos de invertebrados que componen nuestras comunidades de arrecifes de coral incluyendo el reclutamiento y las tasas de crecimiento de muchos de estos. Por lo tanto se recomienda el establecimiento de proyectos de investigación dirigidos a:

1. Analizar los datos de exportación de invertebrados marinos durante los últimos diez años para establecer cuáles son las especies de mayor explotación comercial actualmente y el número de individuos exportados.
2. Un inventario a nivel isla para determinar las especies de invertebrados marinos asociados a comunidades de arrecifes de coral y la distribución de éstas.
3. Determinar mecanismos de reclutamiento, tasas de crecimiento y los niveles de interdependencia que existen al menos para las especies más utilizadas por la industria de acuarios como pueden ser *Condylactis* y estrellas quebradizas.
4. Establecer los niveles de rendimiento óptimo para una explotación sustentable de las especies de mayor importancia comercial.

Programa de financiamiento e implantación:

El Gobierno de Puerto Rico y el DRNA enfrentan un gran reto ante la necesidad de conservar, preservar y restaurar diversos ecosistemas marinos incluyendo a los arrecifes de coral. Los presupuestos que se presentan a continuación son cifras considerables y los fondos disponibles provienen en su mayoría de diversos programas subvencionados por NOAA; aquellos proyectos en busca de fondos probablemente también serán asistidos por NOAA. Tenemos que comenzar a diseñar estrategias financieras para lograr programas de manejo sustentables que no dependan de fondos externos y así poder garantizar su continuidad. Como punto de partida recomendamos establecer una cuota ambiental de \$7.00 a los registros de embarcaciones hasta 24', de \$14.00 a las embarcaciones de 25' a 45' y de \$25.00 a las embarcaciones mayores de 45' de eslora. Esta cuota recaudará de \$400,000 a \$500,000 dólares por año que deben ser utilizados estrictamente en proyectos de manejo de recursos marinos dando prioridad a los arrecifes de coral y a las yerbas marinas. Estos fondos podrían subvencionar programas de vigilancia continua y permanente en áreas de alto impacto recreativo y ayudar a muchos otros proyectos que necesitan fondos operacionales. Se recomienda además establecer cuotas por el uso de boyas de amarre para cubrir el costo de mantenimiento de éstas y desarrollar un programa para el buen uso de las boyas. Se recomienda revisar los programas de manejo de boyas de amarre del Sistema de Parques

Nacionales en las Islas Vírgenes de los Estados Unidos y el Programa de Boyas de Amarre de las Islas Vírgenes Británicas.

Este documento presenta dos áreas de proyectos para el manejo de los arrecifes de coral:

- 1) ***Recomendaciones para implantar medidas en el manejo de los arrecifes de coral en Puerto Rico*** y
- 2) ***Plan de acción para los componentes de manejo establecidos en las Estrategias de acción local para la protección de los arrecifes de coral en Puerto Rico.***

En cuanto a las ***Recomendaciones para implantar medidas en el manejo de los arrecifes de coral en Puerto Rico***, estimamos que el inventario de recursos marinos establecido en el primer renglón puede completarse con unos \$200,000 dólares si se llevan a cabo simultáneamente. El *Atlas de los Arrecifes de Coral y Yervas Marinas del Archipiélago de Puerto Rico* puede cumplirse con un presupuesto de \$70,000. El sistema de zonificación para los arrecifes de coral y las praderas de yerbas marinas es parte de la tarea 309 del Programa de Zona Costanera del DRNA, tiene presupuesto asignado y se encuentra en progreso. El establecer un programa de monitoreo e investigación dirigido a obtener datos científicos para determinar prioridades en el manejo de los arrecifes de coral en Puerto Rico debe contar con un presupuesto de unos ciento cincuenta mil dólares por año mientras que el desarrollar un programa para alcanzar las metas y objetivos establecidos en el plan de acción para los componentes de manejo establecidos en las *Estrategias de acción local para la protección de los arrecifes de coral* debe contar con al menos unos setenta mil dólares por año y debe extenderse al menos por cinco años.

A continuación presentamos los presupuestos estimados de los proyectos definidos en el ***Plan de acción para los componentes de manejo establecidos en las Estrategias de acción local para la protección de los arrecifes de coral en Puerto Rico.*** Se estima un costo de \$2,687,693 dólares para los treinta y ocho proyectos bajo el área de pesca. Respecto a la contaminación por fuentes terrígenas se estiman \$1,055,000 dólares para los veintitrés proyectos. Los catorce proyectos descritos para atender asuntos relacionados a usos recreativos conllevaban un presupuesto de \$1,020,000. El plan que se estableció para la concienciación pública consta de diecisiete proyectos, con un presupuesto estimado de \$340,000.

IX. Monitoreo

El DRNA estableció el primer ciclo de monitoría del programa de arrecife de coral en el 2001 (Nemeth, 2002) para un total de 18 arrecifes de coral dentro de siete Reservas Naturales designadas. Dentro de las áreas monitoreadas se han establecido 12 estaciones de muestreo en cada arrecife o reserva, las cuales son monitoreadas cada dos años. En un principio se estableció dicha frecuencia basada en los datos obtenidos para las reservas bajo estudio.

Las Reservas bajo estudio son las siguientes:

- a. Isla de Desecho – Arrecife Puerto de botes

- b. Mayagüez – Arrecife Tourmaline
- c. Guánica – Arrecife Cayo Coral
- d. Ponce – Derrumbadero
- e. Ponce – Caja de Muertos
- f. Rincón – Tres Palmas
- g. Fajardo – La Cordillera
- h. Cabo Rojo – Reserva Natural Boquerón (El Palo, Resuellos, Gallardo)
- i. Lajas – La Parguera (La Boya, Margarita y Canjilones)
- j. Isla de Mona – (Playa de Pájaros, Las Mujeres y las Carmelitas)

Entre las conclusiones del informe de PR al Estado de los Ecosistemas de Arrecifes de Coral en el 2005, (García et al, 2005) se establece que la salud de los arrecifes de coral depende de aguas de alta transparencia durante todo el año y protegidos de alta energía de las olas. Los ríos representan la mayor fuente de carga de materiales terrígenos sobre los corales. Además reportaron no haber ningún cambio en la estructura de la comunidad, ni en la cobertura de coral vivo luego de haber completado el primer ciclo de monitoria (2002 al 2004) de 16 de los 18 arrecifes incluidos en el programa. A comienzos del segundo ciclo (2005 al 2006) se detectó una baja dramática en la cobertura de corales vivos en la Reserva del Canal Luis Peña correlacionado con el brote de colonización de cianobacterias del substrato de los arrecifes sin precedentes (García et al, 2005). En el 2005 se reportó el evento de blanqueamiento más severo en nuestras aguas con el resultado una alta mortandad y pérdida de cobertura de coral vivo en varias arrecifes de coral alrededor de Puerto Rico (Hernández, 2005; García et al, 2006). Asociado a este evento de blanqueamiento un brote de enfermedades causado un incremento en la mortalidad de corales que sufrieron blanqueamiento durante el periodo del verano de 2005 al verano de 2006 (Weil et al, 2007).

Burke & Maidens (2004) establecen que más del noventa por ciento de los arrecifes en Puerto Rico están en peligro y de éstos un ochenta por ciento están en alto riesgo por lo que se encuentran entre los arrecifes más amenazados del Caribe.

A. *Métodos*

Un total de cinco transectos permanentes de 10-m de longitud fueron establecidos a las siguientes profundidades: 5, 10 y 20 m en Arrecife Tres Palmas (Rincón). El esquema de muestreo incluye zonas a profundidades de 3-5 m (cresta del arrecife), 10-12 m (plataforma de sustrato duro) y 18-20 m (veril). Se realiza una evaluación inicial exploratoria del área con un eco-sonda, además de inspección visual por un buzo. Con estos dos métodos se seleccionan las secciones más representativas del sistema arrecifal a ser caracterizado. En el arrecife del Tourmaline en Mayagüez se monitorea a 10, 20 y 30 m de profundidad de cinco sets de transectos permanentes en cada profundidad. Puerto Canoas en Isla Desecheo ha sido monitoreado en un set existente de cinco transectos permanentes a 30 m. El arrecife de Puerto Botes (Isla Desecheo) es monitoreado en los sets de transectos permanentes a profundidades de 15 y 20 m.

X. Evaluación

Componentes Bióticos y Valor Ecológico del Área

Conflictos de uso

Debido a la importancia socioeconómica de los arrecifes, de los organismos asociados a éstos y de las praderas de yerbas marinas, existe un gran potencial de conflicto de uso. Por ejemplo, existe una gran preocupación de parte de los pescadores comerciales por la recolección de organismos que lleva a cabo la industria de acuarios, pues el comercio de animales marinos para la industria de acuarios puede afectar la pesca comercial al remover especies que sirven de presa o especímenes juveniles de especies de peces que se utilizan con fines comerciales (Benedetti, 1991). Los altos niveles de sedimentación en los arrecifes es motivo de preocupación para los operadores de buceo, al igual que la recolección de peces vivos y otras prácticas de pesca comercial y recreativa que pueden degradar los arrecifes que buscan sus clientes.

