



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

Evaluación del estado de conservación en sitios de buceo ubicados en el ecosistema arrecifal en Mahahual Quintana Roo, México, utilizando el método AGRRA

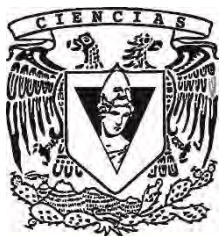
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

ANA DANIELA ROMERO GARCÍA



DIRECTORA DE TESIS:

Dra. Nadia Sandoval Laurrabaquio Alvarado

JURADO

Presidenta: Dra. Ana Margarita Hermoso Salazar

Vocal: Dra. María Geovana León Pech

Suplente 1: M. en C. Christian Lambarri Martínez

Suplente 2: Dr. Arturo García Gómez

Ciudad de México, 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Nadia por toda la paciencia, tiempo y confianza que depositaste en mí, además de todo el tiempo invertido en este proyecto, sin tu apoyo, consejos y amistad, no hubiera logrado nada.

Agradezco también a Takata Research Center por financiar la salida a campo con los tanques y equipo de buceo, la lancha y el material empleado para los muestreos, además del espacio, tiempo y confianza brindada para hacer las pláticas del proyecto.

También a AGRAA y a Healthy Reefs for Healthy People por el análisis y procesamiento de los datos colectados y los datos que nos regalaron.

A Esmeralda Pérez por enseñarme y darme la confianza de hacer los monitoreos con AGRRA en bentos y su participación en el censo de corales, también a Liv Moudy por participar con el censo de peces junto con Nadia, a Andrea Rivera Sosa por ayudarme con el censo en bentos y sus consejos, además de calmar mis nervios, a Geovana por el apoyo en la revisión del escrito, y el conocimiento compartido, además de sacar la complejidad Topográfica y al Capi por llevarnos.

A mi mami por siempre creer y confiar en mí, además de apoyarme en las buenas, en las malas y en las peores, por alentarme a seguir todas las veces que quería renunciar y sobre todo por tu amor y por hacerme la persona que soy. Te amo y te respeto.

A mi papá, por todas las risas y peleas, pero sobre todo por la confianza y cariño por tu amor incondicional y todo el apoyo, aunque a veces no te guste. Te amo más que a las chivas.

Toto, por conocerme desde que quería escribir un libro sobre el sexo del huevo, por ver mi trance a ser hippie en Mahahual, por las peleas, lágrimas y risas, por el amor, por cuidar mis dientes y porque pese a todo, aquí seguimos, desde CCH hasta la eternidad y nimodooooo, BB pausa BB. Te amo.



A la Tori y a la Licha que no podían faltar en este pequeño papeleo porque aunque no lo van a leer, me salvaron de la depresión y se desvelaron conmigo haciendo tareas. Las amo peludas.

A Mahahual de mi corazón por cambiarme la vida y por convertirte en mi segundo hogar.

A cada uno de mis sinodales, porque fueron personas que marcaron un punto importante en cuanto a mi formación profesional, desde CCH, hasta mi última clase en la facultad.

Y por último a 3 personas que cambiaron mi vida por completo, sin esperarlas, mis confidentes, mis compañeras de aventuras y de desgracias, de fiestas y de viajes, por dejarme ser la más sentimentitos y encajar por primera vez siendo al cien yo, amigas las amo con toda mi alma. Gracias por calmarme y centrarme, por todas las risas y el amor que me han dado, sin pedirlo o esperarlo, se convirtieron en mis hermanas “Jojito y las mojitos”, no me queda nada más que decirles más que estoy demasiado orgullosa de todo lo que han logrado, las amo, gracias y siempre tendrán a su fan #1. Dianita, Jojito y Valeria.



DEDICATORIA

A mí, por demostrarme que puedo cumplir lo que me propongo y quiero, que los sueños si se cumplen, que soy capaz de muchas cosas y que esto puede ser el principio de algo grande, que los esfuerzos y la paciencia dan sus frutos y que estamos rodeados de pequeñas maravillas.

A ti que estás leyendo esto, espero que te sirva de algo o te siembre una semilla de curiosidad.

“El mar es tu hogar antes de tu nacimiento y después de tu muerte. Nuestros corazones laten en la matriz del mundo”



ÍNDICE

Resumen.....	1
Introducción.....	2
Justificación.....	3
Antecedentes y Marco Teórico.....	4 a 11
Hipótesis.....	12
Objetivos.....	13
Área de Estudio.....	14 a 16
Método.....	17 a 19
Resultados.....	20 a 28
Discusión.....	29 a 36
Conclusiones.....	37
Bibliografía.....	38 a 47
Glosario.....	48 a 51
Anexos.....	52 a 72



RESUMEN

El presente estudio constituye una evaluación detallada de diez parches arrecifales en Mahahual, Quintana Roo, realizados entre 2021 y 2022 por medio de la metodología AGRRA, mediante la cual se generan bases de datos que permiten detectar cambios de la comunidad bentónica, coralina y de algunos peces, así como estimar un índice de salud arrecifal relacionado con el estado de conservación de los sitios.

Se registraron 28 especies de corales hermatípicos (formadores de arrecife), siendo los más abundantes: *Agaricia agaricites*, *Orbicella* sp., *Porites asteroides* y *Siderastrea siderea*, y 49 especies de peces, de las consideradas en la metodología AGRRA, resaltando: *Cephalopholis cruentata*, *Scarus* sp., *Sparisoma* sp., *Haemulon* sp. y *Lutjanus* sp. Se observó una cobertura muy baja de coral vivo (% LC igual a 9.2 en promedio), una cobertura algal relativamente alta (% MA igual a 28.4 en promedio) y una biomasa de peces promedio alta (BP igual a 5 763 g/100m²), además de otros estimadores como bajas densidades de invertebrados móviles, una nula complejidad topográfica y bajo porcentaje de enfermedades coralinas.

En general, mediante los parámetros evaluados en este estudio, es posible concluir que los arrecifes de Mahahual se encuentran afectados, ya que para definir a un arrecife como saludable, entre otros factores, se considera que el porcentaje de cobertura de coral vivo, debe ser mayor que el algal, fenómeno que no se cumple en Mahahual. Esto resalta la necesidad de la creación e implementación de medidas locales que garanticen la protección del ecosistema arrecifal con base en su capacidad de carga, y el cumplimiento de las leyes ambientales que se aplican en esta zona al pertenecer a la Reserva de la Biosfera del Caribe Mexicano.

INTRODUCCIÓN

La evaluación del estado de conservación de los ecosistemas costeros mediante un monitoreo sistemático es necesaria para la implementación de planes y estrategias de manejo (Espinoza *et al.*, 2014), considerando que el desarrollo en estas zonas ha estado expandiéndose y acelerando procesos naturales, generando impactos ambientales preocupantes. Actualmente, se ha observado un deterioro paulatino y una disminución drástica de la diversidad en los arrecifes del mundo, acompañado de un cambio de fase, fenómeno que se genera gracias a cambios en la dominancia de los componentes bióticos, el incremento de nutrientes y la reducción de herbívoros, generando el desplazamiento de los corales por medio de las algas (Chuc *et al.*, 2012).

La iniciativa de Arrecifes Saludables generó el protocolo AGRRA (por sus siglas en inglés para Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment) en 1998, con el objetivo de evaluar atributos estructurales y funcionales de los arrecifes coralinos en el Golfo de México y el Caribe y el Atlántico (McField y Kramer, 2007). Aplicando una técnica estandarizada para examinar de manera regional el estado de salud de los arrecifes, centrándose en 4 estimadores: la cobertura coralina, la cobertura de macroalgas carnosas, la biomasa de peces comerciales y la biomasa de peces herbívoros (Lang *et al.*, 2012). Fue hasta el 2005 que este protocolo se puso en práctica en el SAM para la evaluación de manera simultánea y bianual en los cuatro países que lo conforman.

Históricamente, la región sur ha sido la menos monitoreada en el Caribe de México (Contreras-Silva *et al.*, 2020). En esta región se encuentra la localidad de Mahahual, una comunidad dedicada al turismo, principalmente durante la llegada de los cruceros, y a actividades como el snorkel, la pesca deportiva y el buceo (López, 2011). Debido a esto, el desarrollo se ha incrementado, afectando los recursos naturales y ecosistemas de la localidad (Campos, 2020). Es necesario entender y generar datos de forma local, evaluando sitios de alta afluencia turística como el caso de Mahahual.

En este estudio, utilizando la metodología de AGRRA, se evaluaron diez parches arrecifales de la localidad de Mahahual, para generar información del estado de conservación entre sitios, siendo la evaluación más actual de estos arrecifes.

JUSTIFICACIÓN

La degradación y pérdida de hábitat son considerados como la principal causa de la pérdida de la biodiversidad (Hoekstra *et al.*, 2005). Los arrecifes de coral son uno de los ecosistemas más amenazados de manera antropogénica debido a la sobrepesca (Aronson, 2003), explotación turística, cambio climático y eutrofización del agua (Szmant, 2002), entre otros factores. Estos se han visto mermados con la pérdida de especies, el cambio de fase en organismos bénticos y la disminución de la complejidad topográfica (Pratchet *et al.*, 2014). Actualmente, más de 60% de los arrecifes coralinos mundiales están amenazados por presiones tanto globales como locales (Burke *et al.*, 2012; Jackson *et al.*, 2014).

