

Estado de conservación de los arrecifes de coral de la Península de Yucatán



Jorge Iñiguez/Greenpeace

GREENPEACE



ESMERALDA PÉREZ-CERVANTES | EDUARDO NAVARRO-ESPINOZA |
NURIA A. ESTRADA-SALDÍVAR | NOEMÍ ESPINOSA-ANDRADE |
SARA M. MELO-MERINO MIGUEL RIVAS-SOTO | LORENZO ÁLVAREZ-FILIP
<https://www.barcolab.org/>

RESUMEN EJECUTIVO

30%

del Bióxido de carbono (CO₂) que hemos expulsado a la atmósfera lo han absorbido los océanos, aminorando así los reales efectos que el cambio climático podría tener y amortiguando hasta en un 90% el aumento de la temperatura.

El cuidado y la conservación del medio ambiente son fundamentales para la vida y cada ecosistema es parte del equilibrio necesario. Desde Greenpeace trabajamos con este fin: mostrar el valor de la naturaleza y protegerla. Las reservas marinas no son la excepción y son un desafío pendiente.

Los océanos del mundo abarcan un tercio del planeta y moldean la vida tanto debajo de las aguas como en la superficie de la Tierra regulando el clima.

Actualmente nuestro planeta vive periodos turbulentos de cambios en el sistema climático a causa de la actividad antropogénica que arrastramos desde la Revolución Industrial, y que están repercutiendo en diferentes aspectos de la vida tal como la conocemos. La actual crisis de la biodiversidad nos pone en la obligación de conocer las especies que habitan el planeta, puesto que su acelerada tasa de pérdida está acabando con muchas especies sin que sean alcanzadas a ser conocidas y como en nuestros océanos viven alrededor del 90% de la biomasa del planeta tenemos, como sociedad, el desafío de explorar más allá de lo evidente.

Conocer los impactos que el cambio climático está produciendo en nuestros océanos es vital para entender los impactos en las dinámicas de los ecosistemas marinos y su biodiversidad. Se calcula que los océanos han absorbido alrededor del 30% del Bióxido de carbono (CO₂) que hemos expulsado a la atmósfera, aminorando así los reales efectos que el cambio climático podría tener y amortiguando hasta en un 90% el aumento de la temperatura. Pero esto ha traído como consecuencia el tener océanos cada vez más ácidos. Sí, la capa superficial marina hoy es 26% más ácida, lo que significa que hay una menor disponibilidad de iones carbonato necesarios para que muchos organismos marinos -entre ellos, moluscos, corales y crustáceos- formen sus esqueletos o estructuras y afectando también su metabolismo.

Proteger nuestros océanos a través de áreas naturales marinas es de vital importancia si deseamos que los cambios en el clima no se nos salgan de las manos, debemos conservar las dinámicas poblacionales y ecosistémicas tal como las conocemos porque algunos autores plantean que serán ellas las que limiten los factores de estrés antropogénico y permitan la recuperación de la abundancia y diversidad de especies haciendo que las poblaciones sean resistentes a la extinción y aumentando la resiliencia de nuestros océanos ante el cambio climático.

De acuerdo con la Convención para la Diversidad Biológica (CDB), se espera que los países destinen el 10% de su territorio marítimo a áreas naturales protegidas o santuarios marinos en el 2020. En la reunión mundial de 2016 de la CDB, realizada en Cancún, México anunció que esa meta había sido superada con creces y que el país está protegiendo actualmente el 23% de su territorio marítimo (más de 70 millones de hectáreas). Sin embargo para que estas Áreas Naturales “Protegidas” tengan

un efecto para ayudarnos a evitar o reducir los efectos del cambio climático deben estar realmente protegidas con acciones y no solo a través de decretos o anuncios políticos.

Cuidar, conservar y mejorar las condiciones de las Áreas Naturales Protegidas o santuarios marinos es nuestra póliza de seguro contra los cambios naturales que se avecinan, a tal punto, que estas áreas bien conservadas pueden aminorar la fuerza de las aguas producto de los eventos climáticos cada vez más extremos así como ralentizando el progresivo aumento en el nivel del mar.

Se calcula que al año 2017, solo un 8% de aguas territoriales en el mundo están protegidas y desde Greenpeace estamos convencidos que solo elevando este porcentaje a un 40% de la superficie marítima del planeta, incluyendo las de aguas profundas y creando una red integrada de reservas marinas, nos dará la esperanza de un futuro donde las grandes masas de agua del planeta seguirán siendo el garante de la vida en él.

El presente informe representa un pequeño pero significativo aporte de nuestra organización y científicos de la Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad Autónoma de Baja California Sur quienes hemos recorrido más de 500 millas náuticas a bordo del velero de Greenpeace, Rainbow Warrior, en el mes de diciembre de 2016. Viaje en el que hemos visitado diferentes arrecifes de la Península de Yucatán con el propósito de conocer su actual estado de conservación y la necesidad de que éstos sean parte de las reservas marinas que aportará México al cuidado de la vida actual del planeta.

La evidencia de que algunos de los arrecifes visitados están siendo afectados por el cambio climático provocando su blanqueamiento, así como la sobrepesca que trae como consecuencia la falta de depredadores tope, muestran la necesidad de protegerlos de forma real e incorporar a aquellos arrecifes de la Península de Yucatán que no están bajo alguna categoría de protección. De esta forma se podría evitar su futura degradación por la explotación de la gran industria pesquera o turística.

Esperamos que el presente documento sirva como obra de consulta para académicos, funcionarios de gobierno, tomadores de decisiones, Organizaciones no gubernamentales y para que nuestros socios y seguidores conozcan parte del trabajo que realizamos por el cuidado y preservación de nuestra naturaleza en alianza con la academia.



**DR. MIGUEL
ALEJANDRO
RIVAS SOTO**
CAMPAÑISTA
DE OCÉANOS
DE GREENPEACE
MÉXICO A.C.

Greenpeace es una Organización No gubernamental, independiente económica y políticamente que lucha por la protección del medio ambiente así como por la paz y la justicia social en el mundo.

¿Qué es un arrecife, dónde se encuentra, qué organismos lo conforman y cuáles son los servicios que proporciona?

CORALES COMO CONSTRUCTORES DE HÁBITAT

Los arrecifes de coral son uno de los ecosistemas más diversos y asombrosos del mundo, su área ocupa tan solo el 1% del total de los océanos, pero albergan a más de cientos de miles de especies distintas, entre esponjas, poliquetos, platelmintos, crustáceos, briozoos, moluscos, equinodermos, tunicados, cnidarios, macroalgas, tortugas y peces¹. Por ejemplo, los arrecifes albergan a más de 8,000 especies de peces lo que representa casi el 25% de todas las especies de peces marinos conocidos hasta ahora^{2,3,4}. La importancia de los arrecifes de coral no solo radica en su biodiversidad, sino que también proveen de numerosos bienes y servicios ambientales críticos para el bienestar social y económico de millones de personas que dependen de ellos⁵. Se estima que alrededor del 10% de la producción mundial de proteína para la alimentación humana se obtiene de estos ecosistemas⁶. También los arrecifes protegen a las costas de tormentas, huracanes y erosión⁷. Al ser uno de los atractivos turísticos y proveer de diversos servicios ecosistémicos se ha cal-

culado que su valor económico anual a nivel global es de treinta y seis billones de dólares⁸.

Los arrecifes coralinos se encuentran contruidos por diversos organismos calcificadores, donde los principales constructores son los corales duros, formando estructuras marinas que pueden ser observadas desde el espacio. Los corales están contruidos por colonias de pequeños organismos conocidos como pólipos, los cuales viven en relación simbiótica con microalgas dinoflageladas llamadas *Symbiodinium*, que son las que le dan color al coral y por medio del proceso fotosintético transfieren más del 90% de nutrientes al coral. En esta asociación simbiótica reside la productividad biológica del ecosistema arrecifal⁹. Los corales formadores de arrecife, por las condiciones de luz y temperatura que necesitan, solo se pueden desarrollar en aguas claras, con pocos nutrientes y de temperaturas estables. Bajo las condiciones óptimas los corales solo crecen algunos milímetros al año, por lo que construir las grandes estructuras tridimensionales de carbonato de calcio que forman los arrecifes coralinos es un proceso que tarda cientos de miles de años.



Figura 1. Arrecife en Cayo Arenas, Banco de Campeche, constituido por impresionantes corales masivos (*Orbicella spp*) de varios metros de altura (©Lorenzo Álvarez-Filip).

Generalidades de los arrecifes de la Península de Yucatán

En México podemos encontrar sistemas de arrecifes de coral en las costas del Pacífico, el Golfo de México y el Caribe. La Península de Yucatán se encuentra al sureste de México, sus costas se encuentran bañadas por el Golfo de México para los estados de Campeche y Yucatán, y por el Mar Caribe en la costa de Quintana Roo. El sistema arrecifal que se localiza en el Golfo de México se conoce como el Banco de Campeche, el cual está formado por arrecifes de plataforma, restringidos a pequeñas áreas y lo conforman 11 arrecifes: Alacranes en Yucatán y Cayo Arenas, Bajo Nuevo,

Bancos Ingleses, Triángulos Oeste, Triángulos Este, Triángulos Sur, Banco Pera, Bajos Obispos, Banco Nuevo y Cayo Arcas en Campeche^{10,11}.

Los arrecifes de la costa de Quintana Roo forman parte del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM). Este sistema abarca aproximadamente 1,000 km desde México hasta Honduras y en México abarca desde Isla Contoy hasta Xcalak. La mayor parte de este cinturón está formado por arrecifes de franja e insulares caracterizados por tener una laguna que los separa de la

costa¹⁰. Existen tres formaciones que resaltan: la Isla de Cozumel que en la parte de barlovento sus arrecifes no son de franja, carece de cresta arrecifal y no posee macizos y canales, mientras que los arrecifes de sotavento están bien desarrollados. El Banco de Chinchorro que se encuentra a 35 km de la costa Sur de Quintana Roo, es parecido a un atolón, en el barlovento posee formaciones de macizos y canales y en la parte de sotavento se encuentran pequeños parches arrecifales¹⁰. El Bajo de Arrowsmith, se encuentra al este de la isla de Cancún, tiene una extensión de 29 kilómetros y la profundidad varía de 16 a 80 m, presenta una gran diversidad de organismos, entre ellos corales de profundidad y es un área importante, sitio de alimentación y refugio para especies de profundidad; así como un sitio de agregación de tiburones¹².

Los arrecifes del Banco de Campeche se caracterizan por estar relativamente alejados de la costa (80-130 km) y presentan baja actividad humana. Son arrecifes de plataforma, algunos forman islas (Alacranes, Triángulos Este y Oeste, Cayo Arenas, Cayo Arcas), mientras que otras están por debajo de la superficie marina (Banco Obispos) y se caracterizan

Los arrecifes del Banco de Campeche se localizan en Golfo de México. Los arrecifes de las costas de Quintana Roo forman parte del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM).
AMBAS ZONAS ESTÁN AMENAZADAS.

por tener macizos y canales¹⁰. Mientras que los arrecifes del Caribe, se caracterizan por ser de barrera extendida, presentando una zonación definida (laguna arrecifal, cresta arrecifal, arrecife frontal). En el caso del Caribe los arrecifes del sur están mejor desarrollados, poseen macizos y canales bien formados¹³. El número de especies coralinas para estas dos zonas es de entre 44 y 50 especies¹⁴. Se estima que para las costas de Quintana Roo, el SAM alberga cerca de 3,331 especies marinas, entre las cuales se encuentran varias de importancia económica¹⁵, mientras que para el Banco de Campeche se estiman 2,057 especies marinas¹⁶. Los arrecifes de ambas zonas se encuentran amenazados por lo que a nivel nacional e internacional se han hecho compromisos y diferentes esfuerzos para su conservación.

Esfuerzos para la conservación de los arrecifes en México

COMPROMISOS Y TRATADOS INTERNACIONALES Y NACIONALES.

México es considerado uno de los 12 países conocidos como megadiversos por la gran cantidad de especies terrestres, acuáticas y marinas que alberga dentro de su territorio¹⁷. Con el propósito de encaminar los esfuerzos para la conservación de la naturaleza y el aprovechamiento sustentable de estos recursos naturales, México ha firmado diversos acuerdos nacionales e internacionales. Tal es el caso de la *Estrategia Nacional sobre la Biodiversidad de México*, la *Ley General de Vida Silvestre* y la *Norma Oficial Mexicana para la Protección ambiental y Especies nativas de México de flora y fauna silvestres (NOM 059)*. Todas dan un marco legal y sientan las bases de los esfuerzos de nuestro país para mitigar la pérdida de la biodiversidad y los efectos del cambio climático.