Límites de Capacidad

Se requiere una definición de sobrepesca para dirigir los esfuerzos de manejo para determinar si la capacidad de un abasto para mantenerse mediante sus estrategias reproductivas puede ser destruida por la pesca. La meta de la definición de sobrepesca es poder obtener el rendimiento óptimo (OY), por sus siglas en inglés.

El rendimiento óptimo y el rendimiento máximo sostenible (MSY), por sus siglas en inglés, para los corales pétreos, octocorales (Cnidaria), roca viva y praderas de hierbas marinas es cero, excepto cuando es autorizado para actividades relacionadas a la investigación científica, educación y restauración. Se ha determinado que el uso más efectivo de estos recursos es el de no-consumo; pues sirven de hábitat, proveen alimento y albergue a diversas especies de peces, langostas y caracoles; al manatí y a las tortugas marinas, ambos grupos en peligro de extinción. Debido a su distribución limitada, crecimiento y regeneración lenta, estos recursos deben ser manejados como no-renovables y como hábitats limitados de consideración especial.

En Puerto Rico está prohibida la colección de corales y de roca viva excepto cuando existe un permiso. Además es necesario establecer límites en referencia a la capacidad de acarreo de las áreas que gozan de una gran popularidad y reciben un alto número de visitantes y nautas.

Problemas de las pesquerías relacionadas a los arrecifes de coral

Sobrepesca

La sobrepesca se define como un nivel de cosecha anual que excede el rendimiento óptimo (OY).

Corales pétreos, octocorales, roca viva y praderas de hierbas marinas

Como se mencionó anteriormente, el rendimiento óptimo para corales pétreos, octocorales, roca viva y praderas de hierbas marinas se establece en cero excepto cuando es autorizado para propósitos científicos o de restauración. El mayor valor de estos recursos es como hábitat para organismos asociados y/o dependientes del arrecife; como zona de amortiguamiento contra los procesos de erosión costera y por su valor estético para turistas y actividades recreativas de no-consumo. Dado el largo proceso de regeneración para la mayoría de las especies y su distribución geográfica limitada, éstos se consideran recursos no-renovables para los cuales un rendimiento óptimo de cero es el único nivel aceptable para asegurar que no existe una pérdida neta. La protección de las yerbas marinas es crítica pues éstas son áreas de forraje para los manatíes, una especie en peligro de extinción.

Colección de otros organismos invertebrados asociados al arrecife

No existe información respecto a la abundancia natural de los organismos invertebrados asociados al arrecife, los niveles sustentables de recolección o cosecha o de las cantidades precisas que están siendo colectadas. Los números estimados de organismos exportados sólo proveen información mínima respecto al estimado de organismos colectados en Puerto Rico ya que no se ha realizado una evaluación y se desconoce la cantidad de organismos recolectados que están destinados para el comercio local. La falta de datos no permite establecer un nivel de rendimiento óptimo; sin embargo existe gran preocupación de que ocurra un aumento en la demanda de organismos y aumente la cosecha. La experiencia en otros lugares ha demostrado que la cosecha de organismos sin control tiene el potencial de reducir la abundancia de ciertas especies en el arrecife como ocurrió con la estrella de mar de las Bahamas en la Florida y la estrella de mar *Acanthaster planci* en Sri Lanka (Wood, 1985). Se debe llevar a cabo un esfuerzo para obtener suficientes datos para estimar el rendimiento óptimo y el rendimiento máximo sostenible. Es urgente obtener información acerca de los organismos invertebrados del arrecife para determinar su abundancia, niveles actuales y sustentables de cosecha y mortalidad inducida por captura; en especial para las especies más explotadas como la anémona *Condylactis spp.* y las estrellas quebradizas. Bajo el reglamento de pesca se exige que los colectores de organismos para la industria de acuarios posean licencia de pesca comercial y como tal deben rendir las estadísticas de pesca que requiere el DRNA. Se recomienda que se establezca un programa de monitoria independiente para corroborar los reportes sometidos por los colectores de organismos.

G. Identificación de Asuntos Condicionantes al Manejo del Área Natural, Estrategias, Metas y Objetivos

A nivel federal, existe un Plan de Manejo de pesca para los arrecifes de coral y las plantas e invertebrados asociados a los arrecifes. A nivel local, existen prácticas de manejo para los corales y la roca viva. Actualmente no existe manejo para las praderas de yerbas marinas ni para los organismos invertebrados asociados al arrecife. La vulnerabilidad de estos organismos y sus respectivos ecosistemas a las intervenciones humanas en su medioambiente y a los efectos de las actividades procedentes de fuentes terrígenas, hacen crítica la necesidad de establecer estrategias de manejo consistentes en las áreas donde éstos se encuentran. Además, dada la importancia de los arrecifes de coral y las yerbas marinas para otras pesquerías, tanto recreativas como comerciales, su protección es de importancia para este recurso. Las pesquerías comerciales y recreativas también pueden impactar el ecosistema del arrecife pues la sobrepesca de ciertas especies pueden crear un disturbio en el balance biológico natural que existe entre la interacción de organismos co-dependientes. Por ejemplo, la sobrepesca de peces carnívoros interrumpe el balance de las comunidades de peces produciendo un número excesivo de herbívoros que pone en peligro el reclutamiento de nuevas especies de corales en sustratos altamente pastoreados por el alto número de peces herbívoros.

Actualmente se encuentra en revisión lo que se convertirá en el Reglamento de la Ley Número 147 conocida como la ***Ley para la protección, conservación y manejo de los arrecifes de coral en Puerto Rico***. Este reglamento provee nuevas estrategias para la protección y uso de los recursos del arrecife de coral. El Programa de Iniciativa de Arrecife de Coral ha identificado el Plan Estratégico de Acción Local de Implementación para proteger los arrecifes de coral. Este plan está acorde con el Plan Nacional de Implementación de Acción Estratégica.

Además el desarrollo de este Plan de Manejo provee una guía de proyectos de prioridad que se deben llevar a cabo a corto plazo y así establecer los cimientos de una estrategia de manejo a largo plazo para los arrecifes de coral en Puerto Rico.

XI. Referencias

- Acevedo, R. and J. Morelock. 1988. Effects of terrigenous sediment influx on coral reef zonation in southwestern Puerto Rico. pp. 2: 189-184. In: Proceedings of the 6th International Coral Reef Symposium, Australia.
- Adey, W. H. 1978. Coral reef morphogenesis: a multidimensional model. *Science* 202: 831.
- AGRRA (Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment). 2003. AGRRA surveys in Eastern Puerto Rico, including Fajardo, Culebra, and Vieques. Final report submitted to NOAA's Office of Habitat Conservation. 25 pp.
- Armstrong, R. 1981. Changes in a Puerto Rican coral reef from 1936-1979 using aerial photoanalysis. pp. (1) 309-315. In: Proceedings of the fourth International Coral reef symposium, Manila.
- Antonius, A. 1981. Coral reef pathology – A review. pp. 3-6. In: Proceedings of the 4th International Coral Reef Symposium.
- Appeldoorn, R., J. Beets, J. Bohnsack, S. Bolden, D. Matos, S. Meyers, A. Rosario, Y. Sadovy, and W. Tobias. 1992. Shallow water reef fish stock assessment for the U.S. Caribbean. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-304. 70 pp.
- Ballantine, D.L. 1984. Hurricane-induced mass mortalities to a tropical sub-tidal algal community and subsequent recoveries. *Marine Ecology Progress Series* 20: 75-83.
- Barnes, R.D. 1987. *Invertebrate Zoology*. W. B. Saunders, Philadelphia.
- Benedetti, M. 1991. Una "cacería" que nos cuesta muy cara: el aniquilamiento de nuestros recursos pesqueros. *Boletín Marino, Programa de Colegio Sea Grant, Univ. Puerto Rico, Mayagüez* 12(4):1-3.
- Bruckner, A.W. 1999. Black-band disease (BBD) of scleractinian corals: occurrence, impacts and mitigation. Ph.D. Thesis for University of Puerto Rico. 286 pp.
- Bruckner, A.W. and R.J. Bruckner. 1997. Outbreak of coral disease in Puerto Rico. *Coral Reefs* 16: 260.
- Bruckner, A.W. and R.J. Bruckner. 2001. Condition of Restored *Acropora palmata* Fragments off Mona Island, Puerto Rico, Two Years after the Fortuna Reefer Ship Grounding. *Coral Reefs* 20: 235-243.
- Bruckner, A.W. and R.J. Bruckner. 2004. Impact of yellow-band disease (YBD) on remote reefs off Mona Island, Puerto Rico. pp. (1) 218. In: Tenth International Coral Reef Symposium.