Mahahual pasó de ser un pueblo pescador a presentar un acelerado desarrollo turístico denominado “Costa Maya” aproximadamente hace 23 años, dando como resultado, ser el lugar 12 de todo el Caribe , desde Bahamas hasta Honduras, incluyendo puertos como Jamaica, Islas Caimán y Puerto Rico (Sosa e Inés, 2016), y el segundo muelle de cruceros en México (Datatur, 2022), además de su cercanía a la línea de costa, provee servicios turísticos como el buceo recreativo, el snorkel, la pesca, la navegación y la industria hotelera, además de proveer asentamientos urbanos.

Debido a esto, es importante actualizar los datos de esta región, para saber cómo están actualmente los arrecifes en Mahahual, y contribuir a generar y plantear planes de acción inmediata para el manejo, preservación y la explotación turística de la zona con una menor afectación a los arrecifes locales.

ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

Arrecifes coralinos y sus amenazas

Los corales son animales marinos pertenecientes al Phylum Cnidaria cuyas interacciones a nivel celular generan tejidos que conforman el cuerpo de un animal conocido como pólipo, considerada la unidad individual funcional (Spalding *et al.*, 2001; Rodríguez-Troncoso y Tortolero-Langarica, 2014). La mayoría de las especies coralinas son organismos coloniales, donde el conjunto de pólipos comparte procesos tanto metabólicos como fisiológicos (ej. crecimiento y reproducción) y forman una colonia que comparte las mismas propiedades biológicas (Hughes *et al.*, 1992; Barón y Zárate, 2017; Veron, 2000).

Un arrecife de coral puede definirse como una extensión de corales pétreos creciendo sobre una estructura masiva resistente al oleaje, construida principalmente por esqueletos de generaciones sucesivas de corales y otros organismos calcáreos, así como de sedimentos asociados (Done, 2011; Barón y Zárate, 2017). La forma y estructura de los arrecifes se debe en gran parte a la interacción de las comunidades de organismos constructores sedentarios (hermatípicos) con el estrés hidrodinámico del oleaje, por ende, la morfología de las construcciones arrecifales es muy variable (Sorokin, 1995).

Los arrecifes de coral se encuentran dentro de los ecosistemas generadores de una mayor productividad primaria, y por ende presentan una alta biodiversidad, son excelentes fijadores de nitrógeno y secuestradores de carbono (Camacho *et al.*, 2009; Upegui, 2020), además, brindan áreas de crianza, protección, reproducción y alimentación para otras especies. Se encuentran a lo largo de toda la plataforma continental hasta los 50 m de profundidad, desarrollándose en temperaturas de 22 °C a 28 °C, es decir, se encuentran únicamente del ecuador hasta los trópicos, no soportan cambios bruscos de factores abióticos en su medio (Garzón-Ferreira, 1997, CONABIO, 2022). La formación de los esqueletos, así como otras características como su densidad o tasa de crecimiento, dependen en gran medida de la temperatura del mar, de su alcalinidad y del oleaje (Kleypas *et al.*, 1999; Langdon *et al.*, 2000; McNeil *et al.*, 2004; Alvarez-Borrego, 2007).

Los ecosistemas arrecifales abarcan el 1% de la superficie total de los océanos, alberga el 25% de todas las especies marinas que actualmente conocemos (Constante *et al.*, 2011; Pérez-Cervantes, *et al.*, 2017). También proveen de numerosos bienes y servicios ambientales críticos para el bienestar social y económico de millones de personas dependientes de ellos gracias al turismo (Morales, *et al.*, 2015; Aguilera, *et al.*, 2017). Al ser uno de los principales atractivos turísticos en la costa y proveer de diversos servicios ecosistémicos, se han calculado con un valor económico anual a nivel global de treinta y seis billones de dólares (Santander-Botello, 2009; Pérez *et al.*, 2017), sin embargo, para el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) se estima que la ganancia anual del arrecife es de ciento setenta y dos mil millones de dólares al año, y para Quintana Roo se reporta un valor de poco más de doce mil millones de dólares al año (SEMA, 2021).

La importancia biológica de los ecosistemas arrecifales, radica en ser sistemas mega diversos, por lo tanto, albergan una gran diversidad de peces, aves, invertebrados, con una alta heterogeneidad de hábitats como son fondos arenosos, playas y arrecifes coralinos, expone Rodríguez (2017). Los cuales como resultado del crecimiento de su base biogénica (corales hermatípicos y otros organismos bio-constructores como las esponjas), incrementan la disponibilidad de nichos (contribuye a la biodiversidad) y genera una barrera protectora frente a la línea de costa ante fenómenos meteorológicos (Rodríguez, 2017).

Chávez e Hidalgo (1988), Rogers, (1990), Padilla *et al.*, (1992), López-Victoria y Díaz (2000), Ostrander (2000), Alcolado *et al.*, (2001), McCook *et al.*, (2001), Bula, (2002), Crain *et al.*, (2008) se han dedicado durante los últimos años a evaluar la estructura y composición de la comunidad en ambientes arrecifales tanto a nivel local como mundial, manifestando la distribución e interacción de los componentes bentónicos, la exposición al oleaje e intensidad lumínica como los principales factores generadores de variación en la estructura, composición y función de éste tipo de comunidades. Así mismo, muchas de estas investigaciones concluyen que los arrecifes coralinos presentan evidencias de degradación estructural debido a perturbaciones naturales como huracanes de gran intensidad y factores de tipo antropogénico.

Según Daltabuit (1999), actualmente la aceleración antropogénica del cambio climático y otros factores locales de estrés como la sobrepesca, la contaminación, la sedimentación, el cambio en la temperatura, el turismo, la navegación y las malas regulaciones ambientales han puesto a los arrecifes coralinos como uno de los ecosistemas en mayor riesgo.

Santander (2005) estipuló como el recurso natural del turismo de buceo el arrecife de coral, siendo un ecosistema valioso, con un equilibrio frágil, y radicalmente alterado por el calentamiento global, la contaminación, la erosión terrestre y los efectos directos e indirectos del turismo. El turismo de buceo es una fuente de impacto, que, sin ser la principal en la degradación del arrecife de coral, es relevante por su potencial impacto y daño ambiental. Por su parte, la resiliencia del arrecife se reduce por la combinación y acumulación de diversos factores (Santander y Frejomil, 2009).

Rodríguez (2017) explicó cómo las actividades acuáticas como el buceo autónomo y el snorkel son consideradas de bajo impacto, sin embargo, aunque esto se relaciona con el nivel de experiencia del usuario, los datos generados durante el seguimiento sugieren una generalización con los usuarios, en donde estos pueden causar un efecto negativo sobre organismos bentónicos y el sustrato arenoso.

En las últimas décadas del siglo XX, el blanqueamiento, las enfermedades y las modificaciones en la estructura de especies causaron una devastación sin precedente en los arrecifes de coral. Por lo cual, Santander y Frejomil (2009) resaltaron sobre este ecosistema siendo así, “un recurso escaso” en términos de la superficie presente en el planeta, a pesar de ser el de mayor biodiversidad y productividad, y ofrecer paisajes espectaculares. Además, los arrecifes de coral son también importantes proveedores de servicios ambientales, incluida la protección de costas (Badii *et al.*, 2015).

Beeden *et al.*, (2008) identificaron desde hace 30 años, como la incidencia de enfermedades coralinas ha ido en aumento y ha estado mermando a los arrecifes. Teniendo como consecuencia pérdida en el tejido vivo coralino, pudiendo ocasionar cambios significativos en la estructura de la comunidad, en la diversidad de especies y de otros organismos asociados. Debido a la incidencia de lesiones y al estado de condición

presentada en los corales, los científicos y tomadores de decisiones han declarado a los arrecifes en estado de crisis a nivel mundial (Lara, 2012; Van Oppen *et al.*, 2015; García, 2016).

Hay escasos reportes históricos de enfermedades en organismos de arrecifes de coral. El primer evento documentado en el Caribe fue una mortalidad masiva de esponjas en el norte del Caribe en 1938 (Weil, 2004). En cuanto a enfermedades en corales, las primeras fueron documentadas a mediados de 1970s. Las muertes de corales debidas a la Enfermedad de Banda Negra (EBN), Enfermedad de Banda Blanca (EBB) y la Plaga Blanca (PB) fueron documentadas por primera vez en Belice, Bermuda, Florida y las Islas Vírgenes (Weil, 2004). En 1975 fue el primer reporte de una mortandad significativa de corales debido a PB tipo I en Florida. Diez años más tarde en la misma zona, la misma enfermedad afectó masivamente a colonias del género *Montastrea* (Weil, 2004).

Una relación que se ha encontrado respecto a algunas enfermedades es la la enfermedad de viruela blanca (white pox disease) cuyo agente que la ocasiona es un patógeno oportunista llamado *Serratia marcescens* el cual se encuentra en heces de humanos (Rosenberg y Kushmaro, 2011), y se ha sugerido que las malas prácticas de disposición de desechos pueden ser la causa del brote de enfermedades (Patterson-Sutherland y Richie, 2004).

La importancia de las enfermedades es su efecto a corto plazo en la disminución de tejido coralino vivo. Esto a mediano plazo ocasiona la disminución de la acreción arrecifal y la liberación de espacio para la colonización por organismos oportunistas (macroalgas, esponjas incrustantes. Y a largo plazo origina cambios significativos en sus tasas de reproducción, crecimiento, estructura de la comunidad, diversidad de especies y abundancia de los organismos asociados al arrecife (Raymundo *et al.* 2008).

Monitoreos Arrecifales

Los programas de monitoreo en el Caribe iniciaron a finales de los años 70's. Sin embargo, no fue hasta 1980 cuando gracias a la evidente degradación coralina, estos proyectos tomaron un alto valor y se comenzaron a crear planes para seguir informalmente con la recolección de datos, fue así cuando, McField *et al.* (2005), junto con la iniciativa de Arrecifes Saludables (2005), comenzaron a realizar monitoreos de manera sistemática en el Sistema Arrecifal Mesoamericano.