Dichos esfuerzos se encuentran sustentados en los acuerdos internacionales, de los cuales México ha sido miembro activo. Como el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), en el cual los países firmantes se comprometen a tomar las medidas necesarias para conservar la diversidad biológica, así como asignar los recursos económicos y humanos para lograrlo. Asimismo, México es miembro de la *Conven-*

ción sobre la conservación de las especies migratorias de animales silvestres, Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, Convención de RAMSAR (para la conservación y el uso racional de los humedales) y Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, entre otros.

En cuanto a los compromisos para proteger los arrecifes, en 1997 México firmó la Declaración de Tulum, junto con Honduras, Belice y Guatemala, en la cual los países se comprometían al uso sustentable de los recursos del SAM y al establecimiento de una red marina de áreas protegidas. De igual manera, en México el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza cuenta con la iniciativa del Programa de Liderazgo en el Sistema Arrecifal Mesoamericano (Liderazgo SAM), la cual tiene como objetivo acelerar los impactos de conservación en el SAM.

Otro logro importante es que el 7 de diciembre de 2016 se estableció la Zona de Salvaguarda denominada *Arrecifes de Coral del Golfo de México y del Caribe Mexicano*, abarcando un área de 6,172.04 km² en el litoral de Veracruz, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, donde se prohíben las actividades de exploración y extracción de hidrocarburos¹⁸.

ÁREAS MARINAS PROTEGIDAS (AMP)

Objetivos: protección y conservación de hábitats y especies claves marinas; el manejo de pesquerías y la restitución de la diversidad biológica^{19,20}.

En México, 22.3% del total de la superficie marina se encuentra bajo un régimen de protección. Contar con áreas totalmente cerradas a la pesca, de tamaño grande y con un buen manejo tiene como resultado beneficios ecológicos y socioeconómicos.

Para las AMP muchos aspectos quedan fuera de su alcance:

> No están aisladas de eventos ocurridos fuera de sus límites (actividades antropogénicas o disturbios naturales), mientras más degradado esté el exterior, más afectadas se verán las poblaciones dentro del área protegida. Por lo tanto, los cambios de los mecanismos de control efectivo y estructuras de gobernanza más allá de los límites de las AMP deben de estar en función con el incremento de urbanización, industrialización, intensificación de la agricultura y expansión²¹.

> El actual sistema mundial de AMP protege solo el 1.7% de la diversidad genética de los corales y el 17.6% de los peces²². Investigaciones recientes han demostrado que la pérdida de información genética pudiera traer consigo pérdida en el potencial en la adaptación a los cambios ambientales globales y por tanto de funciones dentro de las comunidades de arrecife de coral²³.

> Especies pelágicas y de amplio rango de dispersión como los atunes, tiburones y grandes mamíferos no son protegidas en su totalidad por las AMP por lo que se necesitaría el desarrollo de estrategias de conservación complementarias²⁴.

Áreas Naturales Protegidas de la Península de Yucatán

¿QUÉ SON LAS ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS?

Una de las principales herramientas para la conservación de la naturaleza son las Áreas Naturales Protegidas (ANP) que originalmente fueron concebidas como sitios para preservar una belleza escénica natural excepcional. Sin embargo, esta concepción fue evolucionando conforme se evidenció una creciente tasa de pérdida de biodiversidad por lo que posteriormente se enfocó en preservar grandes extensiones representativas de los ecosistemas naturales más importantes y mejor conservados del país.

A pesar del rápido incremento de ANP en México y el mundo, estas herramientas de manejo continúan siendo sujetas a múltiples amenazas (sobrepesca, contaminación, desarrollo costero, disturbios naturales) y vulnerables a los esquemas de manejo de sus áreas colindantes, por lo que el uso de las ANP no debe restringirse a sus límites geográficos, sino extenderse también a su área de influencia.

De acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) toda ANP debe contar con un decreto y programa de manejo, éste último, un instrumento importante de planeación y regulación que establece las actividades, acciones y lineamientos básicos para el manejo y la administración del Área Natural Protegida respectiva. Para que el programa de manejo sea un documento legal debe de publicarse en el Diario Oficial de la Federación y como lo marca la LGEEPA en su artículo 65, esto debe de realizarse dentro del plazo de un año contando a partir de la publicación de la declaratoria respectiva.

En México actualmente se cuenta con 181 ANP de carácter federal, de las cuales, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) es, desde el año 2010, la instancia encargada del manejo y gestión de ellas. Entre sus funciones, se encuentra la implementación de los programas de manejo para establecer reglas de gestión, sin embargo, sólo 102 ANP cuentan con uno de ellos. En la Península de Yucatán se encuentran 25 ANP de las cuales 15 poseen una porción marina (Figura 3). En la actualidad son cinco las ANP que aún no cuentan con un programa de manejo: Yum Balam, Playa adyacente a Ría Lagartos, Playa Isla Contoy, Tulum y Caribe Mexicano. El promedio de retraso en la publicación del programa de manejo para las ANP que ya cuentan con este instrumento en la Península de Yucatán es de 26 años.

LA RESERVA DE LA BIOSFERA DEL CARIBE MEXICANO

El 7 de diciembre de 2016 el Presidente Enrique Peña Nieto decretó como Área Natural Protegida a la Reserva de la Biosfera del Caribe Mexicano (RBCM), la cual constituye el ANP más grande de México ya que cuenta con un extensión de más de 5 millones de hectáreas²⁵. La premura por decretar esta nueva área durante la decimotercera reunión de la Conferencia de las Partes del Convenio sobre la Diversidad Biológica (COP 13), hace evidente que el planteamiento de la RBCM fue con intención de cumplir con la meta 11 de Aichi del Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020, que establece que al menos el 17% de áreas terrestres y aguas continentales, y el 10% de áreas marinas y costeras esté bajo algún régimen de protección. Es también importante destacar que los límites de la RBCM se ajustaron en ocasiones a la colindancia con desarrollos turísticos y no con base a las características ecológicas y biológicas de la región.

Si bien el decreto de la RBCM contiene lineamientos generales para su conservación y de actividades de impacto como el turismo náutico, pesca, dragado de canales de navegación y extracción de arena, el decreto ignora la problemática de la región fuera de los límites de esta ANP. Es decir, deja de lado la protección de los arrecifes coralinos^{26,27,28} una de las principales causas de la degradación de ecosistemas costeros.

El estado de Quintana Roo es afectado por un régimen de rápido desarrollo urbano y turístico, de alto impacto ambiental. Por ejemplo, la mayoría de los hoteles dan un tratamiento básico a sus aguas residuales, el cual no remueve contaminantes de origen orgánico y otros contaminantes; mientras que muchos asentamientos humanos ni siquiera cuentan con servicios de drenaje ni recolección de residuos. Lo anterior ocasiona una rápida contaminación del manto freático, que además de representar un serio problema de salud humana, también repercute seriamente en los ecosistemas costeros ya que el agua del subsuelo de la Península de Yucatán viaja rápidamente por una red de ríos subterráneos que se comunica directamente con ecosistemas costeros como son los arrecifes y manglares.

Para resguardar los ecosistemas marinos, cercanos a la costa, se tiene por lo tanto que garantizar la buena calidad del agua subterránea. La reglamentación vigente debe ser estricta en el tema de las aguas residuales, llegando éstas a ser procesadas hasta nivel ter-

En la actualidad son cinco las ANP que aún no cuentan con un programa de manejo: Yum Balam, Playa adyacente a Ría Lagartos, Playa Isla Contoy, Tulum y Caribe Mexicano.

EL PROMEDIO DE RETRASO EN LA PUBLICACIÓN DEL PROGRAMA DE MANEJO PARA LAS ANP QUE YA CUENTAN CON ESTE INSTRUMENTO EN LA PENÍNSULA DE YUCATÁN ES DE 26 AÑOS.

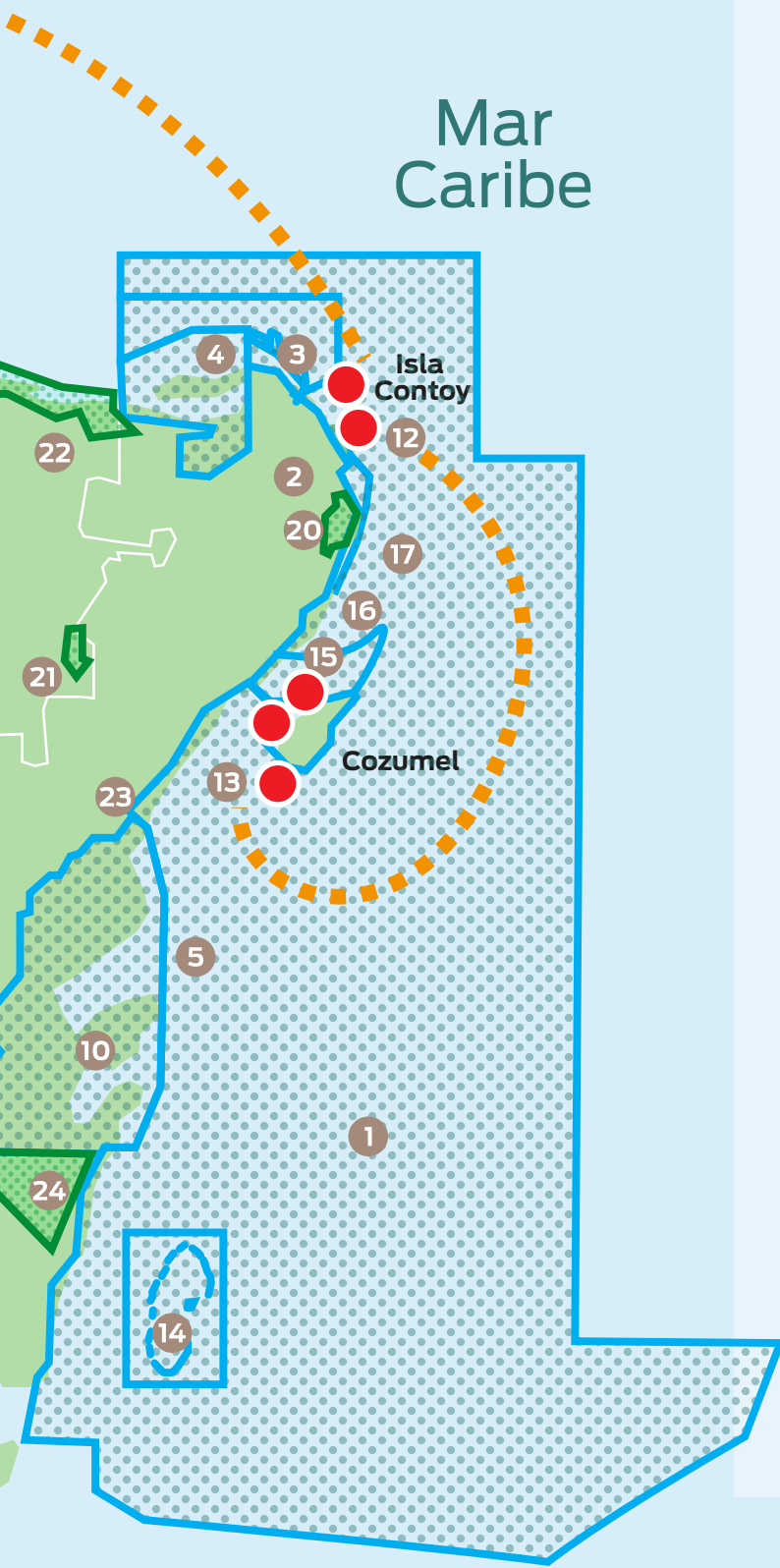
ciario con el propósito de no incrementar la presión sobre los arrecifes, lo que llevará también al cumplimiento de la meta 10 de Aichi. Desafortunadamente, este importante punto relacionado con la salud humana y de los ecosistemas, no es siquiera mencionado en el decreto de la Reserva de reciente creación. En su conjunto, estas omisiones comprometen seriamente la capacidad de esta Reserva, para cumplir su función principal, que es la de preservar los ecosistemas marinos del Caribe Mexicano.

En este mismo sentido, la RBCM no cuenta con un programa de manejo, lo que genera incertidumbre sobre su operación, planeación, administración, regulación de actividades económicas y acciones de conservación que se pueden hacer dentro de ella. La Comisión Nacional de Derechos Humanos, en abril del 2016, recomendó a la CONANP revisar los programas de manejo actuales, y señaló que la falta de estos instrumentos ha propiciado cambios de uso de suelo, expansión de la ganadería extensiva, erosión de suelos, desarrollo urbano, extracción ilegal de especies y la contaminación de las aguas y suelos, destino que podría seguir la Reserva del Caribe si continúa sin un programa de manejo.

Explorando los Arrecifes de la Península de Yucatán



FIGURA 3. Mapa que muestra la travesía del *Rainbow Warrior III* por los arrecifes de la Península de Yucatán (línea punteada), en las localidades de: Cozumel, Isla Contoy, Alacranes, Cayo Arenas y Triángulos, en las cuales se visitaron 15 diferentes sitios (puntos rojos). El mapa también muestra las Áreas Naturales Protegidas en la Península de Yucatán (con porción terrestre y marina) RB:Reserva de la Biosfera, PN:Parque Nacional, APFyF: Área de Protección de Flora y Fauna. SANT: Santuario.