- Bunkley-Williams, L. and E. H. Williams. 1987. Coral reef bleaching peril reported. *Oceanus* 30 (4): 71.
- Bunkley-Williams, L., J. Morelock, and E. H. Williams. 1991. Lingering effects of the 1987 mass bleaching of Puerto Rican coral reefs in mid to late 1988. *Journal of Aquatic Animal Health* 3 (4): 242-247.
- Bunkley-Williams, L. and E.H. Williams, Jr. 1994. Parasites of Puerto Rican Freshwater Sport Fishes. Puerto Rico Department of Natural and Environmental Resources, San Juan and Department of Marine Sciences, University of Puerto Rico, Mayagüez. 168 pp.
- Bunkley-Williams, L., E.H. Williams, Jr., C.G. Lilyestrom, I. Corujo-Flores, A. J. Zerbi, C. Aliaume and T.N. Churchill. 1994. The South American sailfin armored catfish, *Liposarcus multiradiatus* (Hancock), a new exotic established in Puerto Rican fresh waters. *Caribbean Journal of Science* 30: 90-94.
- Burke, L. y J. Maidens. 2004. Reefs at Risk in the Caribbean. World Resources Institute, Washington, DC. 80 pp.
- CARICOMP. 1996. Caribbean Coastal Marine Productivity: a research and monitoring network of marine laboratories, parks and reserves. pp. 1-6. In: CARICOMP Papers, Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium. Data Management Center, Centre for Marine Sciences, University of the West Indies, Mona, Kingston, Jamaica. CSA/CH2M HILL Group.
1999. Quality Assurance Project Plan and Sampling and Analysis Protocols for the Arecibo RWWTP 301 (h) Waiver Demonstration Studies. Submitted to the USEPA by the Puerto Rican Aqueduct and Sewer Authority. Volumen 2.
- Caribbean Fishery Management Council. 1994. Fishery Management Plan, Regulatory Impact Review and Final Environmental Impact Statement for Corals and Reef Associated Plants and Invertebrates of Puerto Rico and the United States Virgin Islands.
- Caribbean Fishery Management Council. 1998. Essential Fish Habitat Generic Amendment to the Fishery Management Plans (FMPs) of the U.S. Caribbean Including a Draft Environmental Assessment. October 1998.
- Caribbean Fishery Management Council. 1999. Amendment Number 1 to the Fishery Management Plan for Corals and Reef Associated Plants and Invertebrates of Puerto Rico and the United States Virgin Islands for Establishing a Marine Conservation District including Regulatory Impact Review and Initial Regulatory Flexibility Analysis and a Final Supplemental Environmental Impact Statement.
- Caribbean Fishery Management Council. 2004. Final Environmental Impact Statement For The Generic Essential Fish Habitat Amendment to: Spiny Lobster Fishery Management Plan, Queen Conch Fishery Management Plan, Reef Fish Fishery Management Plan, Coral Fishery Management Plan for the U.S. Caribbean

- Caribbean Fishery Management Council. 2005. Amendment to the Fishery Management Plans (FMPs) of the U.S. Caribbean to Address Required Provisions of the Magnuson-Stevens Fishery Conservation and Management Act.
- Carpenter, K.E., R.I. Míclat, V.D. Albaladejo y V.J. Corpuz. 1981. The influence of substrate structure on the local abundance and diversity of Philippine reef fishes. Proc. Fourth Intl. Coral Reef Symp, Manila 2: 497-502.
- Colin, P.L. 1978. Caribbean reef invertebrates and plants. T. F. H. Publications, Inc. Ltd. Neptune City, N. J.
- Davis, M, E. Gladfelter, H. Lund, and M. Anderson. 1986. Geographic range and research plan for monitoring white band disease. Virgin Islands Resource Management Cooperative. Biosphere Reserve Research Report 6. 28 pp.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico. 2001. Guía Práctica de Leyes, Reglamentos y Órdenes Administrativas relacionados con los corales y ambientes asociados. 51 pp.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico. 1998. Guías de Reforestación para las Cuencas Hidrográficas de Puerto Rico.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico, Servicio Forestal, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Instituto para Puerto Rico. 71 pp.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico. 1999. Puerto Rico and the Sea. 112 pp.
- Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico, Administración Oceánica y Atmosférica Nacional. 2005. Puerto Rico Report on Local Action Strategies to Protect Coral Reefs. 55 pp.
- Ehringer, J.N. and F.J. Webb, Jr. 1992. Assessment of "Live Rock" harvesting in Tampa Bay. Project Report, Florida Sea Grant. pp. 20.
- EQB. 1990. Goals and progress of statewide water quality management planning, Puerto Rico. 1988-1990. Environmental Quality Board, prepared for the Office of the Governor, Commonwealth of Puerto Rico, San Juan, PR.
- Florida Marine Fisheries Commission. 1991. Review of Policy Decisions: Amendments to Chapter 46-42 "Marine Life". Tallahassee, Florida. Presented to a meeting of the Commission in Miami, Florida, December, 1991.
- Fonseca, M.S., W.J. Kenworthy, and G.W. Thayer. 1992. Seagrass beds: nursery for coastal species. In: R. H. Stroud, (ed.) Stemming the tide of coastal fish habitat loss. Marine Recreational Fisheries 14. pp. 141-147.

- Davis, M, E. Gladfelter, H. Lund, and M. Anderson. 1986. Geographic range and research plan for monitoring white band disease. Virgin Islands Resource Management Cooperative. Biosphere Reserve Research Report 6. 28 pp.
- García-Sais, J.R. and R. Castro. 1995. Characterization of marine communities associated with reefs and seagrass/algal beds in San Juan Bay and Ensenada Boca Vieja, Palo Seco. Report to Grammatges and Associates, Inc.
- García-Sais, J., R. Castro y J. Sabater. 2001a. Coral Reef Communities from Natural Reserves in Puerto Rico: a quantitative baseline assessment for prospective monitoring programs. Volumen 1: Cordillera de Fajardo, Isla Caja de Muertos, Bosque Seco de Guánica, Bahía de Mayagüez. Final report submitted to the US Coral Reef Initiative and DNER. Unp. 1-231.
- García-Sais, J., R. Castro, J. Sabater y M. Carlo. 2001b. Coral Reef Communities from Natural Reserves in Puerto Rico: a quantitative baseline assessment for prospective monitoring programs. Volumen 2: Cabo Rojo, La Parguera, Isla Desecheo, Isla de Mona. Final report submitted to the US Coral Reef Initiative and DNER. Unp. 1-134 p.
- García-Sais, J., R. Castro, J. Sabater y M. Carlo. 2001c. Coral Reef Communities from Natural Reserves in Puerto Rico: a quantitative baseline assessment for prospective monitoring programs. Volume 3: Ponce, Guayanilla, Guayama, Arroyo. Final report submitted to the US Coral Reef Initiative and DNER. Unp. 1-134 p.
- García-Sais, J., R. Castro, J. Sabater y M. Carlo. 2001d. Baseline characterization of coral reef and seagrass communities from Isla de Vieques, Puerto Rico. Final report submitted to the US Coral Reef Initiative and DNER. Unp. 1-111 p.
- García-Sais, J.R., R. Castro, J. Sabater, and M. Carlo. 2004. Inventory and atlas of corals and coral reefs, with emphasis on deep-water coral reefs from the U. S. Caribbean EEZ. Caribbean Fisheries Management Council. San Juan, Puerto Rico. 36 pp.
- García-Saís, J, R. Appeldoorn, A. Bruckner, C. Caldow, J. Christensen, C. Lilyestrom, M. E. Monaco, J. Sabater, E. Williams, E. L. Díaz. 2005. Chapter 5. The state of the coral reef ecosystem of the Commonwealth of Puerto Rico. Pages 91-134. In: J. Waddell (ed.), *The State of Coral Reef Ecosystems of the United States and Pacific Freely Associated States: 2005*. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 11. NOAA/NCCOS Center for Coastal Monitoring and Assessment's Biogeography Team. Silver Spring, MD. 522 pp.
- García-Sais, J., R. Castro, J. Sabater, R. Esteves y M. Carlo. 2006. Monitoring of coral reef communities from natural reserves in Puerto Rico, 2006 : Isla Desecheo, Rincón, Mayagüez Bay, Guánica, Ponce and Isla Caja de Muerto. Final Report DNER. Unp. 1-151 p.
- García-Sais, J.R. and J. Sabater. 2004. Distribución y caracterización biológica de los principales hábitats marinos en la Reserva Natural de La Parguera, Lajas, PR. Informe Final. DRNA, San Juan, Puerto Rico. 140 pp.