AGRRA, Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment, por sus siglas en inglés, es una metodología para generar una evaluación rápida de los arrecifes coralinos, creada para apoyar la conservación, protección y mejoramiento de estos ecosistemas. Es una técnica estandarizada de bajo costo y altamente replicable para examinar de manera regional la condición de los arrecifes, centrándose en las relaciones inter e intraespecíficas con los corales y sus enfermedades, los peces, las algas y algunos otros invertebrados de importancia para los arrecifes que se utilizan como indicadores de salud (Lang *et al.*, 2011).

Sistema Arrecifal Mesoamericano

El Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) es considerado la segunda barrera de coral más grande del mundo después de la Gran Barrera de Coral en Australia. Abarca aproximadamente 1,600 km. extendiéndose por las costas de cuatro países: México, Belice, Guatemala y Honduras. WWF (World Wildlife Fund, 2018) reconoció al SAM como uno de los ecosistemas más diversos y por lo tanto una de las 200 ecorregiones de prioridad gracias a la biodiversidad, el valor socioeconómico y el cultural que ahí se aloja. Sin embargo, es una región donde se presentan importantes formaciones arrecifales en riesgo debido a presiones antrópicas tanto locales como globales.

Wilkinson *et al.* (2009) reportaron en los arrecifes coralinos del SAM como los más dañados a nivel mundial, pues además de los eventos de blanqueamiento masivo de corales y apariciones de enfermedades como en arrecifes de otras zonas del mundo, han presentado también eventos de mortandad masiva de especies importantes como el erizo *Diadema antillarum* (Philippi, 1845) y los corales ramosos: *Acropora cervicornis* (Lamarck, 1816) y

Acropora palmata (Lamarck, 1816), que junto con *Montastrea spp.* solían representar las especies constructoras arrecifales dominantes en la región de acuerdo con Aronsin y Precht (2001). Como resultado, la región ha perdido hasta el 80% de la cobertura histórica de tejido coralino. Hablando del caso de la porción mexicana del SAM, los arrecifes coralinos están sometidos a altos niveles de deterioro, y muchas especies se encuentran en peligro de extinción, habiendo sufrido algunas un declive de más del 90% en los últimos años (Pérez, 2021).

Arrecifes del Caribe

Burke y Maidens (2005) estipularon en el Caribe, donde aproximadamente el 21% de sus 18 000 kilómetros de costas, están protegidos por arrecifes de coral y el valor de esa protección, se ha estimado desde dos mil dólares por kilómetro, en costas con escaso desarrollo, hasta un millón de dólares en líneas costeras con grandes desarrollos turísticos. Para todo el Caribe, el valor de esa protección se ha calculado entre 740 millones y 2 200 millones de dólares.

Jordan-Dahlgren (1993) realizó una caracterización y zonación general de las comunidades coralinas del sistema arrecifal del Caribe mexicano. Midió parámetros como cobertura de coral, tipo de sustrato, cobertura de alga, composición y estructura de las comunidades de coral. Reportando específicamente para el área de Mahahual un porcentaje medio de cobertura coralina dentro del 40 y 50% específicamente en la zona profunda (40 m).

Arrecifes coralinos de Mahahual

En México las Áreas Naturales Protegidas (ANP) enfrentan dos problemáticas principales: el bajo presupuesto de operación y la falta de mecanismos de participación de la sociedad que las habita. En 2015, se creó la Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano (RBCM) para proteger el Sistema Arrecifal Mesoamericano. La RBCM tiene una gran extensión (5 500 millones de hectáreas) colindando con otras áreas protegidas existentes y con una zona de influencia cuya principal actividad económica es el turismo. Por esto, Rodríguez (2019) identificó en el centro del desarrollo turístico de la Costa Maya

(Mahahual, Quintana Roo) que la cobertura de coral vivo ha disminuido ante el incremento del número de turistas, quienes en su mayoría arriban mediante cruceros o realizan actividades recreativas en donde se deteriora el ecosistema.

Aguilar (1998) describió el arrecife de Mahahual como un arrecife de barrera con una extensión de 3 600 metros aproximadamente, dividiéndose en tres zonas: laguna arrecifal, cresta arrecifal y arrecife frontal; la laguna arrecifal es somera de poca extensión, con una profundidad media de siete metros, aquí podemos encontrar praderas de pastos marinos, corales tanto blandos como duros y algas; lo correspondiente a la cresta arrecifal, es una zona de turbulencia, y gran remoción de sedimentos gracias al oleaje, también encontramos una gran presencia de *Acroporas* y en la parte frontal del arrecife se presenta una profundidad de 10 a 24 metros, presentando una topografía como de cañones. El sustrato es arenoso y está cubierto por praderas de pastos marinos.

La Asociación Civil Amigos de Sian Kaa'n (2003) señalaron la manera histórica en donde Mahahual ha sido considerada una pequeña comunidad de pescadores, sin embargo en los últimos años la actividad de pesca se ha vuelto secundaria, debido al fuerte crecimiento como destino turístico en la localidad, donde la construcción de carreteras y la dotación de infraestructura y equipamiento como luz, teléfono y agua potable, ha propiciado un creciente flujo de visitantes y ha generado importantes inversiones en la localidad así como una diversificación laboral, también registran la poca planeación urbana de Mahahual, debido a esto, se han generado modificaciones de la estructura de la playa (movimiento y disminución de la playa) y una interrupción en la conexión entre la laguna costera y el arrecife.

Ruíz-Zárate *et al.* (2003) mencionan que Mahahual es el único lugar del centro sur de Quintana Roo, en donde se encontraron los corales duros con afectaciones de los tres tipos (pálido, parcial y total) en los tejidos blanqueados.

La Comisión Nacional de Áreas Protegidas, CONANP (2016) estipula a Mahahual como uno de los de los principales puertos con actividad turística en el estado, lo cual se atribuye principalmente al muelle de cruceros; un ejemplo de esto se puede ver en el 2011, donde se recibieron el 9.3% de los arribos de turistas vía terrestre y el 10.2% de los pasajeros de cruceros a nivel nacional (cifra que se ha ido incrementado con el paso de los

años), debido a esto, la región constituye una zona de gran valor para el turismo y las actividades pesqueras de tipo artesanal.

Rodríguez (2017) indica que el blanqueamiento coralino no es considerado como enfermedad, sino que es una respuesta ante estresores como temperatura o intensidad lumínica.

Actualmente, Mahahual cuenta con infraestructura para hospedaje y alimentación para los usuarios la cual se encuentra fuera del polígono del área, y la construcción de infraestructura portuaria dentro del ANP construida previa al decreto de la SEMAR-DIAGAOHM (2017), la cual ha resultado en dos muelles, uno de madera y el segundo conocido como el muelle de pescadores de concreto. Los dos muelles son utilizados por los locales, con uso de embarcaciones de tipo menor, pero sólo el muelle de pescadores está bajo el cargo de la Capitanía de Puerto de Mahahual.

Mahahual se ha convertido en otro sitio de importancia turística de la costa de Quintana Roo y sigue ganando popularidad. Sin embargo, a la fecha, no hay regulación estricta en el tratamiento de aguas negras y grises por parte de hoteles y de desarrollos urbanos, los cuales han aumentado junto con el crecimiento acelerado del lugar. La migración y ocupación masiva ha propiciado la tala inmoderada de la zona costera y los manglares. El uso de la costa, inclusive el mismo camino costero, ha causado fragmentación de hábitats y directamente el deterioro de los pastos marinos, también impactados por el creciente turismo. Todo ello está produciendo un impacto general en los ecosistemas arrecifales al grado de propiciar el colapso de su biodiversidad y de sus servicios ecosistémicos, así como de las ganancias económicas obtenidas a partir de ellos (Ardisson *et al.*, 2011, Arias *et al.*, 2017).

HIPÓTESIS

Mahahual es una localidad costera que se encuentra alejada de grandes civilizaciones, sin embargo, presenta una alta afluencia de turistas de entrada por salida gracias a la llegada de los cruceros, la cercanía con la línea de costa y sus actividades como el buceo, el snorkel y la pesca. Por lo anterior y aunado a la falta de conservación y seguimiento a los planes de manejo por parte de las autoridades ambientales, se espera que la salud de los sitios arrecifales de Mahahual, presenten alta cobertura algal, baja cobertura coralina y la biomasa de peces comerciales y herbívoros en bajas densidades, mostrando un estado crítico similar a otros arrecifes pertenecientes al Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM).

OBJETIVOS

Evaluar el estado de conservación en diez sitios de los arrecifes en Mahahual mediante los protocolos de AGRRA.

Objetivos Particulares

- Registrar la presencia y abundancia relativa de las especies bentónicas, coralinas y de peces incluidas en el protocolo AGRRA de muestreos realizados en el año 2021 y 2022.
- Estimar la complejidad topográfica de los seis sitios muestreados en 2022 mediante la técnica de la cadena.
- Establecer propuestas de manejo y explotación turística sostenible con base en la evaluación realizada.

ÁREA DE ESTUDIO

El Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) es considerado la segunda barrera de coral más grande del mundo, abarca las costas caribeñas de cuatro países: México, Belice, Honduras y Guatemala. La región que abarca de México se divide en cinco subregiones: zona Norte, Centro y Sur del Caribe Mexicano, Cozumel y Banco Chinchorro (WWF, 1999; Barón, 2017) con 500 km de extensión. Inicia en las ANP del norte con Holbox, Islas Contoy, Isla Mujeres, Punta Cancún, Punta Nizuc, los Arrecifes de Puerto Morelos, la Isla de Cozumel, Mahahual, Banco Chinchorro, la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an, hasta llegar al sur en Xcalak. (Ardisson *et al.*, 2011) (Fig. 1)



Figura. 1 Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) y sus 6 ecorregiones. (imagen obtenida de Kramer y Kramer, 2002).