● Sitios

— Expedición Rainbow Warrior

Áreas Naturales Protegidas

■ Terrestre

■ Marina-Terrestre con porción Marina

- 1 Caribe Mexicano (RB)
- 2 Isla Contoy (PN)
- 3 Tiburón Ballena (RB)
- 4 Yum Balam (APF y F)
- 5 Arrecifes de Sian Ka'an (RB)
- 6 Arrecife Alacranes (PN)
- 7 Laguna de Términos (APF y F)
- 8 Ría Celestún (RB)
- 9 Los Petenes (RB)
- 10 Sian Ka'an (RB)
- 11 Arrecifes de Xcalak (PN)
- 12 Playa de la Isla Contoy (SANT)
- 13 Arrecifes de Cozumel (PM)
- 14 Banco Chinchorro (RB)
- 15 La porción norte y la franja costera oriental, terrestres y marinas de la isla de Cozumel (APF y F)
- 16 Arrecife de Puerto Morelos (PN)
- 17 Costa Occ. de I. Mujeres, Pta. Cancún y Pta. Nizuc (PN)
- 18 Bala'an K'aax (APF y F)
- 19 Calakmul (RB)
- 20 Manglares de Nichupté (APF y F)
- 21 Otoch Ma'ax Yetel Kooch (APF y F)
- 22 Ría Lagartos (RB)
- 23 Tulum (PN)
- 24 Uaymil (APF y F)
- 25 Playa adyacente a la localidad denominada Río Lagartos (SANT)
- 26 Dzibilchantún (PN)



IV. CAPACIDAD REAL DE MANEJO EN LAS ANP

La efectiva conservación de la biodiversidad no está en función solamente del medio ambiente (por ejemplo, condiciones del océano) o de las características de la ANP (tamaño, edad, regulaciones de pesca) sino también de la capacidad de los recursos económicos y humanos disponibles que existen en cada una de ellas²⁹. Además, si las ANP están efectivamente reguladas y gestionadas a través de enfoques de toma de decisiones equitativos e inclusivos (es decir, tomando en cuenta todos los sectores de la comunidad como pescadores, hoteleros, restaurantes, prestadores de servicios) tienen más probabilidades de cumplir objetivos ecológicos y sociales que aquellas que simplemente están legisladas en papel (“Parque de papel”) y con decisiones excluyentes³⁰.

Es importante mencionar que en los últimos seis años los recursos públicos destinados a las ANP han sufrido fuertes recortes. Recientemente, en 2016 y 2017 el Presupuesto de Egresos de la Federación (PEF) disminuyó los recursos a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) un 50%, comparado con el presupuesto de 2014 y,

en 2017 los recursos de la CONANP tuvieron una reducción del 22% respecto al 2016.

De manera particular, a pesar de seguir incrementándose en superficie las áreas protegidas en la región de Quintana Roo, el presupuesto anual otorgado para las ANP con porción marina ha tenido un recorte drástico desde el año 2007 a la fecha (Figura 4). Actualmente, el gobierno mexicano destina únicamente 81 pesos por cada kilómetro cuadrado para las ANP con porción marina, tan sólo en 2007 esto era 27 veces mayor (2 mil pesos por km²). Esta importante disminución en el compromiso por conservar los ecosistemas marinos por parte del gobierno mexicano cobra especial relevancia tras el decreto de creación de las nuevas áreas protegidas, entre ellas, la más extensa del país: la Reserva de la Biósfera del Caribe Mexicano. Si bien ahora México cuenta con una mayor cobertura de áreas protegidas (90 millones 638 mil hectáreas del territorio nacional bajo esquemas de protección), se cuenta con menos recursos financieros y humanos para su adecuada gestión y manejo³¹.

ÁREAS MARINAS PROTEGIDAS DEL CARIBE MEXICANO Inversión gubernamental en pesos mexicanos por km² del 2003 al 2017

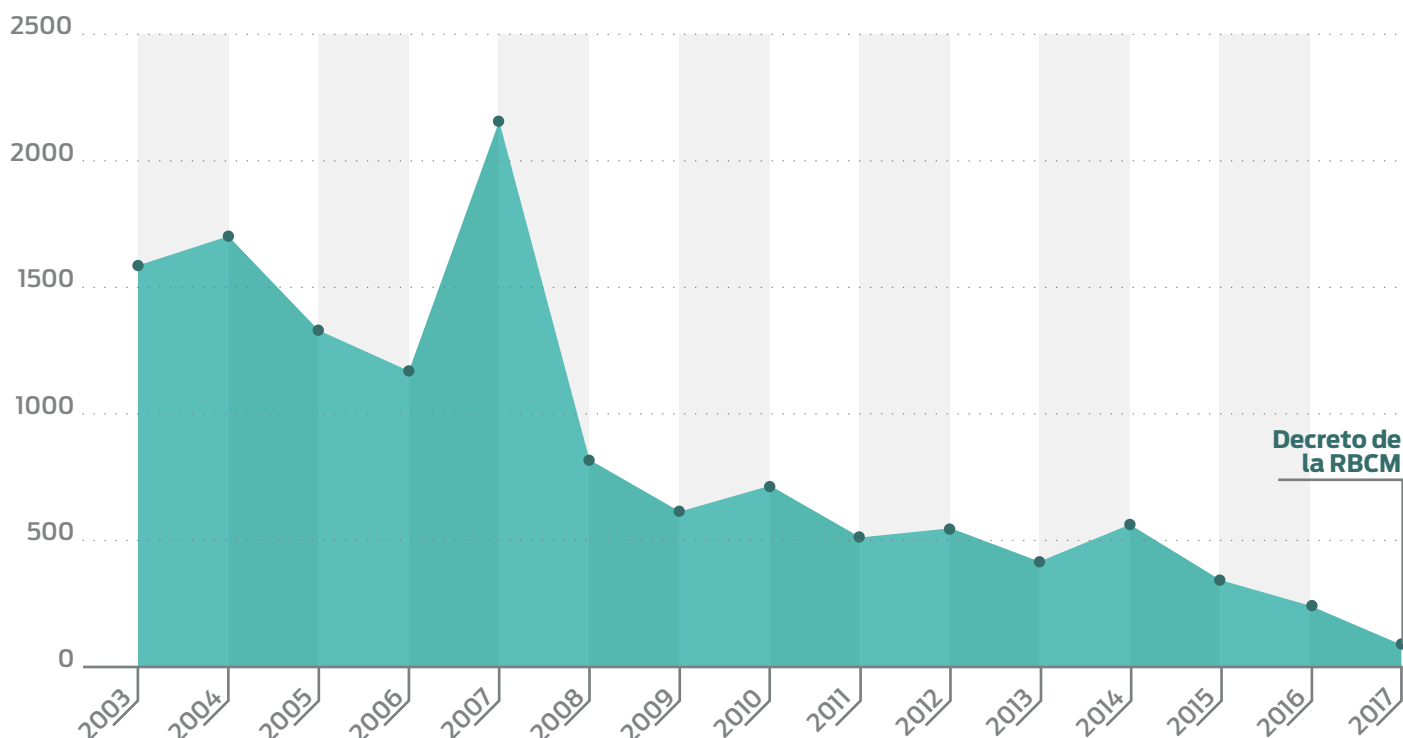


FIGURA 4. Relación de la superficie total de área protegida (km²) con el presupuesto otorgado a las ANP con porción marina del estado de Quintana Roo. El presupuesto de cada ANP fue obtenido por solicitud a través de la plataforma nacional de transparencia. Esta gráfica se construyó a partir de la suma del presupuesto de 2003 a 2017 de las siguientes ANP: Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro, Parque Nacional Arrecifes de Xcalak, Reserva de la Biosfera Sian Ka'an, Reserva de la Biosfera Arrecifes de Sian Ka'an, Parque Nacional Costa Occidental de Isla mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, Parque Nacional Arrecifes de Cozumel, Parque Nacional Isla Contoy, Área de Protección de Flora y Fauna Yum Balam, Reserva de la Biosfera Tiburón Ballena, Área de Protección de Flora y Fauna: la porción norte y la franja costera oriental, terrestres y marinas de la Isla de Cozumel y Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano (RBCM). El área protegida se calcula con base a la información obtenida del portal de la CONANP tomando el área total y fecha de decreto de las mismas ANP.

PRESUPUESTO POR ÁREA NATURAL PROTEGIDA (millones de pesos mexicanos)

ÁREA NATURAL PROTEGIDA	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
APFF Yum Balam	0.99	1.82	1.79	2.27	3.94	1.65	0.87	1.05	0.45	0.71	0.65	0.87	0.42	0.49	0.68
APFF Isla de Cozumel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-
PN Arrecife de Puerto Morelos	1.70	2.52	2.27	2.00	3.70	1.31	1.06	1.52	1.47	1.34	1.45	1.45	0.95	0.84	1.04
PN Arrecifes de Cozumel	6.32	7.20	5.10	3.39	7.72	2.33	2.10	2.67	1.54	1.49	1.02	1.24	0.90	0.70	0.90
PN Arrecifes de Xcalak	-	-	-	0.22	0.29	1.01	0.95	0.87	0.27	0.60	0.62	0.69	0.39	0.20	0.46
PN Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc	10.43	8.35	5.84	4.51	7.32	2.75	2.56	3.08	1.84	2.10	1.39	2.34	1.51	0.83	1.09
PN Isla Contoy	1.82	2.14	2.25	2.52	4.39	1.55	1.50	1.14	0.69	1.46	1.13	1.74	0.84	0.48	0.75
RB Banco Chinchorro	1.39	2.95	1.74	2.11	4.15	2.04	1.69	1.92	1.58	1.59	1.20	1.64	1.10	0.60	0.88
RB Sian Ka'an	-	-	-	3.00	4.71	1.38	1.78	1.85	2.04	2.29	1.45	1.62	1.21	0.96	1.21
RB Arrecifes de Sian Ka'an	2.14	2.27	2.80	-	-	-	-	-	-	-	0.07	-	-	-	-
RB Tiburón Ballena	-	-	-	-	-	-	0.05	-	-	0.01	0.00	0.02	0.01	0.02	-
RB Gran Caribe Mexicano	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
APFF Manglares de Nichupté	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.82	0.18	0.06	0.18	0.11	0.09	0.13
PN Arrecife Alacranes	-	-	-	0.04	0.10	0.61	0.20	0.37	0.15	0.72	0.55	0.59	0.45	0.25	0.53

APFF: Área de Protección Flora y Fauna PN: Parque Nacional RB: Reserva de la Biósfera

TABLA 1. Presupuesto otorgado a las ANP con porción marina del estado de Quintana Roo y del Parque Nacional Arrecife Alacranes del estado de Yucatán, información obtenida por solicitud a través de la plataforma nacional de transparencia (INAI) a la SEMARNAT y a la CONANP.

Expedición de Greenpeace

El actual deterioro ambiental y la consecuente crisis de biodiversidad en el planeta hacen indispensable la colaboración de personas comprometidas con la protección del medio ambiente, dispuestas a cambiar hábitos, así como los aportes desde la academia, la investigación y la sociedad civil, todo esto debe ir acompañado de acciones concretas de autoridades y organismos de gobierno que permitan a la ciudadanía gozar de su derecho a un medio ambiente sano.

Greenpeace es una organización no gubernamental (ONG) que lucha por la protección del medio ambiente, la paz y la justicia social. Durante toda nuestra historia en la defensa ambiental, los océanos han sido un tema de suma importancia para su cuidado por los beneficios que aporta a la humanidad y su frágil existencia, amenazada por el calentamiento global.

Actualmente Greenpeace ha enfocado sus esfuerzos para que la temperatura del planeta no se eleve más allá de 1.5° C en promedio a nivel mundial, como recomienda la comunidad científica global para evitar graves impactos por el cambio climático, lo que incluye resguardar el Ártico para evitar el aumento en el nivel del mar, detener la contaminación por plásticos que afectan nuestros océanos y evitar el blanqueamiento de corales, asociado al cambio de temperatura global y a las actividades humanas.

Desde que inició nuestro trabajo hemos detenido pruebas nucleares en los mares; incidido en la creación del Comité Ballenero Internacional y la formación de santuarios marinos alrededor del mundo. En México hemos pugnado por áreas protegidas y sus planes de manejo para preservar los ecosistemas críticos del país y con ello garantizar el derecho a un medio ambiente sano, lo que no ha sucedido hasta ahora en el caso de Yum Balam y la Reserva de la Biósfera del Caribe Mexicano.

A fin de contar con información actual y fidedigna que nos permita hacer recomendaciones al gobierno mexicano sobre la conservación de los ecosistemas marinos, en diciembre de 2016 llegó a nuestro país por segunda ocasión el barco Rainbow Warrior de Greenpeace, como una herramienta para facilitar el trabajo de un grupo de investigadores de la UNAM y la Universidad de Baja California Sur que visitó los arrecifes que se detallan en este informe.