- Garrison, L.E. and M.W. Buell. 1971. Sea-floor structure of the eastern Greater Antilles. pp. 240-245. In: Symposium on Investigations and Resources of the Caribbean Sea and Adjacent Regions. UNESCO.
- Gilbes, F., R.A. Armstrong, R.M.T. Webb and F. Muller-Karger. 2001. SeaWiFS helps assess Hurricane impact on phytoplankton in the Caribbean Sea. EOS, Transactions, American Geophysical Union 82 (45): 529-533.
- Glover, L. III. 1967. Geology of the Coamo area, Puerto Rico; with comments on Greater Antillean volcanic island arc-trench phenomena. U. S. Geological Survey. 329 pp.
- Glynn, P.W., L.R. Almodovar, and J.G. González. 1964. Effects of Hurricane Edith on marine life in La Parguera, Puerto Rico. Caribbean Journal of Science 4: 335-345.
- Goenaga, C. and G. Cintrón. 1979. Inventory of the Puerto Rican Coral Reefs. Department of Natural Resources, San Juan, Puerto Rico. 190 pp.
- Goenaga, C., V. Vicente, and R. Armstrong. 1989. Bleaching induced mortalities in reef corals from La Parguera, Puerto Rico; a precursor of change in the community structure of coral reefs? Caribbean Journal of Science 25: 59-65.
- Goenaga, C. and M. Canals. 1990. Island-wide coral bleaching in Puerto Rico: 1990. Caribbean Journal of Science 26: 171-175.
- Goenaga, C. and R.H. Boulon, Jr. 1991. The State of Puerto Rican and U.S. Virgin Islands Corals. Caribbean Fishery Management Council, Hato Rey, Puerto Rico. 66 pp.
- Goenaga, C. and R.H. Boulon, Jr. 1992. The state of Puerto Rican and U. S. Virgin Island corals: an aid to managers. Report submitted to the Caribbean Fish. Mgt. Council. February, 1992. pp.66.
- Goreau, T.F. 1964. Mass expulsion of zooxanthellae from Jamaican reef communities after Hurricane Flora. Science 145: 383-386.
- Grana Raffucci, Felix A. 1993. Catálogo de nomenclatura de los moluscos de Puerto Rico e Islas Vírgenes. DNR, PR.
- Hall, K., J. Rafols, N. Memeth, and J. Rowland. 1999. Puerto Rico's northwestern reefs: Maintaining unstressed conditions. Punta Borinquen and Desecheo Reef Monitor Update. Reef Keeper International. 5 pp. Available from the Internet URL http://www.reefkeeper.org/CRM/DownloadSite/Puerto_Rico/DesecheoRMU/RMUBorinquenDesecheoS99.pdf.

- Hernández-Delgado, E.A. 1992. Coral reef status of northeastern and eastern Puerto Rican waters: Recommendations for long-term monitoring, restoration and a coral reef management plan. Submitted to the CFMC, Dec. 1. 1992 at 76th CFMC meeting. pp. 87.
- Hernández-Delgado, E.A. University of Puerto Rico. Rio Piedras, Puerto Rico. Personal communication. Hernández-Delgado, E.A. 1992. Coral reef status of northeastern and eastern Puerto Rican waters: recommendations for long-term monitoring, restoration and management. Caribbean Fishery Management Council, Hato Rey, Puerto Rico. 87 pp.
- Hernández-Delgado, E. and L. Alicea-Rodríguez. 1993. Blanqueamiento. Pérdida de pigmentos y recuperación en los cnidarios de la costa este de Puerto Rico entre el 1992 y 1993. pp. 73. In: Proceedings of the 12th Symposium on Caribbean Fauna and Flora, University of Puerto Rico, Humacao. Abstract Volume.
- Hernández Delgado, E.A. and L. Alicea Rodríguez. 1993 a. Estado ecológico de los arrecifes de coral en la costa este de Puerto Rico: I. Bahía Demajagua, Fajardo, y Playa Candelerero, Humacao. Proceedings of the 12th Symposium of the Caribbean Fauna and Flora. University of Puerto Rico, Humacao. 2 pp.
- Hernández Delgado, E.A. and L. Alicea Rodríguez. 1993 b. Blanqueamiento, pérdida de pigmentos y recuperación en los cnidarios de la costa este de Puerto Rico entre el 1992 y 1993. Proceedings of the 12th Symposium of the Caribbean Fauna and Flora. University of Puerto Rico, Humacao. 73 pp.
- Hernández-Delgado, Edwin A. 2003. Coral Reef Ecological Change Long-Term Monitoring Program of the Luis Peña Channel No-Take Natural Reserve, Culebra Island, Puerto Rico: I. Status of the coral reef epibenthic communities (1997-2003). Final Report to DNER. 165 pp.
- Hernández-Delgado, E.A. 2005. Informe preliminar sobre el blanqueamiento masivo de corales de la Reserva Natural La Cordillera, Fajardo, durante el mes de septiembre de 2005. Informe al DRNA. Unpub. 1-7p.
- Highsmith, R.C. 1980. Geographic patterns of coral bioerosion: a productivity hypothesis. *J. Exp. Mar. Biol.*, 46:77-96.
- Hill, J., C. Wilkinson. 2004. *Methods for Ecological Monitoring of Coral Reefs*. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Queensland. 115 pp.
- Hixon, M.A. y J.P. Beets. 1993. Predation, prey refuges and the structure of coral reef fish assemblages. *Ecol. Monog.* 63 (1): 77-101.
- Howard, L.S. and B.E. Brown. 1984. Heavy metals and reef corals. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 22:195-210.
- Hughes, T.P., D.C. Reed, and M.J. Boyle. 1987. Herbivory on coral reefs: community structure following mass mortalities of sea urchins. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 113: 39- 59.

- International Workshop on Coral Reef Monitoring Data. 2003. Penang, Malaysia. CD-ROM
- Implementation of the National Coral Reef Action Strategy. 2005. Report to Congress. Report on US Coral Reef Task Force Agency Activities from 2002 to 2003. USDoC, NOAA, USCRTE. 1-115 pp.
- Kenchington, R.A. and B. Salvat. 1988. Man's threat to coral reefs. In: Coral Reef Management Handbook, Unesco Regional Office for Science and Technology for Southeast Asia. New York: UNESCO.
- Kinzie, R.A. 1971. The ecology of the gorgonians (Cnidaria, Octocorallia) of Discovery Bay, Jamaica. PhD Diss., Tale Univ., pp. 107.
- Limbaugh, C. 1961. Cleaning symbiosis. *Sci. Am.* 205:42-49.
- Loya, Y. 1976. Effects of water turbidity and sedimentation on the community structure of Puerto Rican corals. *Bull. Mar. Sci.* 26:450-466.
- Matos-Caraballo, D., M. Cartagena-Haddock, and N. Peña-Alvarado. 2002. Comprehensive census of the marine commercial fishery of Puerto Rico 2002. Puerto Rico Department of Natural and Environmental Resources, Fishery Research Laboratory. Unpublished Report. 8 pp.
- Matta, J.L. 1981. The effects of Hurricane David on the benthic algae of a coral reef in La Parguera, Puerto Rico. M. S. Thesis for the University of Puerto Rico, Mayaguez.
- Morelock, J., N. Schneiderman and W. R. Bryant. 1977. Shelf reefs, southwestern Puerto Rico. pp. 17 – 28. In: Frost, S.H., M.P. Weiss, and J.B. Saunders (eds.) *Reefs and Related Carbonates- Ecology and Sedimentology*, American Association of Petroleum Geologists, *Studies in Geology* 4.
- Morelock, Jack, Wilson R. Ramírez, Andy W. Bruckner, and Milton Carlo. 2001. Status of Coral Reefs in Southwest Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*, Special Online Publication. Available as a PDF (<http://www.uprm.edu/biology/cjs/reefstatuspdf.pdf>) or HTML (<http://www.uprm.edu/biology/cjs/reefstatus.htm>) document.
- Morelock, J., K. Boulon, and G. Galler. 1979. Sediment stress and coral reefs: In: J.M. López (ed.) *Symposium of energy industry and the marine environment in Guayanilla Bay*: Center for Energy and Environmental Research, Univ. Puerto Rico. p 46-58.
- Myers, N. 1983. Marine life and medicine. In: *A wealth of wild species: storehouse for human welfare*. Westview Press, Boulder, Colorado.

- Morelock, J., K. Boulon, and G. Galler. 1979. Sediment stress and coral reefs: In: J.M. López (ed.) Symposium of energy industry and the marine environment in Guayanilla Bay: Center for Energy and Environmental Research, Univ. Puerto Rico. p 46-58.
- Myers, N. 1983. Marine life and medicine. In: A wealth of wild species: storehouse for human welfare. Westview Press, Boulder, Colorado.
- Nemeth, M. 2002. Monitoring data of coral reefs within Natural Reserves of Puerto Rico surveyed during 2001. Department of Natural and Environmental Resources (DNER) Internal Report. DNER, San Juan, P. R.
- Norris, M.D.B. and J.L. Wheaton. 1991. Synopsis of Live Rock Landings and Historical Review of Issues. Florida Marine Research Institute, St. Petersburg, Florida. Presented to a meeting of the Marine Fisheries Commission in Miami, Florida, December, 1991.
- Ogden, J.C. 1980. Faunal relationships in Caribbean seagrass beds. In: R.C. Phillips and C.P. McRoy (ed.). Handbook of seagrass biology: an ecosystem perspective. pp. 173-198. Garland STPM Press, New York.
- Plan para el control de la contaminación por fuentes dispersas en la zona costanera de Puerto Rico. Informe de logros, período de 1999 – 2004. Comité para el control de la contaminación por fuentes dispersas en la zona costanera de Puerto Rico; septiembre, 2004. 39 pp.
- PRNC (Puerto Rico Nuclear Center). 1972. Aguirre Power Project Environmental Studies 1972. Annual Report. Puerto Rico Nuclear Center, PRNC-162. University of Puerto Rico. 464 pp.
- Puerto Rico Tourism Co. 2002. Selected statistics of the Puerto Rico Tourism Industry in Puerto Rico. 2001-02 edition, Office of Research and Statistics, Commonwealth of Puerto Rico Tourism Company. 66 pp.
- Randall, J.E. 1967. Food habits of reef fishes of the West Indies. In: Studies. Trop. Oceanogr. 5, Miami. p. 665-847.
- Roberts, C.M. y R.F.G. Osmond. 1987. Habitat Complexity and coral reef fish diversity and abundance on Red Sea fringing reefs. Mar. Ecol. Prog. Ser. 41:1-8.
- Rogers, C.S., L. McLain, and E.S. Zullo. 1988. Recreational used of marine resources in the Virgin Islands National Park and Biosphere Reserve: trends and consequences. Biosphere Reserve research report No. 24. Prepared for the U. S. Dept. Interior and the Virgin Islands Resource Management Cooperative.
- Russ, G. 1991. Coral reef fisheries: effects and yields. In: P.F. Sale (ed.). The ecology of fishes on coral reefs. Academic Press, Inc. San Diego, California.
- Sadovy, Y. 1991. A preliminary assessment of the export trade in marine aquarium organisms in Puerto Rico. P. R. Dept. Nat. Res. Fish. Res. Lab. MS. 43 pp.