En la zona sur de Quintana Roo, se encuentra Mahahual, un pequeño pueblo anteriormente pescador que en la actualidad, debido al megaproyecto de “Costa Maya” es una comunidad dedicada principalmente al turismo, incluyendo cruceros que llevan a la comunidad turismo en masa, y a otras actividades como el snorkel, la pesca deportiva y el buceo. Su desarrollo se ha incrementado generando afectaciones en sus recursos naturales y ecosistemas, como los manglares y arrecifes de coral.

Mahahual es una localidad en el estado de Quintana Roo, México, ubicada en una región conocida como “Costa Maya” en el municipio de Othón P. Blanco (Fig. 2), entre las coordenadas 18° 15' - 18° 45' latitud Norte y 87 ° 40' - 87° 55' longitud Oeste (Can, 2003; Chávez-Hidalgo, 2009, Hiraes *et al.*, 2010). El cual inició como una comunidad de pesca,

pero en 1997 comenzó un proceso de desarrollo turístico con la construcción de un muelle para cruceros, lo cual fue el inicio del megaproyecto turístico denominado “Costa Maya” (Escalante y Carrol, 2013).



Figura. 2 Localización geográfica de Mahahual.

El clima de Mahahual es cálido, subhúmedo con régimen de lluvias en verano. La temperatura media anual es alrededor de 27.5 °C, siendo máxima en agosto (29.1 °C) y mínima en febrero (24.6 °C). La máxima evaporación se presenta en verano, con una precipitación pluvial que varía anualmente entre 1 009 y 1 489 mm. Las tormentas tropicales y huracanes se observan de mayo a noviembre. Los vientos dominantes son los “vientos alisios”, soplando casi todo el año, principalmente en verano. Su dirección es de este a sureste, con velocidades entre los 20 y 35 km/h. En otoño e invierno se presentan los vientos del noreste conocidos como “nortes” que incrementan su fuerza hasta 35 km/h o más. La marea es semidiurna de poca amplitud (Castellanos y Suárez, 1997). Las corrientes que se perciben en esta zona son las del Caribe, las cuales se originan de las aguas del Océano Atlántico frente a la costa Norecuatorial de las Antillas menores y son movidas por efecto de los vientos alisios en dirección este a noreste hacia la península de Yucatán. Son corrientes superficiales (entre 0 y 600 m de profundidad), las cuales se desplazan a una velocidad aproximada de cuatro nudos (dos m/s).

El arrecife de Mahahual cuenta con aproximadamente 63 especies de corales hermatípicos, 500 de peces y más de 3 331 especies marinas como crustáceos,

equinodermos, esponjas, anfibios, mamíferos, moluscos, algas, entre otro tipo de biodiversidad que se alberga ahí (Castellanos y Suárez, 1997), el arrecife es de tipo barrera con una extensión de 3 600 metros aproximadamente (Fig. 3), dividiéndose en tres zonas: laguna arrecifal, cresta arrecifal y arrecife frontal. La laguna arrecifal es somera de poca extensión, con una profundidad media de siete metros, se encuentran praderas de pastos marinos, corales tanto blandos como duros y algas. La cresta arrecifal, es una zona de turbulencia y gran remoción de sedimentos gracias al oleaje, se localiza gran presencia de Acroporas. Por último, la parte frontal del arrecife tiene una profundidad de 10 a 24 m, presentando una topografía como de cañones. El sustrato es arenoso y está cubierto por praderas de pastos marinos (Aguilar, 1998). La cresta arrecifal, separa a la laguna del frente arrecifal, esta no es continua y su profundidad varía a lo largo de su estructura (Castellanos y Suárez, 1997). Esta cresta presenta dos canales o discontinuidades: un canal ubicado en la parte sur, el cual es más ancho (80 metros) que el canal de la porción norte del complejo arrecifal (40 metros). Frente a estos dos canales se encuentran dos manantiales (dolinas), las cuales proporcionan agua dulce proveniente del subsuelo a la laguna arrecifal.

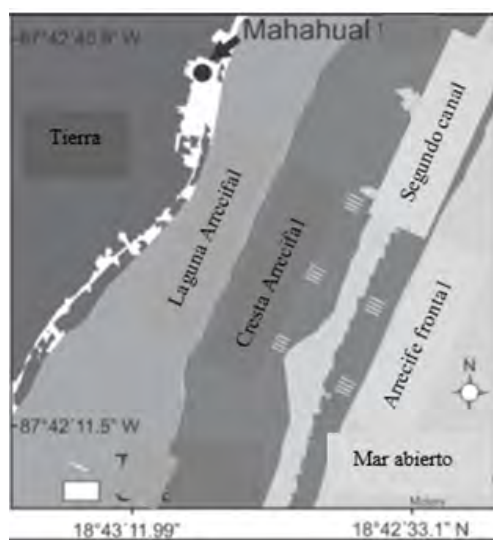


Figura. 3 Zonación de los arrecifes de Mahahual (imagen obtenida de Arias-González *et al.*, 2017).

MÉTODO

Se realizó un muestreo en seis sitios en Mahahual durante junio del 2022, mediante la metodología AGRRA (“Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment”) y se incorporaron los datos de cuatro sitios previamente muestreados por el equipo de AGRRA y Arrecifes Saludables en septiembre del 2021, evaluando en total 10 sitios (Anexos, Tabla 1) (Fig. 4).

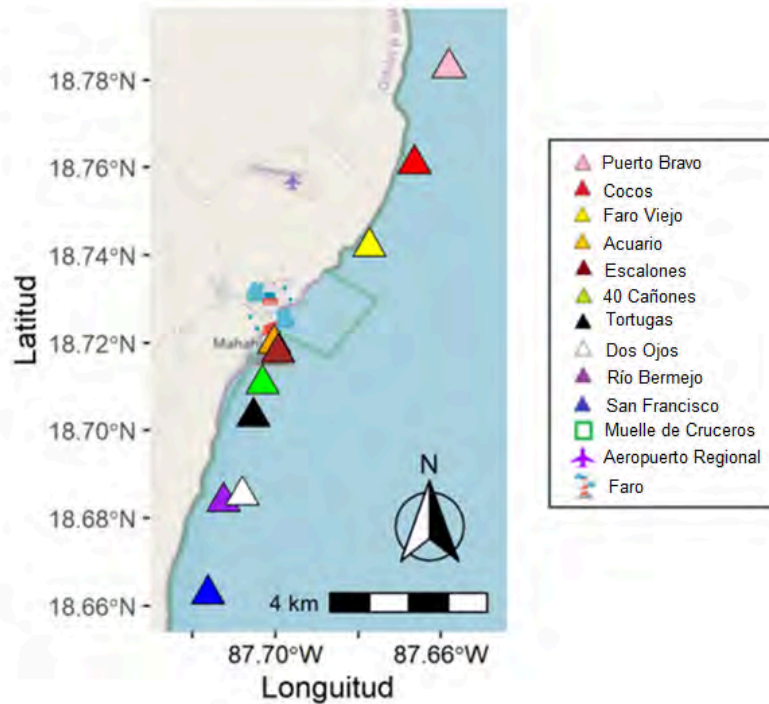


Figura. 4 Localización de los sitios muestreados.

Los muestreos fueron realizados por un equipo conformado por seis buzas, quienes muestrearon los tres diferentes grupos considerados en el método AGRRA: bentos, corales y peces, además de determinar la complejidad topográfica del arrecife mediante la técnica de la cadena (Risk, 1972; Aronson *et al.*, 1994) y estos fueron realizados gracias al financiamiento por parte de Takata Research Center con los tanques y equipo de buceo, la lancha y el material empleado para los muestreos, además del espacio y tiempo brindado para hacer las pláticas del proyecto.

Protocolo AGRRA

Bentos: Se realizaron seis transectos por cada sitio. Se inició en un lugar aleatorio, colocando el transecto (cuerda plomada de 10 m a lo largo, dividido cada metro y cada

metro separado cada 10 cm), posteriormente se nadó a lo largo de este identificando la composición de la cobertura y los invertebrados presentes abarcando un cinturón de visión de un metro de longitud. Para finalizar, se colocó un cuadrante de 25x25 cm en las marcas de 1, 3, 5, 7 y 9 m, identificando el tipo de sustrato, y los reclutas de corales (pequeños ≤ 2 cm y grandes $>2 : <4$) presentes, abarcando un cinturón de visión de un metro de longitud.

Corales: se realizaron de uno a dos transectos por cada sitio. Se inició en un lugar aleatorio, colocando el transecto (cuerda plomada de 10 m a lo largo, dividido cada metro), posteriormente se nadó a lo largo de este identificando las especies presentes, las enfermedades coralinas (Anexos, Tabla 5), el porcentaje de blanqueamiento o palidez, el tipo de mortalidad (Anexos, Tabla 6), el crecimiento y la cobertura coralina abarcando un cinturón de visión de un metro de longitud.

En algunos casos, para bentos y corales, fue realizado un video transecto, el cual consiste en colocar el transecto y grabar en cada marca la presencia de especies de interés, para posteriormente analizar ese video y anotar lo observado.

Peces: Se realizaron de siete a ocho transectos por cada sitio. Se inició en un lugar aleatorio, desde el cual el muestreador nadó por 30 m continuos, registrando las especies de peces dentro de la lista de AGRRA, así como su categoría de tamaño, a lo largo de un cinturón de visión de dos metros de longitud de ancho.