El barco arribó a las costas del Caribe en el Puerto de Cozumel, Quintana Roo, como parte de la campaña de santuarios marinos que impulsa Greenpeace alrededor



FIGURA 5. Atardecer en Cozumel, Rainbow Warrior III.

del mundo. En México, uno de los objetivos de esta expedición fue determinar el estado de conservación de los arrecifes coralinos de la Península de Yucatán: Caribe mexicano y Banco de Campeche. (Figura 5).

Para evaluar el estado de conservación de los arrecifes visitados se realizaron buceos autónomos en cada uno de ellos utilizando el protocolo *Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA)*³². Para conocer la cobertura de corales, macroalgas y otros organismos se realizaron 6 transectos de 10 metros de longitud registrando cada 10 centímetros los organismos que se encontraban bajo la marca del transecto. Los peces se muestrearon con 8 transectos de 30 metros de longitud por 2 metros de ancho, se registró especie y tamaño del pez (Figura 6).

La primera parte de este reporte incluye la descripción de los arrecifes visitados a partir de los indicadores de salud arrecifal de la Iniciativa en Arrecifes Saludables (HRI, por sus siglas en inglés). Posteriormente se evalúa el estado de ciertos indicadores en relación a las principales amenazas sobre los arrecifes coralinos, esta parte se hace a nivel de región, en donde los datos de Alacranes, Cayo Arenas y Triángulos se juntan a nivel de localidad. Los datos de Isla Contoy y Cozumel se integraron con 63 arrecifes del Caribe Mexicano monitoreados desde mayo del 2016 por el Laboratorio de Biodiversidad y Conservación Arrecifal de la UNAM, esto para tener un panorama más amplio de la condición de los arrecifes en el Caribe por lo que serán nombrados Caribe Mexicano.

EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LOS ARRECIFES DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN, RESULTADOS DE LA EXPEDICIÓN DE GREENPEACE 2016

A nivel mundial los arrecifes coralinos se encuentran en declive debido principalmente a impactos antropogénicos: desarrollos costeros, contaminación, sobrepesca, entre otros, y el Caribe es la región donde la cobertura de coral ha presentado una mayor pérdida, disminuyendo casi un 40% desde 1970^{33,34}. En cuanto a los arrecifes del Banco de Campeche no existe algún dato actualizado sobre la pérdida o el estado de las comunidades coralinas. Gracias a esta expedición se creó un panorama sobre la condición actual de los arrecifes coralinos de la Península de Yucatán.

Para evaluar el estado de cada uno de los arrecifes visitados se utilizó el índice de salud arrecifal propuesto por la Iniciativa Arrecifes Saludable (www.healthyreefs.org), el cual considera: la cobertura de coral, que se define como la cantidad de corales pétreos vivos que se encuentran sobre el arrecife; la cobertura de macroalgas carnosas como la porción de arrecife cubierto por estas macroalgas; la biomasa de peces herbívoros (peces loro y cirujanos) quienes son importantes forrajeros de organismos que podrían crecer sobre el arrecife y la biomasa de peces comerciales (pargos y meros) importantes para el ser humano (Tabla 2)³⁵. El índice clasifica estos diferentes indicadores en los siguientes rangos:

De acuerdo con el índice de salud arrecifal, la condición arrecifal de los sitios monitoreados durante la expedición de Greenpeace en el Caribe Mexicano y el Banco de Campeche son las siguientes:



FIGURA 6. ¿Cómo se monitorea el bentos de los arrecifes? Transecto de 10 m marcados cada 10 cm, el monitoreo de bentos en el arrecife a San Clemente, Cozumel.

En los arrecifes monitoreados de Cozumel: Chankanaab, Tormento y San Clemente, destacó la alta biomasa de peces herbívoros y de importancia comercial; y a pesar de que las macroalgas y corales presentaron valores de malos a regulares, todos los sitios clasificaron en la categoría de buena condición de salud (Tabla 3). A diferencia los arrecifes de Isla Contoy, los cuales presentan una alta cobertura de macroalgas, baja cobertura de corales y valores muy bajos de biomasa de peces, por lo que se consideran en estado crítico (Tabla 3). Sin embargo, es importante que uno de los sitios de Isla Contoy fue mayormente una terraza arrecifal en donde naturalmente existe poca cobertura coralina. Es interesante, que en este mismo sitio fue el único de la expedición, en donde se observó el coral invasor *Tubastraea coccinea*, el cual es originario para la provincia del Indo-Pacífico, pero actualmente tiene una distribución mundial³⁶.

ÍNDICE DE SALUD ARRECIFAL

Indicadores del Índice de Salud Arrecifal	MUY BIEN	BIEN	REGULAR	MAL	CRÍTICO
Cobertura de Coral (%)	≥ 40	20.0-39.9	10.0-19.9	5.0-9.9	<5
Cobertura de Macroalgas Carnosas (%)	0-0.9	1.0-5.0	5.1-12.0	12.1-25.0	<25.0
Peces Herbívoros (g.100m ²)	≥ 3.29	2.74-3.28	1.86-2.73	0.99-1.85	<0.99
Peces Comerciales (g.100m ²)	≥ 1.62	1.21-1.61	0.8-1.20	0.39-0.79	<0.39

TABLA 2. Índice de Salud Arrecifal tomada y modificada de Reporte de la Salud Ecológica del Arrecife Mesoamericano 2015³⁵.

En general los arrecifes de la localidad de Alacranes presentaron una condición arrecifal de mala a crítica, esto debido a la baja cobertura de coral, de biomasa de peces y una alta cobertura de macroalgas. Resalta en especial los bajos valores de biomasa para peces comerciales en dos de los arrecifes, ya que al ser un ANP se esperaban biomásas altas. Al norte de Alacranes se pudo observar una escuela de mantarrayas y al Sur se encontraron trampas para langosta, lo que indica la presencia de pescadores en la región.

Los arrecifes de Cayo Arenas variaron entre condiciones regulares y muy buenas, a pesar de que para todos la cobertura de macroalgas fue elevada, la cobertura de coral fue regular a muy buena en uno de los arrecifes, en donde se encontraron grandes colonias de corales masivos (*Orbicella spp*) (Figura 1). En cuanto a la biomasa de peces herbívoros las condiciones fueron buenas y muy buenas pero la biomasa de peces de importancia comercial fue de regular a muy buena (Tabla 3).

En cuanto a los arrecifes de Triángulos, presentaron una cobertura de coral de buena a muy buena, además se observó la presencia de muchas colonias con blanqueamiento (Figura 15), la cobertura de macroalgas también fue elevada, lo que indica una condición crítica para este índice. La biomasa de peces tanto herbívoros como de importancia comercial varió de crítica a muy buena. A partir de esto las condiciones de los arrecifes variaron de regular a buenas (Tabla 3 y Figura 7). El índice de salud arrecifal toma en cuenta a todas las especies de importancia comercial, sin considerar el tipo de importancia pesquera (baja, media, alta). Para el caso de especies de importancia pesquera alta, se consideraron sólo a algunas especies de la familia de *Serranidae* (meros) y *Lutjanidae* (pargos). Por lo tanto, los peces de importancia comercial a pesar de encontrarse con índices buenos en los sitios de Cayo Arenas y Triángulos no necesariamente presentarán altas biomásas de peces de importancia pesquera alta.

ÍNDICES DE SALUD ARRECIFAL

Nombre de la localidad	Nombre del Arrecife	Cobertura de Coral (%)	Cobertura de Macroalgas Carnosas (%)	Peces Herbívoros (g.100m ²)	Peces Comerciales (g.100m ²)	Condición Arrecifal
Cozumel	Chankanaab	3	1	5	5	Bien
	Tormentos	2	4	5	5	Bien
	San Clemente	2	4	5	3	Bien
Isla Contoy	MX1066	1	1	1	1	Crítico
	Ixlaché	3	1	2	1	Crítico
Alacranes	Alacranes Norte	2	1	1	5	Mal
	Alacranes Centro	4	1	1	1	Crítico
	Alacranes Sur	1	2	4	1	Mal
Cayo Arenas	Cayo Arenas 1	5	2	5	5	Muy bien
	Cayo Arenas 2	3	2	4	3	Regular
	Cayo Arenas 3	4	1	5	5	Bien
Triángulos	Triángulos Oeste	4	1	5	5	Bien
	Triángulos Este Sur	5	2	2	3	Regular
	Triángulos Este Norte	4	1	3	4	Regular
	Triángulos Este Centro	4	2	1	5	Regular

TABLA 3. Resultado de la condición arrecifal de los arrecifes visitado en la expedición de Greenpeace 2016, de las localidades de: Cozumel, Isla Contoy, Alacranes, Cayo Arenas y Triángulos.

Evaluando los Arrecifes de la Península de Yucatán

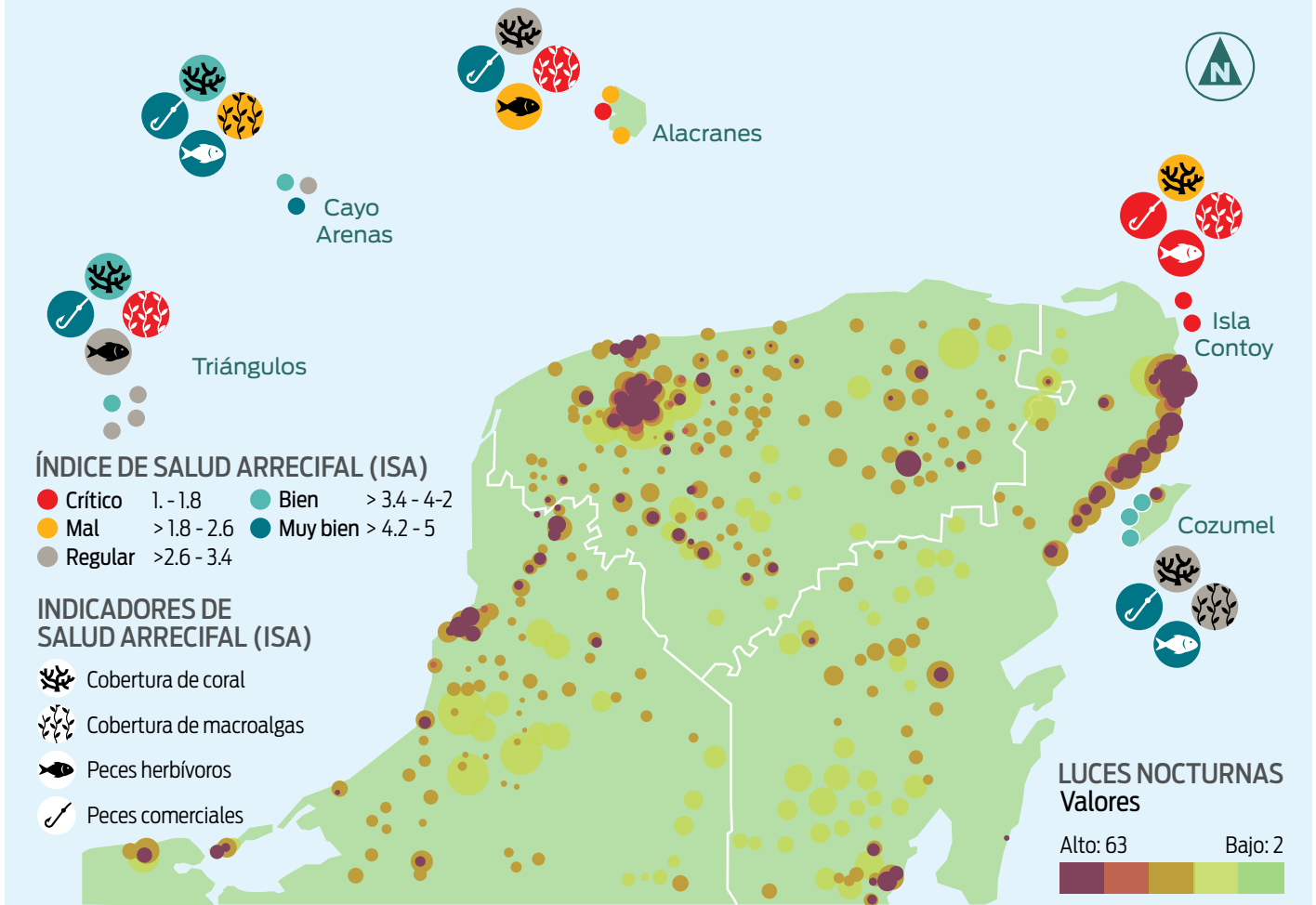


FIGURA 7. Mapa con los índices de salud de cada sitio visitados en la expedición Greenpeace 2016. Así como las condiciones de los indicadores de salud arrecifal para las localidades visitadas: Cozumel, Isla Contoy, Alacranes, Cayo Arenas y Triángulos. Las luces nocturnas de las principales ciudades de la Península de Yucatán.