- Salvat, B. 1981. Preservation of coral reefs: scientific whim or economic necessity? Past, present and future. Proc. Fourth Int. Coral Reef Symp. 1:225-229.
- Sammarco, P.W. 1980. *Diadema* and its relationship to coral spat mortality: grazing, competition, and biological disturbance. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 45:245-272.
- Tetra Tech 1992. Characterization of use impairments of the U. S. Virgin Islands and Puerto Rico. Prepared by Tetra Tech for the U. S. Environmental Protection Agency.
- Turgeon, D.D., R.G. Asch, B.D. Causey, R.E. Dodge, W. Jaap, K. Banks, J. Delaney, B.D. Keller, R. Speiler, C.A. Matos, J.R. Garcia, E. Diaz, D. Catanzaro, C.S. Rogers, Z. Hillis-Starr, R. Nemeth, M. Taylor, G.P. Schmahl, M.W. Miller, D.A. Gulko, J.E. Maragos, A.M. Friedlander, C.L. Hunter, R.S. Brainard, P. Craig, R.H. Richond, G. Davis, J. Starmer, M. Trianni, P. Houk, C.E. Birkeland, A. Edward, Y. Golbuu, J. Gutierrez, N. Idechong, G. Paulay, A. Tafleichig, and N. Vander Velde. 2002. The State of Coral Reef Ecosystems of the United States and Pacific Freely Associated States: 2002. National Oceanic and Atmospheric Administration/National Ocean Service/National Centers for Coastal Ocean Science, Silver Spring, MD. 265 pp.
- U.S. Department of Commerce. 2002. NOAA'S Coral Reef Program, Conserve, Protect, Restore. 9 pp.
- U.S. Department of Commerce. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Service, National Centers for Coastal Ocean Science Biogeography Program. 2001. *Benthic Habitats of Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands*. CD-ROM. Silver Springs, MD.
- U.S. Department of Commerce. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Service, Office of Response and Restoration. 2003. Oil Spills in Coral Reefs, Planning and Response Considerations. 78 pp.
- Velasco, A.T., E. Weil, and A. Bruckner. 2003. Climate change and coral reef bleaching in Puerto Rico: Efforts and challenges. In: Proceedings of the Coral Reef, Climate and Bleaching Workshop, Oahu, Hawaii.
- Vicente, V.P. 1990. Response of sponges with autotrophic endosymbionts during the coral-bleaching episode in Puerto Rico. Coral Reefs 8: 199-202.
- Vicente, V. and C. Goenaga. 1984. Mass mortalities of the sea-urchin *Diadema antillarum* in Puerto Rico. Center for Energy and Environment Research. CEER-M-195: 1-26.
- Vicente, V.P. 1989. Ecological effects of sea level rise and sea surface temperatures on mangroves, coral reefs, seagrass beds and sandy beaches of Puerto Rico: A preliminary evaluation. Science-Ciencia 16: 27-39.
- Vicente, V.P. 1994a. Response of sponges with antotrophic symbionts during the coral-bleaching episode in Puerto Rico. Coral Reefs 8: 199-202.

- Vicente, V.P. 1994b. Structural changes and vulnerability of a coral reef (Cayo Enrigue) in La Parguera, Puerto Rico. pp. C39-C44 In: R. H. Ginsburg (compiler) Proceedings of the colloquium on global aspects of coral reefs: Health, hazards and history, 1993. Rosentiel School of Marine and Atmospheric Science, University of Miami, Miami.
- Vicente, V.P. 1992. A summary of ecological information on the seagrass beds of Puerto Rico. In: E. Seliger (ed.). Coastal Plan Communities of Latin America. New York Academic Press. pp.123-133.
- Vicente, V.P. 1975. Sea grass bed communities of Jobos Bay. In: Aguirre environmental studies, Jobos Bay, Puerto Rico, Final Report, pp. 27-49.
- Vicente, V.P. and C. Goenaga. 1984. Mass mortalities of the sea urchin *Diadema antillarum* (Philippi) in Puerto Rico. Center for Energy and Environmental Research (CEER-M-195).
- Vicente, V.P., R. Boulon, and T. Tallevast. 1992. Characteristics of green turtle (*Chelonia mydas*) grazing grounds in some Caribbean islands. Proc. Sea Turtle Symp. Georgia Feb. 25, 1992.
- Vicente, V.P. and N.M. Carballeira. 1991. Studies on the feeding ecology of the hawksbill turtle *Eretmochelys imbricata* in Puerto Rico. NOAA Tech. Mem. NMFS-SEFC- 302:117-119.
- Waddell, J.E. (ed.), 2005. The State of Coral Reef Ecosystems of the United States and Pacific Freely Associated States: 2005. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS 11. OAA/NCCOS Center for Coastal Monitoring and Assessment's Biogeography Team. Silver Spring, MD. 522 pp.
- Weinberg, S. 1981. A comparison of coral reef survey methods. Bijdr. Dierkd. 51:199-218.
- Wheaton, J.L. 1989. The marine-life fishery for "live rock": biological and ecological assessment of the product and implications for harvest. Florida Marine Research Institute. Flor. Dept. Nat. Res. pp. 18.
- Wilkinson, C. 2003. Coral bleaching and mortality: The 1998 event four years later and bleaching to 2002. Chapter 1 In: C. Wilkinson (ed.) Status of the coral reefs of the world: 2002. Australian Institute of Marine Sciences, Townsville.
- Williams, E.H., Jr. and L. Bunkley-Williams. 1988. Bleaching of coral reef animals in 1987-1988: An updated summary. pp. 19-21. In: J. Ogden and R. Wicklund (eds.) Mass bleaching of coral reefs in the Caribbean: A research strategy. National Undersea Research Program, NOAA, Research Report 88-2, Appendix III.
- Williams, E.H., Jr., C. Goenaga and V. Vicente. 1987. Mass bleaching on Atlantic coral reefs. Science 238: 877-878.

- Williams, E.H. Jr. and L. Bunkley-Williams. 1989. Bleaching of Caribbean coral reef symbionts in 1987-1988. pp. 3: 313-318. In: Proceedings of the 6th International Coral Reef Symposium.
- Williams, E.H., Jr. and L. Bunkley-Williams. 1990a. Coral reef bleaching alert. *Nature* 346: 225.
- Williams, E.H., Jr. and L. Bunkley-Williams. 1990b . The world-wide coral reef bleaching cycle and related sources of coral mortality. *Atoll Research Bulletin* 335: 1-71.
- Williams, E.H., Jr., L. Bunkley-Williams, E.C. Peters, J. Bauer, G. Sullivan, R.A. Bullis, J. Woodley, G. Ebanks, J.M. Grizzle, and K.E. Nusbaum. 1991. Threat to black sea urchins. *Nature* 352: 385.
- Williams, E. H., Jr. and C. J. Sindermann. 1992. Effects of disease interactions with exotic organisms on the health of the marine environment. pp. 1: 71-77. In: Proceedings of the Introductions and Transfers of Marine Species Workshop, South Carolina Sea Grant.
- Williams, E.H., Jr., L. Bunkley-Williams, and E. Bureson. 1994a. Some new records of marine and freshwater leeches from Caribbean, southeastern U.S.A., eastern Pacific, and Okinawan animals. *Journal of the Helminthological Society of Washington* 61: 133-138.
- Williams, E.H., Jr., L. Bunkley-Williams, and W.G. Dyer. 1994b. A Caribbean digenean, *Lecithophyllum pyriforme*, parasitizing an exotic fish, *Phremias bicelatus*, from Australia. *Caribbean Journal of Science* 30: 151.
- Williams, E.H., Jr., L. Bunkley-Williams, E.C. Peters, B. Pinto-Rodríguez, R. Matos-Morales, A.A. Mignucci-Giannoni, K.V. Hall, J.V. Rueda-Almonacid, J. Sybesma, I. Bonnelly de Calventi, and R.H. Boulon, 1994c. An epizootic of cutaneous fibropapillomas in green turtle, *Chelonia mydas* of the Caribbean: Part of a panzootic? *Journal of Aquatic Animal Health* 6: 70-78.
- Williams, E.H., Jr. and L. Bunkley-Williams. 2000. Caribbean marine major ecological disturbances. *Infectious Diseases Review* 2: 110-127.
- Williams, E.H., Jr., L. Bunkley-Williams, C.G. Lilyestrom, R.J. Larson, N.A. Engstrom, E.A.R. Ortiz-Corps, and J.H. Timber. 2001a. A population explosion in the rare tropical/subtropical purple sea mane, *Drymonema dalmatinum*, around Puerto Rico in the summer and fall of 1999. *Caribbean Journal of Science* 37: 127-130.
- Williams, E.H., Jr., L. Bunkley-Williams, C.G. Lilyestrom and E.A.R. Ortiz-Corps. 2001b. A review of recent introductions of aquatic invertebrates into Puerto Rico and implications for the management of nonindigenous species. *Caribbean Journal of Science* 37: 246-251.
- Winter, A., R.S. Appledorn, A. Bruckner, E.H. Williams, Jr. and C. Goenaga. 1998. Sea surface temperatures and coral reef bleaching off La Parguera, Puerto Rico (northeastern Caribbean). *Coral reefs* 17: 377-382.