Estos datos fueron procesados por la plataforma oficial de AGRRA y Arrecifes Saludables, quienes los procesaron de la misma manera que se hace para el monitoreo bianual del Arrecife Mesoamericano. Para el bentos, se obtiene la biomasa algal que requiere de dos parámetros: El porcentaje de cobertura algal (el cual se estima con los registros de los cuadrantes) por la altura de las algas. Cabe resaltar su separación en dos grupos: las calcáreas y las carnosas, además de los demás grupos morfofuncionales: peyssonnelias, cianobacterias, algas incrustantes, macroalgas calcáreas, macroalgas carnosas, alfombra de algas, tapete algal con sedimentos (Anexos, Tabla 3), invertebrados móviles, otros invertebrados, invertebrados agresivos (Anexos, Tabla 4) y coral vivo (sólo considerando corales hermatípicos y reclutas), para los corales, se obtienen cuatro parámetros: Composición coralina (se toman las colonias individuales registradas y se obtiene su porcentaje relativo sobre las especies de corales más comunes en la base de

datos de AGRRA), para las enfermedades coralinas y la mortalidad (se obtiene la abundancia de las colonias afectadas y la prevalencia con el porcentaje relativo), y para el tamaño (con el diámetro y la altura obtenida de los muestreos, se genera un promedio de las colonias obtenidas contra la composición coralina anteriormente mencionada). y para peces se obtienen 3 parámetros: Biomasa de peces (se utiliza una fórmula de longitud – peso ($W=a(L)^b$) en donde la L es la longitud estimada por la mediana de la longitud para cada familia de peces, los coeficientes a y b, son características específicas de las dietas de las especies su dieta (herbívoros, invertívoros y piscívoros) e importancia comercial, que se obtienen por regresiones lineales del peso y longitud de especímenes datados y se calcula para cada familia), Densidad (se estima con el número los peces registrados entre 100 m²) y Tamaño (se obtiene con el porcentaje relativo de los peces vistos en los muestreos de acuerdo a su clasificación de longitud) (Marks, 2008).

Complejidad Topográfica (CT): En cada sitio se colocó un transecto de banda, se midió la CT mediante una cadena de 10 m de longitud que se colocó siguiendo el contorno del fondo y se registró la distancia lineal desde el inicio hasta el final de la cadena (Aronson *et al.*, 1994; Risk, 1972). Se calculó el índice de CT por transecto, con la siguiente ecuación: $CT=1-dm/Lt$. Donde CT es la complejidad topográfica, dm es la distancia horizontal de la cadena siguiendo el contorno del sustrato, y Lt es la longitud total de la cadena (10m). Los valores van de 0 (complejidad nula) a 1 (máxima complejidad estructural o heterogeneidad topográfica). Se estimó un promedio por sitio con todas las mediciones hechas en cada transecto.

RESULTADOS

Bentos

Los resultados de este estudio mostraron que el grupo más predominante fue el de los tapetes de Turf (TA) con 31.79% en promedio. Los sitios con mayor porcentaje de TA fueron: Puerto Bravo con 42.2%, Faro Viejo con 47.9% , Cocos con 46.6% y San Francisco con 37.9%, lo cual representó el **43.653%** en promedio, mientras que los sitios restantes presentaron mayor abundancia de macroalgas: en Acuario con 35.9%, 40 Cañones con 37.3%, Tortugas con 28.3% y Río Bermejo con 28.2% con un promedio de 28.23% para estos 4 sitios. Dos Ojos y Escalones tuvieron valores altos de TA y MA muy similares entre sí y predominaron en esos sitios (Figura 5).

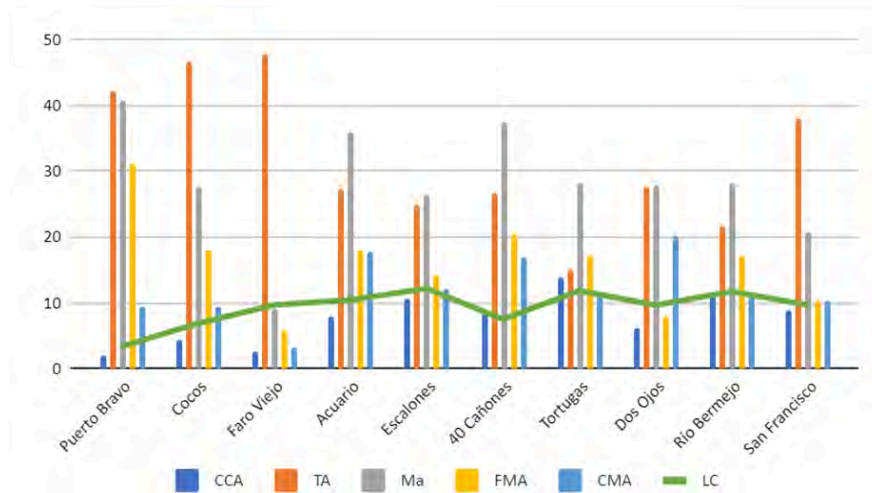


Figura. 5 Porcentaje de cobertura algal: Algas Incrustantes (CCA), Tapetes de Turf (TA), Macroalgas (Ma), Macroalgas carnosas (FMA), Macroalgas calcáreas (CMA), y Coral vivo (LC).

Los invertebrados móviles (Anexos, Tabla 3) tuvieron una densidad muy baja en todos los sitios (0.015 individuos por m^2 en promedio) en comparación a los otros grupos de invertebrados (agresivos y no agresivos) (Anexos, Tabla 3)). *Diadema antillarum* adulta presentó la mayor densidad en Puerto Bravo (0.18 m^2) y la densidad de la categoría de otros erizos fue mayor en Acuario (0.17 m^2) (Figura 6).

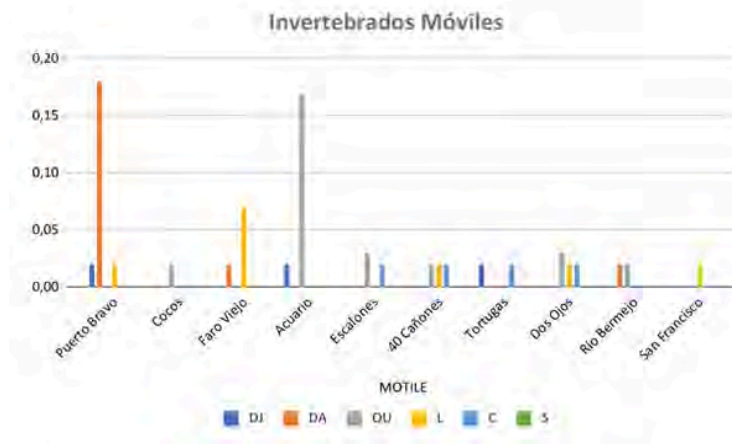


Figura. 6 Densidad de Invertebrados Móviles con presencia significativa en el área. Donde: DJ (Diadema Juvenil), DA (Diadema adulta), OU (otros erizos), L (Langostas), C (Caracol), S (Pepinos de mar).

El grupo morfofuncional (Anexos, Tabla 2) encontrado con mayor porcentaje en los arrecifes de Mahahual fueron los tapetes algales con sedimentos (TAS) con el 20.16% y el de menor porcentaje fueron los tapetes algales (TAM) con el 0.68%. Los invertebrados y las cianobacterias tuvieron baja densidad (2.31% y 1.8% respectivamente). Las Peyssonnelias se presentaron con mayor porcentaje (12%) en comparación con las CCA (7.64%) (Fig. 7).

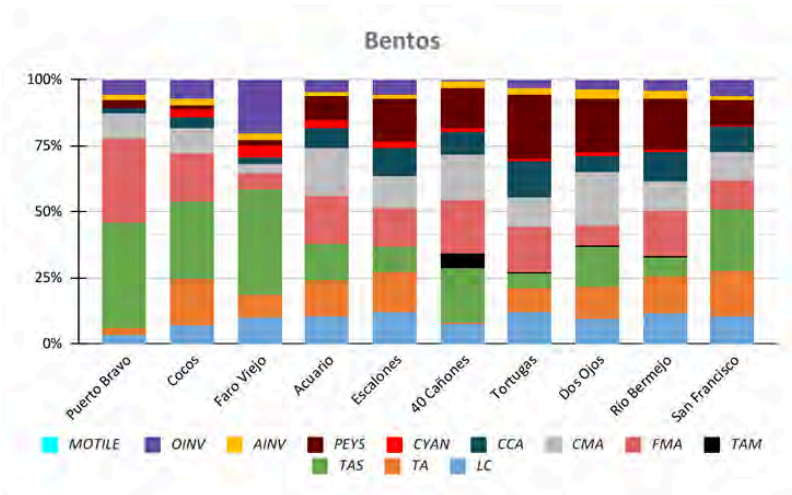


Figura. 7 Grupos morfofuncionales que conforman el bentos. En donde: MOTILE (Invertebrados móviles), OINV (Otros invertebrados), AINV (Invertebrados agresivos), PEYS (Peyssonnelias), CYAN (Cianobacterias), CCA (Algas Incrustantes), CMA (Macroalgas calcáreas), FMA (Macroalgas carnosas), TAM (Alfombra de algas), TAS (Tapete Algal con sedimentos), TA (Tapetes de Turf) y LC (Coral vivo).

Corales

En los 10 sitios muestreados, se registraron un total de 28 especies, 17 géneros y 11 familias de corales duros (Fig.8, Anexos, Tabla 4).