En Cozumel, Isla Contoy y Alacranes, se encontraron coberturas de coral por debajo de la cobertura de macroalgas (corales <20%, algas >30%), lo que sugiere que los sitios estudiados están presentando un cambio de fase, de ecosistemas dominados por corales formadores de arrecife hacia uno dominado por macroalgas (Figura 8). Las macroalgas, son las principales productoras primarias y fijadoras de nitrógeno en el arrecife, pero un rápido aumento en la abundancia de las macroalgas carnosas se relaciona con la degradación de los arrecifes a nivel mundial, ya que compiten y ocupan el lugar que los corales dejan libre cuando mueren a causa del cambio climático, la contaminación de los mares o disturbios naturales^{37,38}.

A diferencia de las primeras tres localidades visitadas, los arrecifes en Cayo Arenas y Triángulos presentan una clara dominancia de corales en relación a la cobertura de macroalgas. Si bien esto es en general alentador, es necesario mencionar que los valores obtenidos para las macroalgas son superiores a lo que se esperaría de un arrecife completamente saludable. En

POBLACIÓN DE CORAL Y MACROALGAS POR LOCALIDAD

Porcentaje de cobertura

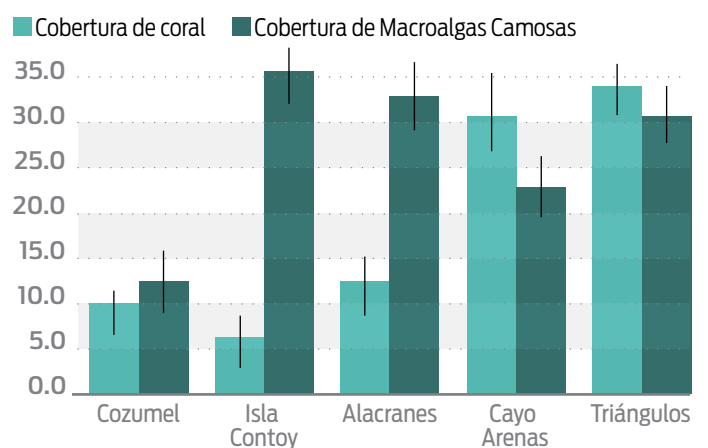


FIGURA 8. Porcentaje promedio de cobertura de coral y de macroalgas para las localidades de Cozumel, Isla Contoy, Alacranes, Cayo Arenas y Triángulos. Las barras representan el error estándar.

Cayo Arenas la cobertura de coral fue de 30.4% y mientras que las macroalgas alcanzaron 22.9%. En Triángulos la cobertura de coral fue de 34% y de macroalgas de 31% (Figura 8).

La biomasa de peces loro y cirujanos sugiere altos niveles de herbivoría, lo que se puede traducir en un eficiente control de las macroalgas, favoreciendo por lo tanto la recuperación o permanencia de corales constructores de hábitat. En Cozumel y Cayo Arenas los peces herbívoros presentaron una biomasa promedio elevada ($>3.6 \text{ Kg.100m}^2$), mientras que en Triángulos, Alacranes, Isla Contoy la biomasa promedio es menor a 2 Kg.100m^2 . La biomasa de especies de importancia comercial que se observó en las áreas protegidas de Cozumel y Alacranes fueron las más altas ($>2.7 \text{ Kg.100m}^2$), a diferencia de las localidades Isla Contoy, Cayo Arenas y Triángulos en donde se encontró biomasa menores ($<2 \text{ Kg.100m}^2$) (Figura 9).

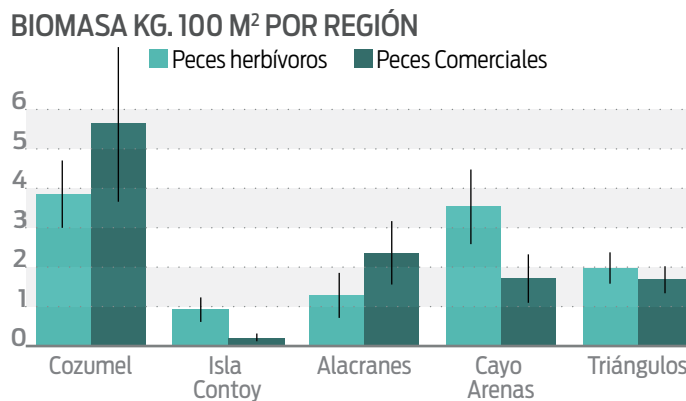


FIGURA 9. Biomasa de peces comerciales y herbívoros para las localidades de Cozumel, Isla Contoy, Alacranes, Cayo Arenas y Triángulos. Las barras representan el error estándar.

El desarrollo costero como amenaza para los arrecifes coralinos.

La creciente población humana en las costas, ha traído consigo grandes cambios en la estructura paisajística de los ecosistemas costeros, la construcción de hoteles, recintos turísticos e infraestructura, son algunos de los cambios más evidentes³⁹. Por otro lado, el ascenso en la demanda de vivienda y recursos, por parte de las poblaciones locales, así como por la industria turística, han llevado a la modificación de los ecosistemas costeros en su composición, dinámica y longitud (cambio de uso del suelo y cobertura). Actualmente se estima que el 23% de la población mundial vive a no más de 100 km de las costas⁴⁰, esto ha supuesto una gran presión sobre los ecosistemas marinos, más aún si hablamos de ecosistemas arrecifales, los cuales requieren condiciones muy específicas para desarrollarse⁴¹.

Para el Caribe Mexicano, las cosas no son muy diferentes. La explosiva dinámica del turismo, principalmente de la porción norte del estado de Quintana Roo (Figura 7), ha traído una serie de consecuencias sobre el ecosistema coralino. El estado presenta una población de aproximadamente un millón de personas y el desarrollo puede visualizarse con las luces nocturnas de sus ciudades, donde se observa una alta concentración poblacional en ciudades de la costa Norte de Quintana Roo (Figura 7). El desarrollo humano en las costas se ha relacionado con el aumento en la cantidad de nutrientes y/o contaminantes en el agua marina. Esta se deriva de la creciente demanda de agua y, por consiguiente, del aumento de las aguas residuales, las cuales pese a ser tratadas, el nivel de filtración no es el suficiente para eliminar los nutrientes y contaminantes de ésta (p. ej. metales pesados), aguas que eventualmente desembocarán en el mar de diversas formas. Si bien, el exceso de nutrientes tiene efectos más discretos al coral, estos principalmente favore-

cen el crecimiento de macroalgas. Asimismo, los contaminantes inorgánicos como los metales pesados, tienen diversos efectos adversos en los corales, los cuales van desde limitar la capacidad reproductiva y fotosintética de las colonias, hasta la muerte directa en los casos más severos.

Otra de las grandes repercusiones que trae consigo el desarrollo humano en las costas es la destrucción o modificación de los ecosistemas aledaños como dunas costeras, manglares y selvas, para satisfacer la creciente demanda de espacio, para la edificación de viviendas y desarrollos turísticos. Esto da como resultado cambios del uso del suelo y cobertura de los ecosistemas costeros como manglares y dunas costeras, de los cuales su destrucción o modificación genera una liberación de nutrientes y sedimentos⁴². Esto ocasiona un grave desequilibrio ecológico ya que los ecosistemas costeros son interdependientes y la pérdida o afectación de uno genera efectos adversos sobre el otro. Tal es el caso de los manglares, cuya principal función es el de capturar toda la materia orgánica proveniente de las cuencas hidrológicas evitando así, que lleguen al arrecife. Esto en organismos frágiles como los corales que dependen de aguas claras para realizar fotosíntesis, la cual es su principal fuente de alimento, los hace vulnerables a la aparición de diversos padecimientos.

Por lo anterior, es de esperar que los efectos del desmedido desarrollo costero de la Península de Yucatán, sean más evidentes en el Caribe Mexicano, en donde se esperaría ver, mayor cobertura de macroalgas y una menor de cobertura de coral. Esto debido a la cantidad de nutrientes liberados a la costa, como resultado de la creciente población costera y de todos los efectos que esto conlleva. Sin embargo, en la mayoría de los sitios que

fueron estudiados la cobertura de macroalgas fue elevada, tanto en sitios cercanos a la costa como los que se encuentran alejados (Figura 7). Esto nos puede estar indicando que los efectos humanos sobre los ecosistemas marinos se rigen bajo escalas de mayor magnitud. Esto lo señala el trabajo de Halpern y colaboradores en el 2008⁴³, en el cual se dieron a la tarea de evaluar el impacto humano sobre los ecosistemas marinos, donde demuestran que en la actualidad la mayor parte de los océanos se encuentra gravemente impactada por el hombre, especialmente en la región del Golfo y el Caribe. Sin embargo, es de resaltar que la cobertura de coral se mantuvo mayor que la de macroalgas en Cayo Arenas y Triángulos (Figura 8), los cuales permanecen alejados de la costa, mientras que en los arrecifes del Caribe Mexicano la proporción de coral-macroalga es dominada por macroalgas (22.6%) donde la cobertura de coral es menor (16.6%). Lo que nos puede indicar que si bien el impacto humano sobre los ecosistemas marinos se encuentran en todo el mundo, son las regiones costeras las más amenazadas por el hombre.

¿Existe evidencia de sobrepesca en los arrecifes del Caribe Mexicano y Banco Campeche?

A pesar de la naturaleza artesanal de las pesquerías en arrecifes de coral, se estima que generan ingresos anuales de más de seis billones de dólares y favorecen a 6 millones de pescadores distribuidos en casi 100 países^{44,45}. No obstante, se ha reportado que la sobrepesca ha llegado a afectar a más del 55% de los arrecifes del mundo⁴⁶, por lo que conocer sus efectos sobre las comunidades arrecifales tiene que ser una prioridad de manejo para garantizar la preservación de las especies de importancia comercial al mismo tiempo que se promueva una pesquería sustentable.

Los beneficios que ofrece el mantener en buen estado de conservación a las comunidades de peces puede conducir a aumentos en el número y tamaño de especies, entre ellas las que son objetivos de pesca, es decir, de importancia pesquera alta y moderada (comerciales) lo que es traducido en biomasa trayendo como beneficio fuente de alimento, ingresos y un mantenimiento de los servicios ecosistémicos. Es de esperar que los peces arrecifales que se encuentran bajo un régimen de protección y/o en sitios muy alejados de la costa, tendrán una condición suficientemente buena como para lograr un estado efectivo de su conservación lo que se vería reflejado en una mayor biomasa.

Clasificar las especies de peces de acuerdo a su importancia comercial (menor, moderada y alta; (Figura 10)



FIGURA 10. **A** Especie de importancia comercial alta: *Mycteroperca bonaci* y abajo, **B** especie de importancia media *Cephalopholis fulva*, ambos de la familia Serranidae. **C** Especies de importancia media *Haemulon flavolineatum* y en el fondo *Haemulon plumierii*, ambas especies de la familia Haemulidae. Abajo **D**, especie de importancia comercial baja *Pomacanthus arcuatus* familia Pomacanthidae.

puede ayudarnos a comprender el nivel de sobreexplotación que tienen las diferentes localidades visitadas. Mientras la biomasa de peces de importancia alta sea mayor estará sugiriendo un menor efecto de la pesca sobre las comunidades de peces. En este sentido en Alacranes fue la localidad donde se observó una mayor biomasa de especies de importancia comercial alta lo que sugiere que la distancia de la costa (~120 kms) y el hecho de estar dentro un ANP son factores importantes que controlan la pesca en esta localidad (Figura 11).

Para Cayo Arenas y Triángulos la historia es diferente, estas dos localidades a pesar de estar más de 150 km lejos de la costa, presentaron estimaciones de biomasa de peces de importancia comercial menores a las de Alacranes (aunque superiores al promedio de todo el Caribe), lo que sugiere que tanto Cayo Arenas como Triángulos están siendo afectadas por la sobrepesca. En parte esto se puede explicar por la falta de una estrategia de protección y el paso gradual de un régimen de pesquería artesanal a la pesquería semi-industrial que ya cuenta con tecnología que permite a los barcos poder viajar grandes distancias y almacenar grandes cantidades de producto por varios días. Por ejemplo, para el caso de Cayo Arenas se ha reportado que en un solo viaje de pesca se pueden capturar entre dos y cuatro toneladas de mero⁴⁵. En el Banco de Campeche se explotan comercialmente 17 especies de meros de los géneros *Cephalopholis*, *Epinephelus* y *Mycteroperca*, siendo el recurso mero el segundo en importancia comercial para el estado de Yucatán, después de la pesquería de pulpo⁴⁵. El recurso del mero solamente posee un par de medidas regulatorias consistentes en un periodo de veda y una cuota de captura para la flota cubana de 3,900 toneladas anuales, la cual comparte el aprovechamiento de este recurso con México. Actualmente el período de veda consiste en dos meses (1 febrero -31 marzo) pero antes, del año 2003 al año 2014, sólo consistía en un mes (15 febrero -15 marzo)^{47,48}.