- Weil, E. 2004. Coral Reef Disease in the Wider Caribbean. In: E. Rosenberg and Y. Loya (eds) Coral Health and Disease. Springer-Verlag, New York.
- Weil, E., I. Urreiztieta, and J Garzon-Ferreira. 2002. Geographic variability in the incidence of coral and octocoral diseases in the wider Caribbean. pp. (2): 1231-1237. In: Proceedings of the 9th International Coral Reef Symposium.
- Weil, E., A. Croquer, E. Irizarry, S. Griffin, and I. Urreiztieta. 2007. Status and impact of coral diseases in Puerto Rico coral reefs. Final report to DNER. 1- 37 pp.
- Wood, E. 1985. Exploitation of coral reef fishes for the aquarium trade. Report to the Marine Conservation Society. U. K. pp. 129.
- Woodley, J. D., D. Bone, K. Buchan, P. Bush, K. De Meyer, J. Garzón-Ferreira, P. Gayle, D.T. Gerace, L. Grober, E. Klein, K. Koltés, F. Losada, M.D. McField, T. McGrath, J.M. Mendes, I. Nagelkerken, G. Ostrander, L.P. J.J. Pors, A. Rodríguez, R. Rodríguez, F. Ruiz-Rentería, G. Smith, J. Tschirky, P. Alcolado, K. Bonair, J.R. Garcia, F.X. Geraldés, H. Guzman, C. Parker, and S.R. Smith. 1997. Studies on Caribbean coral bleaching, 1995-96. pp. 1: 673-678. In: Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium.
- Woodley, J. D., S. R. Smith, J. Garzón-Ferreira, K. Koltés, P. Alcolado, K. Bonair, D. Bone, K. Buchanan, P. Bush, K. de Mayer, J. R. García, P. Gayle, D. T. Gerace, F. X. Geraldés, E. Jordan-Dahlgreen, E. Knobbe, E. Klein, R. Laydoo, F. Losada, G. Ostrander, H. Oxenford, C. Parker, L.P. Pors, F. Ruiz-Rentería, J. Ryan, J. Tschirky and R. Varela. 1996. CARICOMP Monitoring of coral reefs. pp. 41-46. In: Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium. CARICOMP Data Management Center, Centre for Marine Sciences, University of the West Indies, Mona, Kingston, Jamaica
- Yoshioka, P.M. and B.B. Yoshioka. 1989. Effects of wave energy, topographic relief and sediment transport on the distribution of shallow-water gorgonians of Puerto Rico. *Coral Reefs* 8:145-152.
- Yoshioka, P.M. and B.B. Yoshioka. 1991. A comparison of the survivorship and growth of shallow-water gorgonian species of Puerto Rico. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 69:253-260.

XII. Apéndices

Apéndice A. Estatutos que establece la base legal para la creación e implementación del Plan de Manejo de los Arrecifes de Coral.

Apéndice B. Descripción de los corales que se encuentran alrededor de las aguas de Puerto Rico y Áreas Naturales Protegidas.

Apéndice C. La situación actual de las especies exóticas en los ambientes marinos de Puerto Rico

Apéndice A. Estatutos que establecen la base legal para la creación e implementación del Plan de Manejo de los Arrecifes de Coral

- 1) **Ley Número 147 de 15 de julio de 1999 - Ley para la protección, conservación y manejo de los arrecifes de coral en Puerto Rico.**
- 2) **Reglamento de Arrecifes de Coral, del 2 de febrero de 2008.**
- 3) **Resolución Conjunta de la Cámara Número 307 del 12 de julio de 2000 para proteger 3 por ciento de la plataforma insular.**
- 4) **Ley Número 278 de 29 de noviembre de 1998, Ley de Pesquerías de Puerto Rico.**
- 5) **Ley Número 115 de 15 diciembre de 1997 – Ley para la promoción y el desarrollo de la pesca deportiva y recreacional de PR.**
- 6) **Reglamento Número 6768 – Reglamento de Pesca de Puerto Rico según enmendado.**
- 7) **Ley Número 210 de 1^{ro} de agosto de 1999 - para añadir el artículo 13 a la Ley de Pesquerías de Puerto Rico.**
- 8) **Ley Número 430 de 21 de diciembre del 2000 - Ley de Navegación y Seguridad Acuática de Puerto Rico.**
- 9) **Ley Número 132 de 25 de junio de 1968 - Ley de arena, grava y piedra**
- 10) **Ley Número 370 del 25 de septiembre de 2000 - Enmienda a la Ley Número 132.**
- 11) **Ley Número 241 de 15 de agosto de 1999 - Nueva Ley de vida Silvestre según enmendada.**
- 12) **Reglamento Número 3250 - para regir las Especies Vulnerables y en Peligro de Extinción en ELA de Puerto Rico**
- 13) **Reglamento Número 4860 del 29 de diciembre de 1992 para el aprovechamiento, vigilancia, conservación y administración de las aguas territoriales, los terrenos sumergidos bajo éstas y la zona marítimo terrestre, basado en la Ley Orgánica del DRNA (Ley 23, del 20 de junio de 1972)**
- 14) **Programa de Manejo de la Zona Costanera (PMZC), 1978. (Ley federal de la zona costanera es en el 1972)**
- 15) **Ley Número 75 y la resolución JP PU -002 de las reservas naturales**
- 16) **Ley Número 57 – 10 de marzo de 2000 – Designa la Reserva Marina en la Isla de Desecheo**
- 17) **Ley Número 17 del 8 de enero de 2004 - Establece la Reserva Marina Tres Palmas en Rincón.**
- 18) **Ley Número 307 del 12 de julio de 2000 – El DRNA deberá identificar y establecer reservas marinas en áreas de necesidad prioritaria a ser conservadas para su recuperación, en un tres por ciento de la plataforma insular de PR e islas adyacentes en un término de 3 años.**
- 19) **Ley Número 9 del 18 de junio de 1970 - Ley sobre Política Pública Ambiental**
- 20) **Ley Número 23 del 20 de junio de 1972 – Ley Orgánica del DRN y enmiendas, 3**
- 21) **Ley Número 314 del 24 de diciembre de 1998 – Ley para declarar la Política Pública sobre los Humedales**
- 22) **Ley Número 1 del 27 de junio de 1977 – Ley de vigilantes de Recursos Naturales del DRNA**
- 23) **Ley Número 112 del 4 de agosto de 1988 – Ley de Patrimonio Arqueológico Subacuático**
- 24) **Ley Número 150 del 4 de agosto de 1988 – Programa de Patrimonio Natural de Puerto Rico – esta ley es la que le da la facultad al DRNA para la designación de reservas naturales, y adquirir tierras para la protección de los recursos**
- 25) **Ley Número 9 de agosto 18, enmendada en 1975 – Ley de minas**

- 26) **Ley Número 66 del 22 de junio de 1975** - Ley de Conservación y desarrollo de Culebra
(*protege la integridad de Culebra y sus aguas*)
- 27) **Ley Número. 293 del 21 de agosto de 1999** – Ley de la Junta Interagencial para el Manejo de las Playas en Puerto Rico
- 28) **Reglamento de Planificación Número 17 del 31 de marzo de 1983** – Reglamento para la Zonificación de la Zona Costanera y de Acceso a las Playas y costas de Puerto Rico.
- 29) **Ley Número 67, Código Penal de mayo de 1973** - para la protección de animales –
- 30) **Plan de Usos de Terrenos (1995) – Junta de Planificación**

Federales:

1. **Coral Reef Act 2000 – Orden Ejecutiva 36089** – Protección de arrecifes de coral 1998
2. **Magnuson-Stevens Fishery Conservation Act of 1976** as amended: 16 U.S.C. 1801-1882
The Magnuson Stevens Act mandates the preparation of fishery management plans for important fishery resources within the EEZ. All FMPs and their respective management measures must be based on seven national standards as prescribed in the Magnuson Act.
3. **Fishery Management Plans (e.g. lobster, reef fish plan, Plan de manejo para la protección de los arrecifes de coral (CFMC))**
4. **Marine Protection, Research and Sanctuaries Act of 1972 (MPRSA), Title III as amended: 16 U.S.C. 1431-1445.** (no hay en PR, ver si aplica directa o indirectamente)
5. **Clean Water Act (CWA) as amended: 33 U.S.C. 1251 et seq.**
 - a. (vease Plan de Manejo Arrecifes – federal para una descripción p.65)
6. **Coastal Zone Management Act of 1972, as amended (CZMA): 16 U.S.C. 1451-1464**
(Véase pg. 66 Plan de Manejo de Arrecifes de Coral Federal)
7. **Plan para el Control de la Contaminación por Fuentes Dispersas en la Zona Costanera de Puerto Rico**
 - Aprobado por NOAA y EPA en Octubre 2000
 - Administrado por DRNA y JCA

Coordinación es a través del *Comité Interagencial de Control de la Contaminación por Fuentes Dispersas* - Orden Ejecutiva 1999-08 de febrero de 1999. Está constituido por diversas agencias gubernamentales (DRNA, ARPE, JP...además de contar con la colaboración de agencias federales con inherencia en los asuntos ambientales de la Isla

8. **Endangered Species Act of 1973, as amended: 16 U.S.C. 1531-1543**
Provides for the listing of threatened or endangered plant and animal species. Esto es para las Tortugas y el manatí. Hay que ver si aquí es que cae el *Acropora palmata*.
9. **Marine Mammal Protection Act (1972)**

Apéndice B. Corales que se encuentran en las aguas alrededor de Puerto Rico y Áreas Naturales Protegidas

Reef habitats and Natural Protected Areas in Puerto Rico

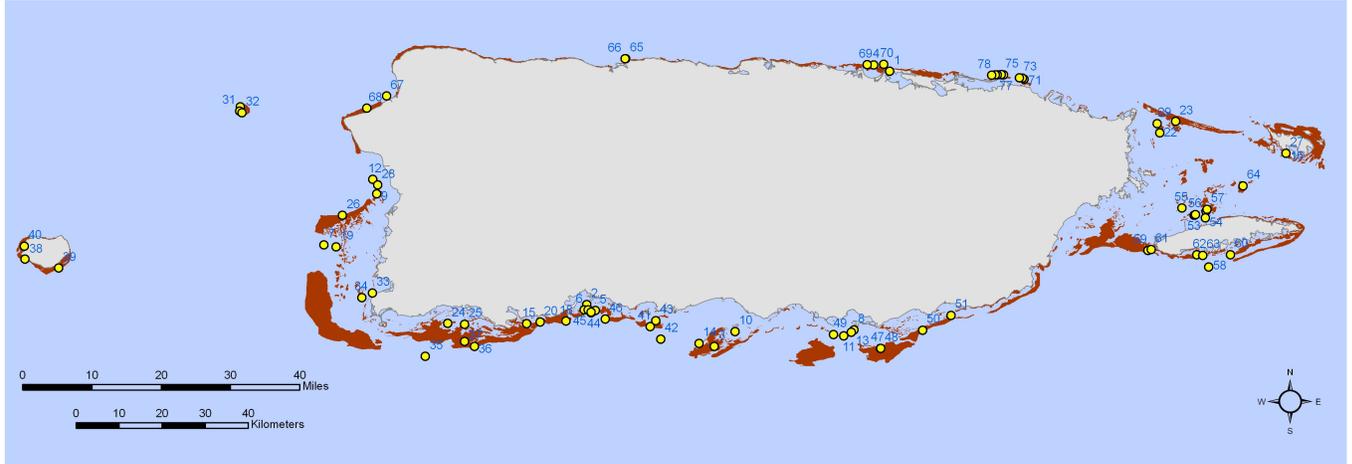


- Land
- Reef/Coral
- DNER-managed NPA
- Other NPA
- NPA Marine Component

Source: DNER Coastal Zone Division: Marine Protected Areas database, 2007; NOAA: Benthic Habitats of Puerto Rico, 2001, December 2007.

Reef habitats surveyed during baseline characterization and monitoring programs in Puerto Rico

- | | | | | | |
|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|
| 1 Bajos - SJ | 14 Caja de Muertos 2 - PON | 27 Pta. Maguey - CUL | 40 Carmelitas - MON | 53 Arrecife Mosquito - VIE | 66 Arecibo - AA2 |
| 2 Guayanilla - GY | 15 Cayo Coral - GUA | 28 Manchas Int 2 - MAY | 41 Boya 2 - PON | 54 Arrecife Comandante - VI | 67 Aguadilla - AGS2 |
| 3 Caja de Muertos 1 - PON | 16 Pta. Maguey - CUL | 29 Isla Palomino - FAJ | 42 Bajo Derrumbadero - PON | 55 Boya 6 - VIE | 68 Aguadilla - AGS3 |
| 4 Boca Vieja - SJ | 17 Manchas Int 2 - MAY | 30 North Reef - DES | 43 Bajo Tasmania - PON | 56 Arrecife Coronas - VIE | 69 Bayamon - B15 |
| 5 Rio - TAY | 18 Pta. Ventana 2 - GY | 31 Pto. Botes - DES | 44 Mania Langa Veril 50 - | 57 North Caballo Blanco - V | 70 Bayamon - B14 |
| 6 Unidades - GY | 19 Las Coronas - MAY | 32 Pto. Canoas - DES | 45 Mania Langa 30 - GY | 58 Black Jack - VIE | 71 Carolina - CC3 |
| 7 Media Luna - MAY | 20 Pta. Ballena - GUA | 33 El Palo - CRO | 46 Tallaboa 35 - GY | 59 Canjilones Reef - VIE | 72 Carolina - CC4 |
| 8 Caribe 1 - JOB | 21 Fanduco - GY | 34 Resuellos - CRO | 47 Las Mareas 55 - GMA | 60 Puerto Ferro Reef - VIE | 73 Carolina - CC5 |
| 9 Manchas Grandes- MAY | 22 Isla Palominitos - FAJ | 35 South of Margarita Reef | 48 Las Mareas 70 - GMA | 61 Pirata Reef - VIE | 74 Carolina - CC6 |
| 10 Berberia - PON | 23 Cayo Diablo - FAJ | 36 La Boya (Shelf edge) - L | 49 Cayos de Barca 35 - GMA | 62 Boya Esperanza Reef - VI | 75 Carolina - CC7 |
| 11 La Barca - JOB | 24 Media Luna - LP | 37 South of Turrumote - LP | 50 Arrecife Guayama 45 - A | 63 Capitan Reef - VIE | 76 Carolina - CC8 |
| 12 Manchas Ext. 2 - MAY | 25 Turrumote - LP | 38 Arrecife Las Mujeres - M | 51 Punta Guillarte Shoal 33 | 64 Bajo Holiday - VIE | 77 Carolina - CC9 |
| 13 Caribe 2 - JOB | 26 Tourmaline - MAY | 39 Pajaros - MON | 52 West Caballo Blanco - VI | 65 Arecibo - AA1 | 78 Carolina - CC10 |



Source: The State of Coral Reef Ecosystems of Puerto Rico, Garcia-Sais, pers. obs.; NOAA Benthic Habitats of Puerto Rico, 2001.



Apéndice C. LA SITUACIÓN ACTUAL DE LAS ESPECIES EXÓTICAS EN LOS AMBIENTES MARINOS DE PUERTO RICO

Por: Félix A. Grana Raffucci

A pesar de que la presencia de especies exóticas potencialmente perjudiciales en ambientes terrestres y dulceacuícolas en Puerto Rico ha aumentado la conciencia de los puertorriqueños sobre los impactos ambientales, sociales y económicos negativos de dicho fenómeno, no ha ocurrido una concienciación similar al analizar nuestros ambientes marinos. De hecho, la mayoría de los informes y análisis que se han publicado en los últimos tiempos ni siquiera mencionan la creciente presencia de especies exóticas marinas como unos de los impactos antropogénicos de importancia sobre los ecosistemas de nuestras costas. Mi experiencia personal señala a la ausencia de mecanismos institucionales de monitoría de las poblaciones marinas, en general, y de las especies exóticas identificadas, en particular, así como un cierto menosprecio al estudio biológico de los invertebrados, como causas principales del desconocimiento, aún entre nuestros mejores investigadores, sobre el grado de impacto que las especies exóticas establecidas ya pueden estar causando.

TIPOS DE IMPACTOS POTENCIALES DE LAS ESPECIES INVASORAS

- Desplazamiento y hasta eliminación de especies indígenas; modificación y destrucción de hábitats; 2da causa mundial de pérdida de biodiversidad.
- Introducción de nuevas enfermedades y parásitos
- Daños estructurales a infraestructura, muelles, edificaciones, embarcaciones
- Daños a la navegación, la pesca, la maricultura y el turismo.