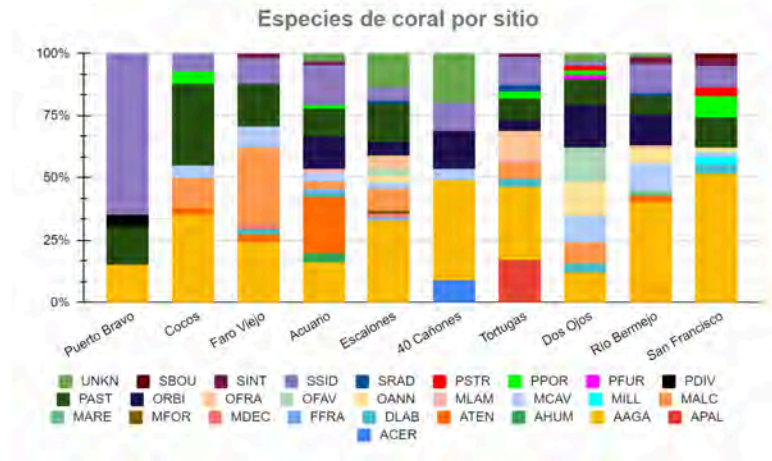


Figura. 8 Composición de especies de coral por sitio. Donde SINT (*Stephanocoenia intersepta*), SSID (*Siderastrea siderea*), SRAD (*Siderastrea radians*), PPOR (*Porites porites*), PAST (*Porites astreoides*), ORBI (*Orbicellas*), MCAV (*Montastrea cavernosa*), MALC (*Millepora alcicornis*), MDEC (*Madracis decactis*), FFRA (*Favia fragum*), DLAB (*Diploria labyrinthiformis*), ATEN (*Agaricia tenuifolia*), AAGA (*Agaricia agaricites*), APAL (*Acropora palmata*) y ACER (*Acropora cervicornis*).

Las cuatro principales especies de coral fueron: *Agaricia agaricites* (AAGA), *Orbicella sp.* (ORBI), *Porites asteroides* (PAST) y *Siderastrea siderea* (SSID). *Agaricia agaricites* dominó en todos los sitios muestreados (Fig. 9).

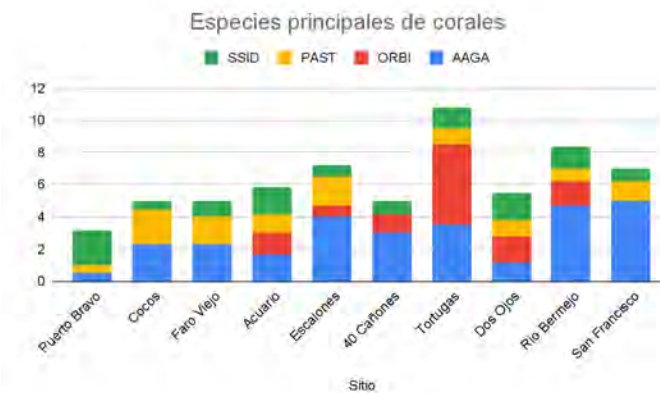


Figura. 9 Corales encontrados presentes en todos los sitios: *Agaricia agaricites* (AAGA), todas las *Orbicellas* (ORBI), *Porites asteroides* (PAST), y *Siderastrea siderea* (SSID).

Los tres sitios con mayor blanqueamiento son Faro Viejo (18.36%), 40 Cañones (15.78%) y Puerto Bravo (12.53%). En cuanto al total de enfermedades, en Puerto Bravo, Cocos, 40 Cañones y Tortugas no se observó presencia de éstas, los tres sitios con mayor porcentaje de enfermedades fueron: Faro Viejo (1.35%), San Francisco (1.06%) y Acuario (1.01%) (Figura 10).



Figura. 10 Blanqueamiento y enfermedades coralinas. El color azul representa el porcentaje de blanqueamiento y el naranja el porcentaje de todas las enfermedades coralinas identificadas.

En cuanto a la densidad de los reclutas de coral, la mayor densidad de los considerados pequeños (≤ 2) se encontró en Dos Ojos ($6.4/ m^2$), seguido de Acuario con ($5.86 /m^2$) y Escalones ($4.27/ m^2$), en cuanto a los reclutas grandes ($>2 : <4$ cm), también se encontraron en mayor densidad en Acuario y Escalones ($4.8m^2$) (Figura 11).

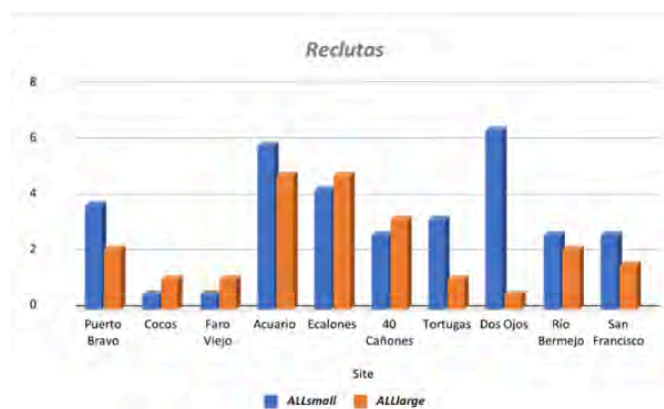


Figura. 11 Densidad por m^2 de los reclutas de coral. Donde: en azul tenemos a los reclutas chicos ≤ 2 cm y en naranja los reclutas grandes ($>2 : <4$ cm).

La mortalidad predominante en todos los sitios muestreados es la mortalidad antigua (NOM) la cual va de 18 a 57 número total de corales abarcando un 10.3% a 56% (Puerto Bravo a San Francisco). Tortugas fue el único sitio en donde la única mortalidad que se registró fue antigua. Por otro lado, los sitios con menor mortalidad son: Acuario (23), Puerto Bravo (24) y 40 cañones (25). Los sitios con mayor número de mortalidades son: San Francisco (72), Faro Viejo (71) y Cocos (65), de un total de 1397 corales muestreados (Figura 12).



Figura. 12 Tipos de Mortalidad: Corales muertos (NSD), Mortalidad reciente (NRM), Nueva mortalidad (NNM), Mortalidad transicional (NTM), y Mortalidad antigua (NOM).

Peces

En los 10 sitios muestreados, se registraron 49 especies de peces pertenecientes a 16 familias (Fig. 13, Anexos, Tabla 7).

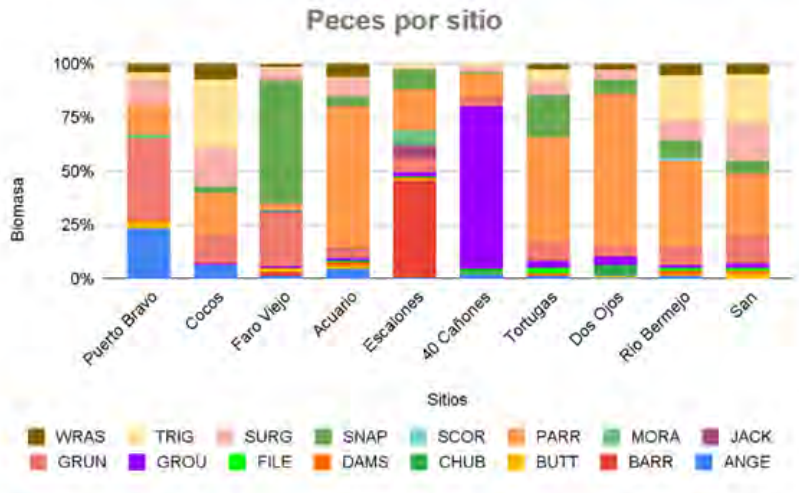


Figura. 13 Diversidad de las especies de coral por sitio. Donde: UNK (desconocidas), SBOU (*Solenastrea bournoni*) SINT (*Stephanocoenia intersepta*), SSID (*Siderastrea siderea*), SRAD (*Siderastrea radians*), PSTR (*Pseudodiploria strigosa*), PPOR (*Porites porites*), PFUR (*Porites furcata*), PDIV (*Porites divaricata*), PAST (*Porites astreoides*), ORBI (Orbicellas), OFRA (*Orbicella franksi*), OFAV (*Orbicella faveolata*), OANN (*Orbicella annularis*), MLAM (*Mycetophyllia lamarckiana*), MCAV (*Montastrea cavernosa*), MILL (*Millepora sp.*), MALC (*Millepora alcicornis*), MARE (*Manicina areolata*), MFOR (*Madracis formosa*), MDEC (*Madracis decactis*), FFRA (*Favia fragum*), DLAB (*Diploria labyrinthiformis*), ATEN (*Agaricia tenuifolia*), AHUM (*Agaricia humilis*), AAGA (*Agaricia agaricites*), APAL (*Acropora palmata*) y ACER (*Acropora cervicornis*).

El mayor valor de biomasa (medida en g/100 m²) del total de peces (Figura 14) fue registrado en el sitio de 40 Cañones (20 232), seguido por Faro Viejo (11,468), Escalones (6 160) y Cocos (4 633), el menor valor fue para Río Bermejo (1 882). En todas las demás localidades los valores fueron similares (entre 2 426 y 2 965). La mayor densidad (No. de organismos/100m²) resultó en Faro Viejo para la categoría de especies comercialmente significativas (37.9), diferente a lo encontrado en los demás sitios para esta categoría (de 1.9 en Dos Ojos a 7.4 en Puerto Bravo). Lo anterior se relaciona con la alta densidad de pargos (31.4) y meros (20.2) en Faro Viejo, quiénes se registraron en mayor densidad junto con los peces loro en los sitios de Acuario (27.4), Dos ojos (22.9) y 40 Cañones (22.4). En general, este grupo presentó altas densidades en todos los sitios (de 7.9 a 27.4), en comparación con los otros grupos de peces. En cuanto a la biomasa de peces herbívoros, nuestros sitios estuvieron entre 687 g/100m² y 3 504 g/100m², con un promedio de 1 746.6 g/100m², superior, aunque cercano al promedio indicado para el Sur de Quintana Roo (1 556 g/100m²), y menor al del norte (1 941 g/100m²) y Cozumel (2 740 g/100m²) (McField

M. 2022). Aunque nuevamente resalta que tres de los sitios aquí evaluados tuvieron valores altos: Acuario (2 139 g/100m²), 40 Cañones (3 504 g/100m²) y Dos Ojos (2 406 g/100m²).