Para el Caribe mexicano las estimaciones de biomasa, que incluyeron sitios tanto dentro como fuera de seis ANP (Figura 3), presentaron una mayor biomasa en comparación con los arrecifes del Banco de Campeche. Sin embargo, el Caribe también presenta evidencia de ser mayormente sobreexplotado ya que su biomasa de especies de importancia comercial fue mucho menor con respecto a las demás localidades (Figura 11). Es importante mencionar que la región del Caribe México presenta una alta variabilidad entre localidades, por ejemplo, en Cozumel se observaron los estimados de biomasa más altos de la expedición, mientras que en Isla Contoy fueron los más bajos. Es por lo tanto necesario considerar el caso particular de cada localidad dentro de la región. En este reporte se presenta

un promedio general, solo para servir en comparación con los arrecifes del Banco de Campeche.

Diversos factores son los que afectan para que exista o no sobrepesca como el aislamiento geográfico, número de personas que dependen del recurso, regulaciones, etc., pero, se puede evidenciar que a pesar de que la región del Caribe mexicano cuenta con una mayor área marina protegida, en comparación con los arrecifes ubicados en Banco Campeche, el hecho de contar con ANP no es garantía suficiente para la protección de las comunidades de peces arrecifales ya que mucho depende del manejo eficaz que se lleve a cabo en ellas²⁹.

NIVEL DE IMPORTANCIA DE LA POBLACIÓN PESQUERA Biomasa (kg/100 m²) por región

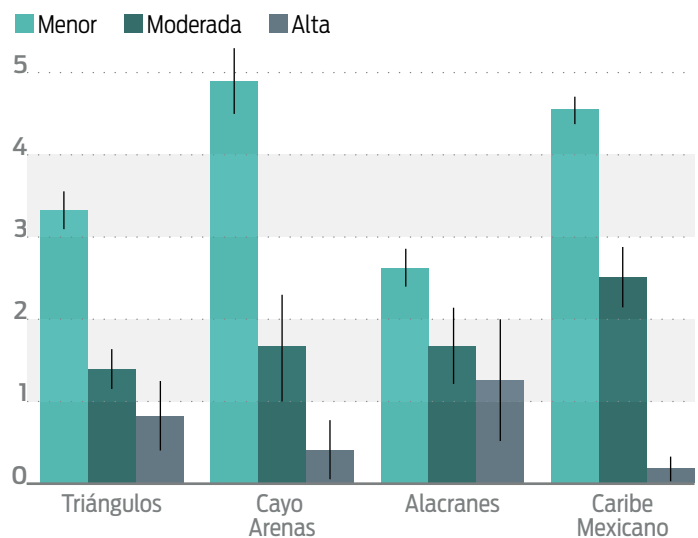


FIGURA 11. Biomasa de peces según su grado de importancia pesquera comercial (menor, moderada y alta) para el arrecife Triángulos, Cayo Arenas, Arrecife Alacranes y Caribe Mexicano. Las barras representan el error estándar.

Las especies de coral que dominan explican mucho del estado y funcionamiento de los arrecifes

Los corales constructores son aquellos que le dan estructura y complejidad al arrecife, esto provee de hábitat para diversos organismos como peces, erizos y langostas. Pero no todos los corales proveen la estructura necesaria para mantener el arrecife, esto depende de los rasgos funcionales de cada especie, como la morfología, crecimiento, reproducción, etc. Existen especies que depositan una mayor cantidad de carbonato de calcio que otras, lo que ayuda a la formación del arrecife, de igual manera si poseen una forma ramosa o masiva contribuirán a una mayor complejidad del arrecife. Darling y colaboradores⁴⁹, identificaron cuatro tipos de estrategia de vida para corales de acuerdo a distintos rasgos: especies competitivas, tolerantes al estrés, generalistas y oportunistas. Las especies competitivas son eficientes para usar los recursos del medio, dominan ambientes someros y con alta inci-

dencia de luz ya que su forma por lo general es ramosa y crean doseles para capturar más luz y competir mejor. La desventaja es que sólo pueden dominar en ambientes óptimos y son sensibles a estrés térmico y tormentas. Las especies oportunistas son de menor tamaño que las competitivas o tolerantes al estrés, su reproducción es rápida y se caracterizan por colonizar ambientes perturbados. Los corales tolerantes al estrés tienen un crecimiento lento, por lo tanto la duración de sus generaciones es mayor, esto les permite sobrevivir a largos períodos donde no haya reclutamiento y son tolerantes a la sedimentación. Tanto las especies competitivas como las tolerantes al estrés son importantes constructores arrecifales (Figura 12 y 13).

Al agrupar las especies de acuerdo a su estrategia de vida permite una mejor comparación entre sitios, de esta manera se tiene una mejor información sobre cómo los organismos interactúan entre sí y con su entorno. Siguiendo esta clasificación, se compararon los arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano, del Banco de Campeche y los del Caribe Mexicano (Figura 14) para observar la variación entre los tres sistemas arrecifales que existen en el suroeste-sureste de México. Para el Sistema Arrecifal Veracruzano se utilizaron los datos presentes en el libro “Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México” publicado en 2015⁵¹.

El estudio resalta que las especies competitivas tienen un porcentaje de cobertura bajo (<5%) en el Caribe Mexicano; en gran medida se debe a que entre 1970-1980 el importante constructor de arrecife *Acropora palmata* sufrió un declive en su cobertura como consecuencia de un epidemia de la enfermedad conocida como banda blanca⁴⁹ y las poblaciones no se han podido recuperar. Sin duda es un foco de vulnerabilidad, ya que al perderse estos corales se disminuye considerablemente la tridimensionalidad en los arrecifes, disminuyendo así la capacidad de albergar comunidades saludables de peces y proveer servicios ambientales como la protección costera^{52,53}.

Las especies que son tolerantes al estrés presentan un mayor porcentaje en los arrecifes de Veracruz y de Campeche, en especial en el Arrecife Triángulos, lo cual es un indicador de que las condiciones ambientales en estas zonas favorecen el crecimiento de este tipo de especies, lo que convierte al Banco de Campeche en un sitio clave para la conservación, ya que las especies especies tolerantes al estrés son más resilientes a las perturbaciones y en un futuro podrían dominar las aguas cálidas junto con las especies oportunistas⁵⁴ (Figura 14).

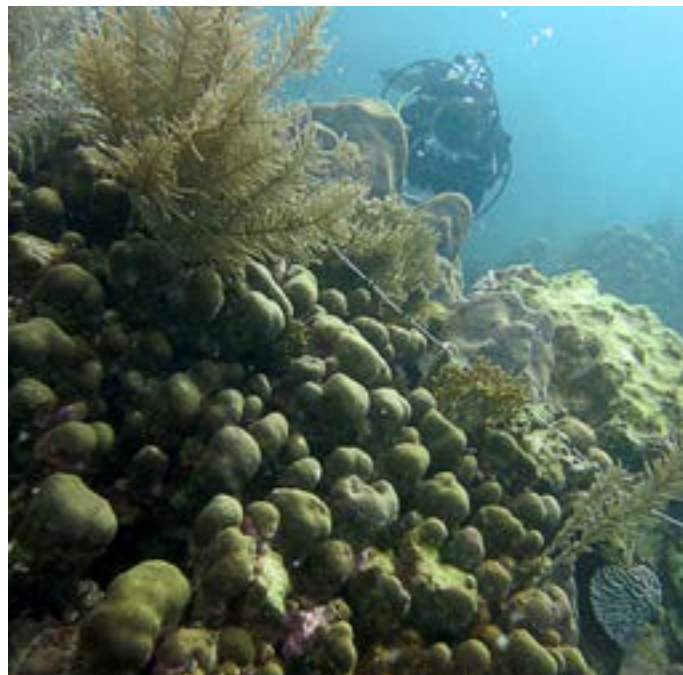


FIGURA 12. Especies de coral tolerantes al estrés (*Siderastrea siderea* y *Orbicella annularis*) (© Sara Melo-Merino).



FIGURA 13. A la izquierda especies de corales oportunista *Agaricia tenuifolia* y *Porites astreoides* (©Nuria Estrada-Saldívar y ©Lorenzo Álvarez-Filip). A la derecha especies de corales competitivas *Acropora palmata* y *Acropora sp.* (©Sara Melo-Merino y ©Lorenzo Álvarez-Filip).

En cuanto a las especies oportunistas, el mayor porcentaje se encontró en el Caribe (Figura 14), con 7%, mientras que en las otras regiones fue $\leq 2\%$. Esto resalta que en el Caribe, donde antiguamente dominaban los corales tolerantes al estrés y competitivos, hoy en día están siendo reemplazados por los oportunistas, quienes tienen mejores características para competir con las condiciones actuales del ambiente.

ESTRATEGIA DE VIDA

Cobertura de coral % por localidad

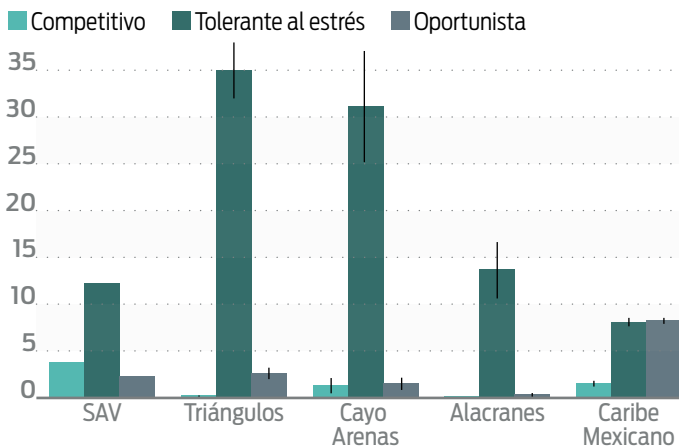


FIGURA 14. Porcentaje promedio de cobertura de los distintos tipos de corales para las localidades de Triángulos, Cayo Arenas, Alacranes y Caribe Mexicano. *Los datos del SAV fueron extraídos de Pérez *et al.*, 2015⁵⁰. Las barras representan el error estándar.

El cambio climático representa una amenaza para los arrecifes del banco de Campeche

En la actualidad, es ampliamente aceptado que el cambio climático global es resultado de las actividades humanas debido al incremento en las emisiones de gases de efecto invernadero hacia la atmósfera, principalmente de bióxido de Carbono (CO_2)⁵⁵. Los arrecifes coralinos se desarrollan en condiciones ambientales particulares lo que los vuelve especialmente vulnerables a los cambios en el ambiente. Varios aspectos del cambio climático están afectando a los arrecifes, sin embargo, los más importantes son la acidificación oceánica y el incremento en la temperatura del agua.

La acidificación oceánica implica la disminución progresiva en el pH del agua debido al aumento en la cantidad de CO_2 que se disuelve en el océano, el cual, a través de un proceso químico deriva en la disminución de iones de carbonato que se encuentran disponibles para los organismos que lo utilizan para producir esqueletos de carbonato de calcio como los corales y los moluscos⁵⁶.

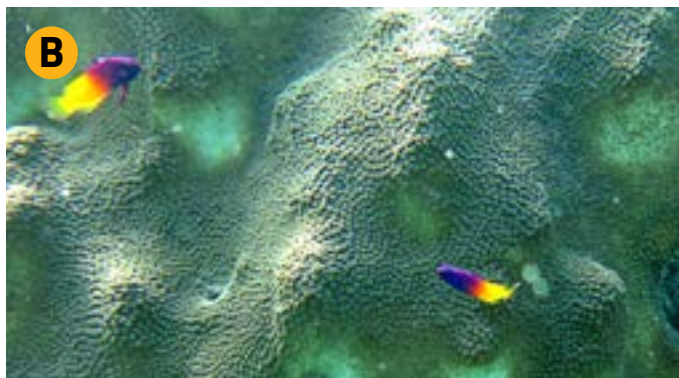


FIGURA 15. **A** Arrecife de Triángulos con múltiples colonias blanqueadas (©Lorenzo Álvarez-Filip). **B** Corales que presentan blanqueamiento *Orbicella faveolata* y **C** *Montastraea cavernosa*. (©Sara Melo-Merino).

El fenómeno conocido como blanqueamiento coraliño es la ruptura de la relación simbiótica entre el coral y su simbiote (*Symbiodinium*). Aunque los corales pueden sufrir blanqueamiento por diversas causas como cambios en la salinidad o por enfermedades, la causa más común es el incremento en la temperatura del agua⁵⁷. El blanqueamiento puede disminuir la capacidad reproductiva de los corales y su tasa de crecimiento, además ha sido causa de mortandades masivas en las últimas décadas²⁶ (figura 15).