MECANISMOS DE INTRODUCCIÓN DE EXÓTICOS EN AMBIENTES ACUÁTICOS:

- Liberación intencional o accidental por el hombre.
- Escape del lugar de confinamiento.
- Transporte de huevos o larvas en agua de acuario, en tierra, raíces o follaje de plantas introducidas o en intestinos de animales introducidos o migratorios
- Transporte en material flotante (basura, algas, madera)
- Transporte pegados al casco de las embarcaciones o en la piel de animales migratorios
- Transporte en las aguas de lastre de las embarcaciones, aguas que son arrojadas al mar al llegar o acercarse a puerto

HISTORIA DE LAS ESPECIES EXÓTICAS MARINAS EN PUERTO RICO

La gran mayoría de las especies exóticas marinas que se han establecido en los mares de Puerto Rico llegaron probablemente en las aguas de lastre de las embarcaciones que han atracado en nuestros puertos y se establecieron en silencio para ser percibidas solamente cuando algún investigador las colectó y las envió a algún museo de historia natural para su identificación. La primera especie exótica marina que fue encontrada en nuestras costas fue el cangrejo indopacífico *Percnon planissimum*, encontrado por la famosa expedición del *Fish Hawk* en los arrecifes del islote Caja de Muertos en 1899. En el 1947 se encontró en nuestras aguas por primera vez al coral ahermatípico *Tubastraea coccinea*, especie natural del Indo-Pacífico que hoy, gracias al alto grado de sedimentación de las aguas de nuestro litoral, podemos encontrar comúnmente en dondequiera que se puedan establecer corales. Los años cincuenta fueron el inicio de la llegada de una larga lista de especies de moluscos bivalvos exóticos que han hecho de las almejas el grupo de exóticos marinos más numeroso localmente y cuya llegada continúa hasta nuestros días (ver Tabla 1). Muchos de estos bivalvos, como las carcomas, se incrustan, perforan y dañan objetos y estructuras de madera, concreto y piedra.

TABLA 1: ANIMALES EXOTICOS MARINOS Y ESTUARINOS REPORTADOS EN PUERTO RICO:

CRUSTACEOS DECAPODOS	
<i>Petrolisthes armatus</i> (Gibbes, 1850) ¹	juey verde de porcelana
<i>Percnon planissimum</i> (Herbst, 1804) ²	juey aplastado del aerosol
CNIDARIOS	
<i>Drymonema dalmatinum</i> Haeckel, 1880	aguaviva coliflor
<i>Phyllorhiza punctata</i> von Leudendorf, 1884	aguaviva azulosa
<i>Cordylophora caspia</i> (Pallas, 1771) ³	hidroide estuarino
<i>Bimeria vestita</i> Wright, 1859 ⁴	hidroide desapercibido
<i>Blackfordia virginica</i> Mayer, 1910 ⁵	hidroide del Mar Negro
<i>Tubastrea coccinea</i> Lesson, 1829	coral naranja de tubo
PECES	
<i>Pterois volitans</i> (Linnaeus, 1758) ⁶	pez león
MOLUSCOS BIVALVOS	
<i>Gemma gemma</i> (Totten, 1834)	amatista
<i>Geukensia demissa</i> (Dillwyn, 1817) ⁷	mejillón costilludo

¹ Especie procedente del Pacífico Oriental, ampliamente distribuida en el Atlántico tropical y subtropical.

² Especímenes de esta especie indo-pacífica fueron recolectados en los arrecifes de Isla Caja de Muertos por la Expedición Fish Hawk (1899).

³ Esta especie, nativa del Mar Negro y del Caspio, ha sido introducida al Atlántico y al Pacífico tanto en agua de lastre de barcos como en escapes de acuarios.

⁴ Reportada de Crashboat, Aguadilla. Hay polémica en torno de si es exótico o cosmopolita.

⁵ Se presume que esta especie, nativa del Mar Negro, se ha distribuido por todos los océanos en las aguas de lastre de los barcos.

⁶ Reportada por primera vez de Cayo Icacos, Fajardo; 2002

<i>Pinna rudis</i> Linnaeus, 1758 ⁸	cuchareta colorada
<i>Mercenaria campechiensis</i> (Gmelin, 1791) ⁹	almeja dura grande
<i>Mercenaria mercenaria mercenaria</i> (Linnaeus, 1758) ¹⁰	almeja dura chica
<i>Mercenaria mercenaria notata</i> (Say, 1822) ¹¹	almeja dura manchada
<i>Meretrix lusoria</i> (Röding, 1798) ¹²	almeja dura oriental
<i>Parastarte triquetra</i> (Conrad, 1846)	Venus parda
<i>Martesia striata</i> (Linnaeus, 1758) ¹³	ala perforada rayada
<i>Lyrodus affinis</i> (Deshayes, 1863) ¹⁴	carcoma afín
<i>Lyrodus bipartitus</i> (Jeffreys, 1880)	carcoma partida
<i>Lyrodus massa</i> (Lamy, 1923)	carcoma abultada
<i>Lyrodus medilobata</i> (Edmondson, 1942)	carcoma lobulado
<i>Lyrodus pedicellatus</i> (de Quatrefages, 1849)	carcoma puntanegra
<i>Teredo fulleri</i> Clapp, 1924 ¹⁵	carcoma de Fuller
<i>Teredo furcifera</i> von Martens, 1894 ¹⁶	carcoma hendida
<i>Teredo johnsoni</i> Clapp, 1924 ¹⁷	carcoma de Johnson
<i>Teredo navalis</i> Linnaeus, 1758 ¹⁸	carcoma naval
<i>Teredothyra matocotana</i> (Bartsch, 1927) ¹⁹	carcoma matocotana

MOLUSCOS ESCAFÓPODOS

<i>Fustiaria stenoschiza</i> (Pilsbry & Sharp, 1897) ²⁰	fusta cortada
--	---------------

MOLUSCOS GASTRÓPODOS

<i>Siphonaria pectinata</i> (Linnaeus, 1758) ²¹	colador rayado
<i>Myosotella myosotis</i> (Draparnaud, 1801)	melampio orejiratón

MAMIFEROS

<i>Zalophus californianus</i> ²²	foca de California
<i>Cystophora cristata</i> ²³	foca encapuchada

⁷ Esta especie Estuarina natural de la costa este de Norteamérica, de Canadá a Texas, fue reportada de la Laguna Tortuguero.

⁸ Hay investigadores que sostienen que los reportes de esta especie del Atlántico Oriental en el Caribe se refieren a *Pinna carnea* (Gmelin, 1791).

⁹ Laguna Torrecillas, 1990.

¹⁰ Reportes de 1990 de Ensenada La Esperanza, Laguna Torrecillas, Ceiba y Playa Santa, de 1995 del Canal Suárez y del 2007 de Vieques.

¹¹ Laguna Torrecillas, 1990.

¹² Hay un reporte de este exótico del Mar de la China de Isleta Marina, Fajardo (1990).

¹³ Este exótico establecido es natural del Océano Indico.

¹⁴ Todas las especies que aquí aparecen del género *Lyrodus* son naturales del Indopacífico.

¹⁵ Especie natural del Indopacífico.

¹⁶ Especie natural del Indopacífico.

¹⁷ Especie natural del Pacífico Occidental.

¹⁸ Especie natural del Pacífico Occidental.

¹⁹ Especie natural del Indopacífico.

²⁰ Esta especie es natural del Indopacífico.

²¹ La mayoría de los investigadores de esta especie afirman que fue introducida al hemisferio occidental en aguas de lastre de los barcos procedentes del Mediterráneo, pero algunos difieren sosteniendo que están en su área de distribución natural.

²² escapados 1954-isla magueyes, cabo rojo; 1976-Boca de Cangrejos

=====

En los años noventa, unas inusitadas explosiones poblacionales de dos especies de aguavivas exóticas (*Drymonema dalmatinum* y *Phyllorhiza punctata*) puso por primera vez en alerta a los puertorriqueños sobre la presencia y perjuicios potenciales de los exóticos en nuestros mares.

La temible llegada del pez león (*Pterois volitans*) se materializó en el 2002, cuando un buzo recreativo informó haberlo visto en Cayo Icacos, Fajardo. Desde entonces se ha reportado de los arrecifes al norte de Culebra, la costa sur de Vieques, las playas de Dorado, Aguada, Cabo Rojo y Parguera y el arrecife del veril de Isla de Mona. Sus poblaciones están creciendo tanto que los pescadores de trasmallos lo están capturando en las playas. Aparentemente esta especie se está alimentando de los peces pequeños que habían sobrevivido los impactos de la sobrepesca y la contaminación y sedimentación de las aguas de la costa.

Puerto Rico necesita con premura más y mejores programas de monitoría de sus especies marinas, incluyendo los exóticos. A estas alturas, también se hace imprescindible el desarrollo de estrategias a corto y mediano plazo para el manejo de estos nuevos e indeseables allegados a nuestra fauna marina. Algunos tendrán valor pesquero, acuarista o artesanal y serán los más fáciles de manejar. Otros requerirán inversiones sustanciales de tiempo, esfuerzo y dinero.

²³ Posible expansion natural de hábitat-Camuy-1993; St. John- 1996

²⁴ escapado- 2006-Flamenco, Culebra