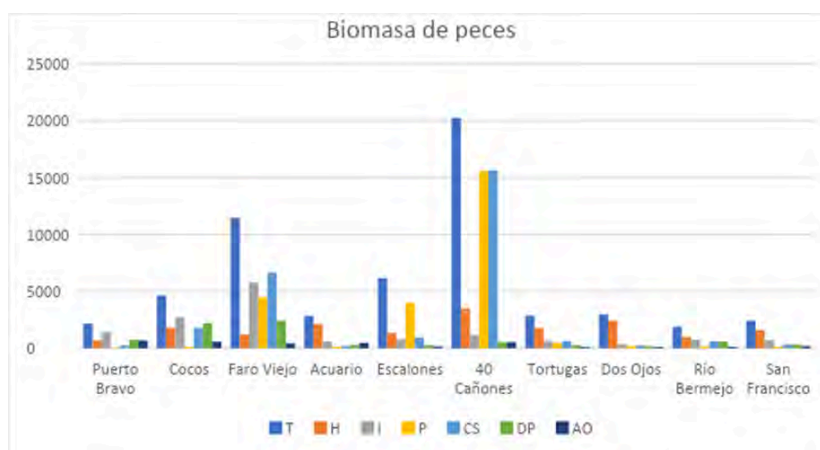


Figura. 14 Biomasa de peces: total (T), herbívoros (H), biomasa de invertívoros (I), piscívoros (P), peces de importancia comercial (CS), especies depredadoras de Diadema (DP), y especies de ornato (AO).

Con respecto a las especies herbívoras, las especies de pez loro (Figura 15) que se presentaron en mayor densidad fueron *Scarus iseri* (9) en Acuario, *Sparisoma autofrenatum* (8.6) en 40 Cañones, (7.9) en Tortugas y Río Bermejo (7.3). Mientras, en otros sitios, las otras especies, exceptuando las dos anteriores se encontraron en densidades desde 0 hasta 6 individuos. Sin embargo en cuanto a biomasa (g/100m²), las más altas fue para *Sparisoma viridae* (862) y *Sparisoma aurofrenatum*, (605), ambos en 40 Cañones y *Scarus taeniopterus* en Escalones (587).

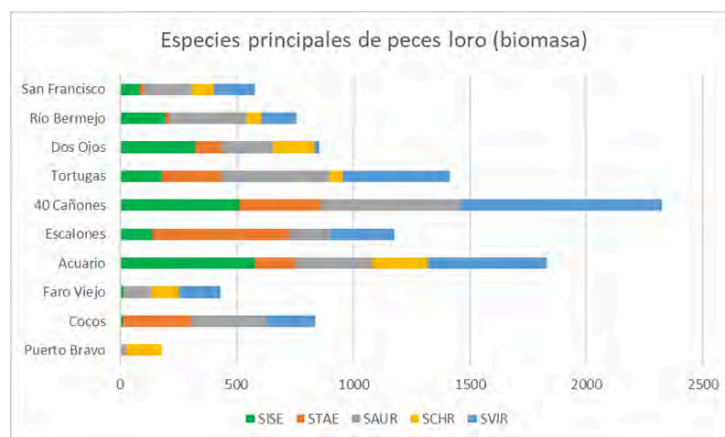


Figura. 15 Especies principales de peces loro (biomasa). En donde, SISE: *Scarus iseri*, STAE: *Scarus taeniopterus*, SAUR: *Sparisoma aurofrenatum*, SCHR: *Sparisoma chrysopterus*, SVIR: *Sparisoma viride*.

Con respecto a las especies de importancia comercial, sólo tres especies de meros se registraron en los sitios analizados, dos de ellos en muy bajas densidades (menores a 1), *Mycteroperca bonaci* y *Cephalopholis fulva* (0.2 ind./100m² en el sitio de San Francisco cada especie), la primera también en 40 Cañones en la misma densidad. *Cephalopholis cruentata* fue la única especie de mero presentada en densidades mayores a 1 por 100 m² en prácticamente todos los sitios de estudio: Tortugas (3.6), Dos ojos (2.7), Acuario y 40 Cañones (2.4). Río Bermejo y Escalones (1.5), y Faro Viejo (1.5). Sólo menor a 1 en Cocos, San Francisco, y Puerto Bravo (entre 0.2 y 0.3 ind/100m²) (Fig. 16).

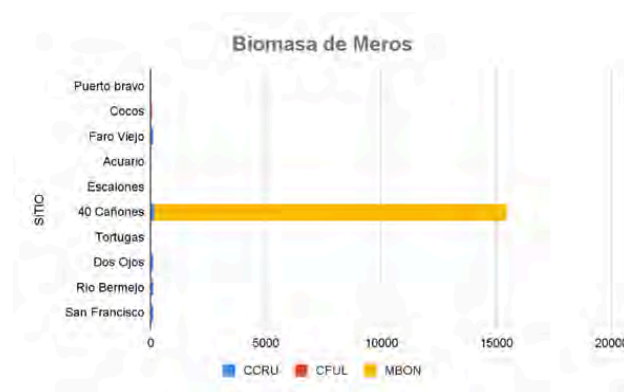


Figura. 16 Especies principales de peces grouper (biomasa). En donde, CCRU (*Cephalopholis cruentata*), CFUL (*Cephalopholis fulva*) y MBON (*Mycteroperca bonaci*).

Complejidad Topográfica y Sustrato

La complejidad Topográfica de los sitios de Acuario, Escalones, 40 Cañones, Tortugas, Dos Ojos y Río Bermejo rondó de 0.19 a 0.46. Dos Ojos, fue el arrecife con mayor relieve topográfico (0.46) y 40 Cañones el de menor relieve (0.19). Cabe resaltar que no se observó un patrón latitudinal. (Figura 18).

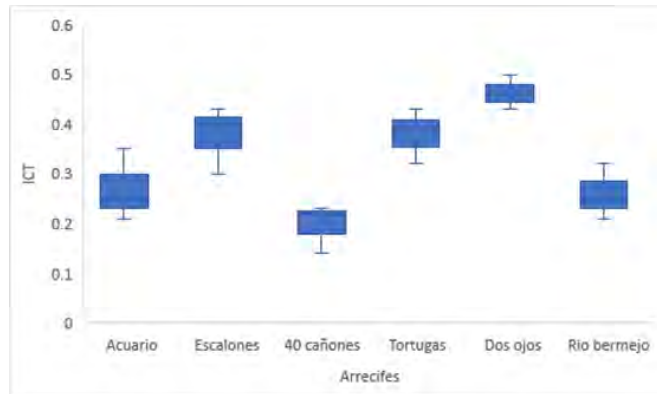


Figura. 18 Complejidad Topográfica. Los valores van de 0 (complejidad nula) a 1 (máxima complejidad estructural o heterogeneidad topográfica). Se estimó un promedio por sitio (Acuario, Escalones, 40 Cañones, Tortugas, Dos Ojos y Río Bermejo).

El sustrato predominante en los sitios muestreados fue pavimento carbonatado (con un promedio de 0.48 a 0.86 m²) en seis de los diez sitios muestreados. Acuario fue el sitio con mayor variedad de sustratos, mientras que Puerto Bravo fue el sitio con menor variedad de sustratos (Figura 19).

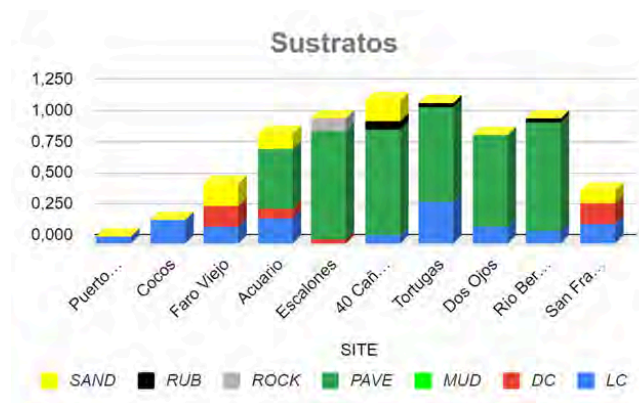


Figura. 19 Tipos de sustratos. Donde: SAND (arena), RUB (escombros de coral sueltos), ROCK(roca), PAVE (pavimento carbonatado), MUD (fango/lodo), DC(coral muerto) y LC (coral vivo).

DISCUSIÓN

La condición general del arrecife mesoamericano ha empeorado desde el 2018, después de la recuperación en el 2016 según los datos registrados por la iniciativa de “Healthy Reefs” en los reportes del 2020 y 2022, lo anterior puede explicarse debido a diversos factores en los diferentes países que conforman esta región (México, Belice, Guatemala y Honduras) que afecta a cada uno de los parámetros que toman en cuenta para calcular el índice de salud del arrecife: cobertura de coral, cobertura de macroalgas carnosas, presencia de peces herbívoros y comerciales.

La metodología de AGRRA permite obtener información para comprender el estado de salud arrecifal, con la interacción de tres grupos: Bentos, Corales y Peces. Ya que cuando se presentan cambios en la dinámica de uno de estos componentes biológicos, el resto de ellos puede verse afectado a través de relaciones directas e indirectas (Lang *et al.*, 2012; AGRRA, 2018).