Otra de las implicaciones del incremento en la temperatura del océano, es el aumento en la prevalencia y severidad de las enfermedades que afectan a los distintos organismos, ya que puede favorecer la virulencia de los patógenos y favorecer la susceptibilidad de los organismos al estar sometidos a condiciones de

estrés⁵⁸. En todas las localidades visitadas solo se encontraron 2 colonias enfermas en Alacranes y 6 en Triángulos, lo que indica que los arrecifes visitados presentan una baja incidencia de enfermedades.

Los eventos de blanqueamiento se han hecho más frecuentes y severos a partir de los años 1980s. En los arrecifes del Caribe los eventos de blanqueamiento relacionados con el estrés térmico comenzaron a adquirir mayor atención en los años 1980s y 1990s²⁶. En esta región se han presentado varios eventos de blanqueamiento masivo, sin embargo uno de los más fuertes se presentó en el año 2005, debido a una anomalía térmica que se presentó en el Atlántico tropical y Mar Caribe⁵⁹. En este evento, cerca del 80% de los corales sufrieron blanqueamiento y alrededor del 40% murieron⁶⁰. Durante el viaje realizado en el *Rainbow Warrior III*, se observaron un gran número de colonias con blanqueamiento total o parcial, principalmente en el arrecife Triángulos ubicado en el Banco de Campeche, en el cual el 38.60% del total de colonias coralinas presentó algún signo de blanqueamiento (Figura 16).

En el año 2010, se registró otro evento de blanqueamiento masivo a la región del Caribe. En este año, Alemu y Clement (2014)⁶¹ evaluaron el estado de las colonias coralinas en arrecifes de Tobago, donde encontraron un alto porcentaje de colonias con blanqueamiento y a las especies del género *Orbicella*, *Colpophyllia natans*, *Pseudodiploria* spp. y a *Siderastrea siderea* como las especies más vulnerables. Lo observado en

COLONIAS CON BLANQUIAMIENTO (%) POR LOCALIDAD

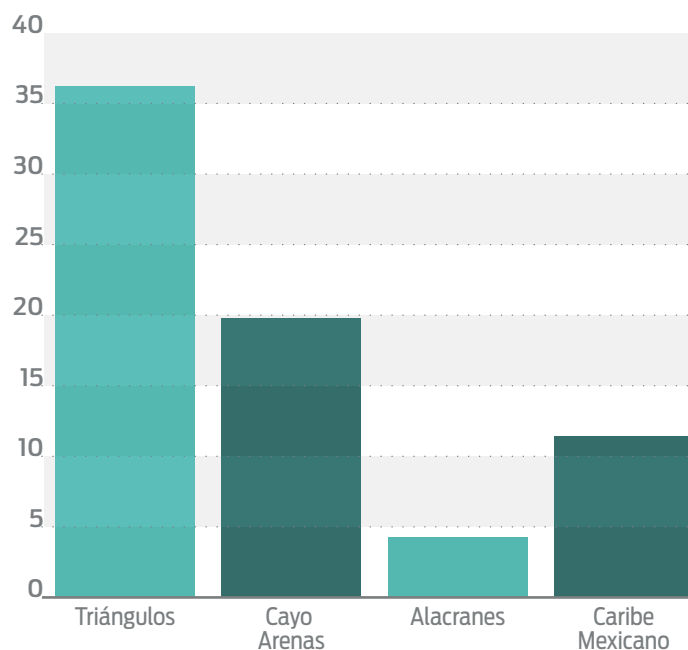


FIGURA 16. Porcentaje de colonias con signos de blanqueamiento en Triángulos, Cayo Arenas, Alacranes y Caribe Mexicano.

los arrecifes del Caribe y Banco de Campeche coincide con este resultado, ya que los géneros de coral que mostraron un mayor número de colonias con signos de blanqueamiento fueron *Orbicella*, *Montastraea*, *Siderastrea* y *Pseudodiploria* (Figura 17). Este es un dato relevante, ya que se trata de especies masivas consideradas importantes en la construcción de los arrecifes.

COLONIAS CON BLANQUIAMIENTO (%) POR GÉNERO

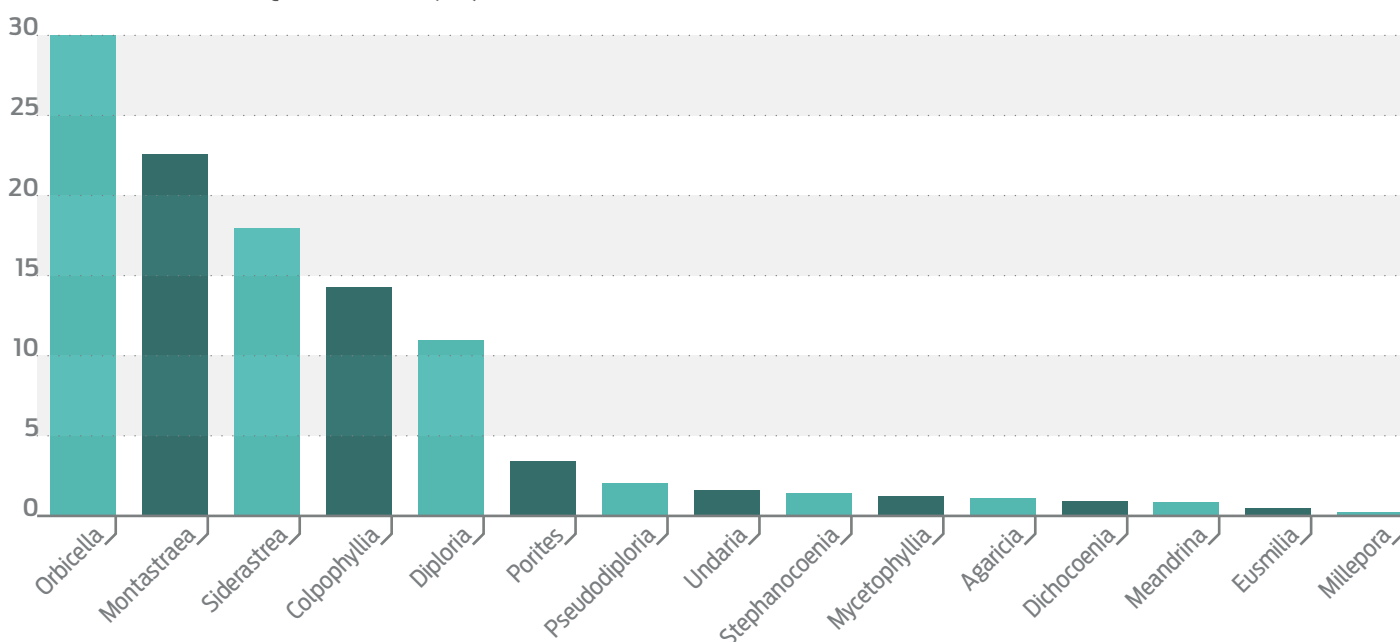


FIGURA 17. Porcentaje de colonias coralinas que presentaron signos de blanqueamiento de los géneros: *Orbicella*, *Montastraea*, *Colpophyllia*, *Diploria*, *Porites*, *Pseudodiploria*, *Undaria*, *Stephanocoenia*, *Mycetophyllia*, *Agaricia*, *Dichocoenia*, *Meandrina*, *Eusmilia* y *Millepora*.

CONCLUSIONES

Los arrecifes, visitados durante la expedición de diciembre del 2016, se encuentran en las localidades de Cozumel, Isla Contoy, Alacranes, Cayo Arenas y Triángulos, los cuales están protegidos contra la exploración y extracción de hidrocarburos por estar dentro de la zona decretada de salvaguarda “Arrecifes de Coral del Golfo de México y del Caribe Mexicano”, los arrecifes de Cozumel, Isla Contoy y Alacranes además se encuentran dentro de un Área Natural Protegida, a diferencia de Cayo Arenas y Triángulos, localidades que no se encuentran protegidos dentro de una ANP, quedando así vulnerables a explotación pesquera y turística.

Cabe destacar que en Cayo Arenas se encontró uno de los arrecifes más conservados, ya que presentó una condición arrecifal muy buena, siendo el único de todos los arrecifes visitados que pudo lograr tal condición. Se esperaría encontrar la misma condición en los arrecifes de Triángulos, por su cercanía con Cayo Arenas, pero esta localidad presentó condiciones arrecifales buenas y regulares. La lejanía de Cayo Arenas y Triángulos con asentamientos humanos no protege a sus arrecifes de los efectos del cambio climático, en donde el aumento de la temperatura del mar por períodos prolongados ocasiona que los corales sufran algún tipo de blanqueamiento. Triángulos fue la localidad con el porcentaje más alto de colonias blanqueadas (38.6%), seguido de Cayo Arenas (21%). El blanqueamiento de las colonias puede provocar la muerte del coral. Por lo tanto a pesar de que estas localidades presentan coberturas de coral altas (>30%) estos arrecifes son altamente vulnerables al cambio climático. No solo el cambio climático es una amenaza para los arrecifes de esta región, la baja biomasa de peces de importancia comercial encontrada en Cayo Arenas y Triángulos es la evidencia de que existen actividades pesqueras. Por las múltiples amenazas a los que están expuestos los arrecifes del Banco de Campeche necesitan mayor protección.

Un antecedente para la protección de los arrecifes del Banco de Campeche es el diagnóstico para la creación de una Reserva

de la Biosfera de los Arrecifes de Campeche, realizado por González A. y Torruco D. en el 2002⁶², en el que indican que los arrecifes del Banco de Campeche tienen un alto valor ecológico, genético, estético y son áreas importantes de pesca comercial de langosta, caracol y mero. Los arrecifes de Cayo Arenas y Triángulos, al ser ecosistemas prístinos, con poco impacto humano, altas coberturas de coral, un alto porcentaje de especies de coral tolerantes al estrés, incluso mayor de los que se encuentran en el SAV y el Caribe mexicano, tienen un gran potencial para solicitar la creación de una ANP, en México y en el mundo; las ANP han sido una de las herramientas principales para la conservación de arrecifes.

Tal es el caso de las ANP en el Caribe Mexicano, en donde antes de diciembre del 2016, protegían a un 80% de los arrecifes (datos de la CONANP y Kramer P., M., 2015). Con el decreto de la nueva Reserva del Gran Caribe Mexicano, el 100% de los arrecifes del Caribe fueron incluidos a una ANP, pero ¿Qué consecuencias puede tener este nuevo estado de protección para los arrecifes del Caribe? Tener un área tan grande de protección podría diluir los esfuerzos de conservación que las ANP preexistentes han implementado en sus zonas arrecifales. Para el año 2016 las dependencias de la CONANP de Quintana Roo tuvieron un fuerte recorte de presupuesto y de personal, lo anterior no les permitía hacer una adecuada vigilancia de sus áreas, además muchas de las dependencias no tuvieron la oportunidad de realizar su programa de monitoreo biológico anual, perdiendo valiosa información acerca del estado de salud de sus arrecifes en ese año. Los arrecifes son ecosistemas vulnerables y las ANP deben invertir en conocer los estados de salud de sus arrecifes, de esta manera se puede tomar decisiones a conciencia del manejo de sus áreas. Los arrecifes del Banco de Campeche están poco estudiados, la creación de una ANP, a pesar de todos los problemas actuales, permitiría en un futuro un monitoreo sistematizado que podría ayudar a la generación de nuevo conocimiento de la región.

LITERATURA CITADA

- ¹Spalding, M., Ravilious, C., & Green, E. P. (2001). World Atlas of Coral reefs. Univ of California Press.
- ²Allen G. 2008. Conservation hotspots of biodiversity and endemism for Indo-Pacific coral reef fishes. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 18 (5): 541-556.
- ³Nelson J. 2006. *Fishes of the World*. Fourth Edition. John Wiley & Sons, New York, 624 pp.
- ⁴Froese, R. & D. Pauly. (2017). FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (02/2017).
- ⁵Moberg, F., & Folke, C. (1999). Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecological Economics*, 29(2), 215-233.
- ⁶WWF. 2006. Mejores prácticas de pesca en arrecifes coralinos. Guía para la colecta de información que apoye el Manejo de Pesquerías Basado en Ecosistemas. WWF México/Centroamérica. Pp. 81
- ⁷Ferrario, F., Beck, M. W., Storlazzi, C. D., Micheli, F., Shepard, C. C., & Airolidi, L. (2014). The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation. *Nature communications*, 5, 3794.
- ⁸Hughes, T. P., Barnes, M. L., Bellwood, D. R., Cinner, J. E., Cumming, G. S., Jackson, J. B., & Palumbi, S. R. (2017). Coral reefs in the Anthropocene. *Nature*, 546(7656), 82-90.
- ⁹Barnes, R. D. (1974). *Invertebrate zoology*. 3d ed. Saunders, Philadelphia. 870 pp.
- ¹⁰Jordán Dahlgren y R. E. Rodríguez Martínez. (2003). The Atlantic coral reefs of Mexico. En Cortés, J. *Latin American Coral Reefs*. ELSEVIER. Países Bajos. Pp. 131-158.
- ¹¹Chávez A., E., J.W. Tunnell Jr y K. Withers. (2010). Zonación y Ecología de los Arrecifes: Plataforma Veracruzana y Banco de Campeche. En. Tunnell. J.W. Jr, E. A. Chávez y K. Withers. *Arrecifes Coralinos del sur del Golfo de México*. Instituto Politécnico Nacional. México. Pp. 60-100.
- ¹²Ortiz-Lozano, L., Pérez-España, H., Granados-Barba, A., González-Gándara, C., Gutiérrez-Velázquez, A., & Martos, J. (2013). The reef Corridor of the Southwest Gulf of Mexico: challenges for its management and conservation. *Ocean & Coastal Management*, 86, 22-32.
- ¹³Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2016. Estudio Previo Justificativo para la declaratoria de la Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano, Quintana Roo. 305 páginas. Incluyendo tres anexos.
- ¹⁴Hernández-Landa, R. C. (2004). Variación espacial de la cobertura de corales escleractineos y descripción de condición arrecifal a lo largo del Caribe mexicano y un arrecife del Banco de Campeche (Doctoral dissertation, Tesis de maestría. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional-Unidad Mérida, Mérida).
- ¹⁵Ardisson P.-L., M. A. May-Kú, M. T. Herrera-Dorantes y A. Arellano-Guillermo. (2011). El Sistema Arrecifal Mesoamericano-México: consideraciones para su designación como Zona Marítima Especialmente Sensible. *Hidrobiológica* 21(3): 261-280.
- ¹⁶Whither, K. y J.W. Tunnell Jr. (2007) Biodiversidad de los Arrecifes. En: Tunnell J. W., Chávez E. A y K. Withers (Eds.). 2007. *Arrecifes coralinos del Sur del Golfo de México*. Texas A y M. University Press. 194 pp.
- ¹⁷Conabio, 2000. Estrategia nacional sobre biodiversidad de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- ¹⁸Diario Oficial de la Federación, Decreto por el que se establece la zona de salvaguarda denominada Arrecifes de Coral del Golfo de México y Caribe Mexicano en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5464472&fecha=07/12/2016.
- ¹⁹Kelleher, G. (1999). Guidelines for marine protected areas. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- ²⁰Mora, C., Andréfouët, S., Costello, M. J., Kranenburg, C., Rollo, A., Veron, J., ... & Myers, R. A. (2006). Coral reefs and the global network of marine protected areas. *SCIENCE-NEW YORK THEN WASHINGTON*, 2006, 1750.
- ²¹Wells, S., Ray, G. C., Gjerde, K. M., White, A. T., Muthiga, N., Bezaury Creel, J. E., Reti, J. (2016). Building the future of MPAs - lessons from history. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 26, 101-125
- ²²Mouillot, D., Parravicini, V., Bellwood, D. R., Leprieux, F., Huang, D., Cowman, P. F., Guilhaumon, F. (2016). Global marine protected areas do not secure the evolutionary history of tropical corals and fishes. *Nature Communications*, 7(JANUARY), 10359.
- ²³D'Agata, S. et al. (2014). Human-mediated loss of phylogenetic and functional diversity in coral reef fishes. *Curr. Biol.* 24, 555-560.
- ²⁴Hoyt E. (2005). *Marine Protected Areas for Whales, Dolphins and Porpoises: a World Handbook for Cetacean Habitat Conservation*, Earthscan: London.
- ²⁵DOF: 07/12/2016. DECRETO por el que se declara Área Natural Protegida, con el carácter de reserva de la biosfera, la región conocida como Caribe Mexicano. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5464450&fecha=07/12/2016
- ²⁶Baker, A. C., Glynn, P. W., & Riegl, B. (2008). Climate change and coral reef bleaching: An ecological assessment of long-term impacts, recovery trends and future outlook. *Estuarine, coastal and shelf science*, 80(4), 435-471.
- ²⁷Suchley, A., McField, M. D., & Alvarez-Filip, L. (2016). Rapidly increasing macroalgal cover not related to herbivorous fishes on Mesoamerican reefs. *PeerJ*, 4, e2084.
- ²⁸Arias-González JE, Fung T, Seymour RM, Garza-Pérez JR, Acosta-González G, Bozec Y-M, et al. (2017) A coral-algal phase shift in Mesoamerica not driven by changes in herbivorous fish abundance. *PLoS ONE* 12(4): e0174855. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174855>.
- ²⁹Gill, D. A., Mascia, M. B., Ahmadi, G. N., Glew, L., Lester, S. E., Barnes, M., Fox, H. E. (2017). Capacity shortfalls hinder the performance of marine protected areas globally. *Nature*.
- ³⁰Pinkus, M. J., Pinkus, M. a., & Ortega-Rubio, A. (2014). Recomendaciones para el manejo sustentable en las áreas naturales protegidas en México. *Investigación Y Ciencia*, 103-115.
- ³¹Chacón-Fregos, G. I y Garduño-Arredondo, J. (2017). ¿Cuánto invierte el gobierno en la protección de nuestro hogar... nuestro patrimonio natural?. En: <http://northeastlamira.org.mx/wp-content/uploads/2017/03/infografia-APN-web.pdf>.
- ³²Lang, J. C., Marks, K. W., Kramer, P. A., Kramer, P. R., & Ginsburg, R. N. (2010). AGRRA protocols version 5.4. Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment, Miami, FL.
- ³³Gardner, T., Côté, I., Gill, J., Grant, A., & Watkinson, A. (2003). Long-Term Region-Wide Declines in Caribbean Corals. *Science*, 301(5635), 958-960. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/3834842>
- ³⁴Jackson JBC, Donovan MK, Cramer KL, Lam VV (editors). (2014) Status and Trends of Caribbean Coral Reefs: 1970-2012. *Global Coral Reef Monitoring Network*, IUCN, Gland, Switzerland.
- ³⁵Kramer P., M. McField, L. Álvarez Filip, I. Drysdale, M. Rueda Flores, A. Giró y R. Pott. (2015). Reporte de la Salud Ecológica del Arrecife Mesoamericano 2015. Iniciativa Arrecifes Saludables. Disponible en: <http://www.healthyreefs.org>.
- ³⁶Batista, D., Gonçalves, J. E. A., Messano, H. F., Altwater, L., Candella, R., Elias, L. M. C., & Coutinho, R. (2017). Distribution of the invasive orange cup coral *Tubastraea coccinea* Lesson, 1829 in an upwelling area in the South Atlantic Ocean fifteen years after its first record. *Aquatic Invasions*, 12(1), 23-32.
- ³⁷McCook, L. J. (1999). Macroalgae, nutrients and phase shifts on coral reefs: scientific issues and management consequences for the Great Barrier Reef. *Coral reefs*, 18(4), 357-367.
- ³⁸Hughes, T. P., Graham, N. A., Jackson, J. B., Mumby, P. J., & Steneck, R. S. (2010). Rising to the challenge of sustaining coral reef resilience. *Trends in ecology & evolution*, 25(11), 633-642.

³⁹Rogers A, Blanchard JL, Mumby PJ (2014) Vulnerability of coral reef fisheries to a loss of structural complexity. *Current Biology*, 24, 1000–1005.

⁴⁰Nicholls, R.J., P.P. Wong, V.R. Burkett, J.O. Codignotto, J.E. Hay, R.F. McLean, S. Ragoonaden and C.D. Woodroffe, 2007: Coastal systems and low-lying areas. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 315–356.

⁴¹Wilson, S. K., Graham, N. A., Pratchett, M. S., Jones, G. P., & Polunin, N. V. (2006). Multiple disturbances and the global degradation of coral reefs: are reef fishes at risk or resilient?. *Global Change Biology*, 12(11), 2220–2234.

⁴²Richmond, R. H., & Wolanski, E. (2011). Coral research: past efforts and future horizons. In *Coral Reefs: An ecosystem in transition* (pp. 3–10). Springer Netherlands.

⁴³Halpern, B. S., Walbridge, S., Selkoe, K. A., Kappel, C. V., Micheli, F., D'agrosa, C., & Fujita, R. (2008). A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319(5865), 948–952.

⁴⁴Cesar, H., Burke, L. and Pet-Soede, L. (2003) The economics of worldwide coral reef degradation. Cesar Environmental Economics Consulting, 23 pp.

⁴⁵Teh, L.S.L., Teh, L.C.L. and Sumaila, U.R. (2013) A global estimate of the number of coral reef fishers. *PLoS ONE* 8, e65397. Tunnell J. W., Chávez E. A y K. Withers (Eds.). 2007. *Coral reefs of the southern gulf of Mexico*. Texas A. y M. University Press. 194 pp.

⁴⁶Burke L, Reynter K, Spalding M, Perry A (2011) *Reefs at risk revisited*. Washington, DC: World Resources Institute. 112.

⁴⁷Tuz-Suñub, A. (2007). *Agregaciones de desove de mero (Serranidae: Epinephelus sp. Y Mycteroperca sp.) en áreas de Banco de Campeche, Yucatán, México*. Tesis doctoral. Centro de investigación y de estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Mérida, Yucatán, México.

⁴⁸Diario Oficial de la Federación. (2015). ACUERDO por el que se modifica el similar por el que se establece veda para la captura de todas las especies de mero en las aguas de jurisdicción federal del Golfo de México correspondientes al litoral de los estados de Campeche, Yucatán y Quintana Roo, publicado el 14 de febrero de 2007.

⁴⁹Darling, E. S., Alvarez Filip, L., Oliver, T. A., McClanahan, T. R., & Côté, I. M. (2012). Evaluating life history strategies of reef corals from species traits. *Ecology Letters*, 15(12), 1378–1386.

⁵⁰Pérez-España, H., P.S. Ávila-Gutiérrez, S.M. Melo-Merino, P. Berumen-Solórzano y R.R. Flores-Arévalo (2015). Patrones interanuales e interarrecifales de las comunidades de peces, corales y equinodermos del Sistema Arrecifal Veracruzano. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal, and C. González-Gándara (eds.) *Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche. 366 Pp.

⁵¹Aronson, R.B., & Precht, W.F. (2001). White-band disease and the changing face of Caribbean coral reefs. *Hydrobiologia*, 460(1–3), 25–38.

⁵²Alvarez-Filip, L., Dulvy, N. K., Gill, J. A., Côté, I. M., & Watkinson, A. R. (2009). Flattening of Caribbean coral reefs: region-wide declines in architectural complexity. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 276(1669), 3019–3025.

⁵³Alvarez-Filip, L., Dulvy, N. K., Côté, I. M., Watkinson, A. R., & Gill, J. A. (2011). Coral identity underpins architectural complexity on Caribbean reefs. *Ecological Applications*, 21(6), 2223–2231.

⁵⁴Baumann, J. H., Townsend, J. E., Courtney, T. A., Aichelman, H. E., Davies, S. W., Lima, F. P., & Castillo, K. D. (2016). Temperature regimes impact coral assemblages along environmental gradients on lagoonal reefs in Belize. *PLoS one*, 11(9), e0162098.

⁵⁵Sammarco, P. W., & Strychar, K. B. (2009). Effects of climate change/global warming on coral reefs: adaptation/exaptation in corals, evolution in zooxanthellae, and biogeographic shifts. *Environmental Bioindicators*, 4(1), 9–45.

⁵⁶Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steeneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., ... & Knowlton, N. (2007). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *science*, 318(5857), 1737–1742.

⁵⁷Yee, S. H., & Barron, M. G. (2010). Predicting coral bleaching in response to environmental stressors using 8 years of global-scale data. *Environmental monitoring and assessment*, 161(1), 423–438.

⁵⁸Bruno, J. F., Selig, E. R., Casey, K. S., Page, C. A., Willis, B. L., Harvell, C. D., ... & Melendy, A. M. (2007). Thermal stress and coral cover as drivers of coral disease outbreaks. *PLoS Biol*, 5(6), e124.

⁵⁹Alemu, J. B., & Clement, Y. (2014). Mass coral bleaching in 2010 in the southern Caribbean. *PLoS one*, 9(1), e83829

⁶⁰Wilkinson, C., Souter, D. (2008). Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005. *Global Coral Reef Monitoring Network, and Reef and Rainforest Research Centre*, Townsville, 152 p.

⁶¹Eakin, C. M., Morgan, J. A., Heron, S. F., Smith, T. B., Liu, G., Alvarez-Filip, L., ... & Brandt, M. (2010). Caribbean corals in crisis: record thermal stress, bleaching, and mortality in 2005. *PLoS one*, 5(11), e13969.

⁶²González, A., & Torruco, D. (2002). *Diagnóstico para la Creación de una Reserva de la Biosfera en los Arrecifes de Campeche, México*, 55th Gulf and Caribbean Fisheries Institute-Tentative.

AGRADECIMIENTO



Estos resultados se obtuvieron gracias a la invaluable ayuda de la tripulación del RW.