Bentos

El bentos constituye un eslabón importante al interior de la red trófica de los ecosistemas acuáticos. Su papel funcional reside en la transferencia de energía entre los productores primarios y los consumidores terciarios (Wilber y Clarke, 1998) en el caso de un arrecife coralino, puede estar conformado por diversos invertebrados como Porifera, Annelida, Arthropoda, Cnidaria y Echinodermata, algunos vertebrados, bacterias y algas.

En el caso de la comunidad algal, su estructura está determinada por la presencia de flora y fauna marina, como son diversas especies de algas calcáreas, y macroalgas carnosas, y por la intensidad de la herbivoría en un sitio determinado, en el caso del Caribe mexicano, esta suele estar conformada por invertebrados como erizos, caracoles, cangrejo rey, langostas, etcétera. y vertebrados como peces, tortugas marinas, manatíes, entre otros (CONANP, 2019), así como a factores fisicoquímicos como la productividad debida a factores ambientales como la luz, nutrientes y oleaje (AGRRA, 2011). De acuerdo con McFiel *et al.*, 2022 en el último reporte de Arrecifes Saludables (2022), se ha registrado un aumento de macroalgas carnosas, las cuales están siendo alimentadas a la contaminación por nutrientes y la baja herbivoría que se está presentando en los arrecifes, lo cual afecta principalmente a los corales hermatípicos, grupo clave en los arrecifes de coral al constituir

el sustrato fundamental sobre el cual se rigen el resto de los grupos biológicos (González, 2010).

En nuestro estudio encontramos un porcentaje de cobertura algal de 28.23%, mientras que García-Salgado y colaboradores (2005), reportaron para el SAM un promedio de cobertura coralina del 11% y algal de 18%. Posteriormente, según Gutiérrez (2016), el porcentaje de cobertura de macroalgas alcanzó una media de 16.1 %. Es importante resaltar que para que un arrecife sea considerado un “arrecife saludable” suele caracterizarse por tener un porcentaje relativo más alto de cobertura de corales vivos, en relación con el porcentaje de cobertura de macroalgas carnosas (Gutiérrez, 2016). De acuerdo con nuestros resultados, los arrecifes de Mahahual pueden considerarse degradados, ya que registramos un porcentaje de cobertura de coral y un 16.07% de cobertura de macroalgas carnosas ($9.27\% < 16.07\%$). A este fenómeno se le llama “cambio de fase” y es señal de que un arrecife está perturbado, fenómeno que se está presentando en muchos arrecifes a lo largo del mundo, donde hay un reemplazo de especies dominantes por otras (Hughes, 1994; Hughes, *et al.*, 2007; Arias-González *et al.*, 2017) (Fig. 20). Cabe resaltar que los arrecifes del Caribe han sufrido este cambio de fase de manera más intensa que en otras regiones (Pandolfi *et al.*, 2003; Bellwood *et al.*, 2004; Bruno *et al.*, 2009).

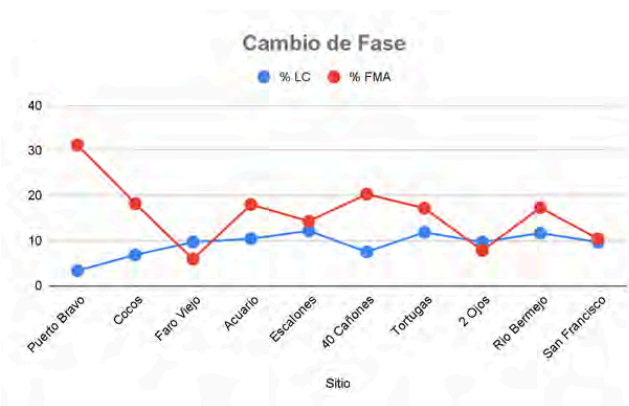


Figura. 20 Cambio de Fase coral - alga en los sitios muestreados. Donde: LC (porcentaje de coral vivo) y FMA (porcentaje de macroalgas carnosas).

Un alto porcentaje de cobertura del bentos por tapetes algales (TAM, TAS y TA) (31.83%) resalta las perturbaciones presentes en los arrecifes en Mahahual, ya que se mantienen y proliferan en condiciones de estrés para los corales y otros organismos

calcificadores (Díaz-Pulido y McCook, 2002; Airoidi, 2003; Barott *et al.*, 2012; Bender-Champet *et al.*, 2014).

Por otro lado, para evaluar el estado de salud de un arrecife, es necesario evaluar la presencia de algas del género *Peyssonnelia* (conocidas como algas malas) y algas calcáreas conocidas como CCA (algas que promueven el asentamiento coralino), ya que un mayor porcentaje de *Peyssonnelia* repercute generando menores espacios para las CCA y por lo tanto se tienen menores probabilidades de asentamientos coralinos y recuperación de manera natural del ecosistema (Wilson y Edmunds, 2020). Con un 12.04% de *Peyssonnelia* y un 7.71% de CCA, es notable que los espacios disponibles para que las larvas de coral se asienten, están en constante competencia.

Otro grupo evaluado durante este estudio fueron las cianobacterias (CYAN). De acuerdo con Prato (2013) bajos porcentajes de cianobacterias (< 7%) es una señal positiva, debido a las consecuencias ecológicas de los afloramientos y sus consecuencias ecológicas negativas sobre los corales. En los arrecifes de Mahahual, este puede considerarse un problema menor, ya que el porcentaje de este grupo fue el menor en la composición del bentos (1.8%).

Un resultado importante en el estudio y un fenómeno persistente en los arrecifes del Caribe, es la baja presencia de los invertebrados móviles (González, 2019), los cuales representan el 0.01% de la composición bentónica en los sitios estudiados, lo cual podría estar relacionado al cambio arquitectónico (Bozec *et al.*, 2015), sin embargo, esto es difícil de comprobar debido al hábito críptico de estos organismos. Generando un desequilibrio de grupos morfofuncionales, los cuales están claramente representados en el aumento de los tapetes algales que cubren el fondo arrecifal de manera importante, superando las tasas de herbivoría de los invertebrados y algunos de los vertebrados e inhibiendo así el crecimiento de los corales e incrementando la pérdida de cobertura coralina (Lessios, 1998).

El sustrato suele jugar un papel muy importante en el asentamiento y la supervivencia de los organismos sésiles, en el Caribe, suelen ser comunes tres tipos de sustratos: coral, roca y pavimento carbonatado (Macintyre y Glynn, 1976). El sustrato predominante en los sitios muestreados durante este estudio fue el pavimento carbonatado, conformado por la depositación de las algas incrustantes, corales y otros organismos

carbonatados, por su composición este sustrato es duro, denso y muy sensible a la bioerosión, en consecuencia, los cambios de la topografía de los sitios dificultan el asentamiento de las larvas de coral y de otros organismos bentónicos que son importantes para la formación de la estructura arrecifal y otras funciones esenciales en el ecosistema (Reaka-Kudla *et al.*, 1996). Lo cual, en parte, explica el incremento de los asentamientos algales, en donde a las algas incrustantes les es más fácil colonizar sustratos duros con altas concentraciones de carbonatos gracias a la retención por calor o de los nutrientes en el agua (McGuinness y Underwood, 1986).

Corales

La evaluación de los corales hermatípicos es un elemento importante para determinar la condición de los parches arrecifales. Durante el monitoreo realizado en Mahahual se analizó la cobertura de coral vivo, presencia de enfermedades coralinas y composición por especies de los sitios.

La cobertura de coral vivo evaluada en este estudio resultó en un promedio de 9.27%, sin embargo, en un estudio anterior, se encontró que los arrecifes en Mahahual tenían una cobertura de coral vivo de aproximadamente 17% (Ruíz-Zárate, *et al.*, 2003); mostrando una disminución de aproximadamente el 54.53% en 24 años, es decir, un 2.7% de pérdida anual, debido a la disminución de peces herbívoros y al aumento del turismo, entre otros, se ha generado una remoción de sedimentos en la línea de costa, las descargas de aguas residuales. Todo lo anterior aunado a otros factores naturales como el fenómeno del niño, la acidificación de los océanos, el huracán Dean en el 2007, las enfermedades coralinas y eventos de mortandad masiva como la del erizo *Diadema antillarum* en 1980 (Padilla *et al.*, 2010; Delgado, 2011; Reef Resilience, s.f; McField *et al.*, 2022; Pérez, 2023).

Rodríguez (2017) encontró una riqueza de 13 especies de coral, en comparación con las 28 encontradas en el presente trabajo, teniendo un total de 38 especies; entre las principales se encuentran los corales escleractinios registradas por Castañares y Soto (1982). Las especies que se encontraron en ambos estudios son 10: *Acropora cervicornis*, *Acropora palmata*, *Agaricia agaricites*, *Agaricia tenuifolia*, *Diploria labyrinthiformis*, *Montastrea cavernosa*, *Orbicella faveolata*, *Porites asteroides*, *Porites porites* y

Siderastrea siderea. De estas, cuatro especies las de mayor abundancia fueron: *Agaricia agaricites* (2.82%), *Orbicellas spp* (0.69%), *Porites asteroides* (1.13%) y *Siderastrea siderea* (1.05%).

En los sitios muestreados, las *Agaricias* fueron dominantes, estas se les ha asociado en ambientes arrecifales perturbados, sometidos a tensores ambientales como material suspendido por corrientes prevaletientes, fuerte oleaje y ciclones en otras localidades del Caribe en general y en el Caribe mexicano, (Fonseca *et al.*, 2006; Chavez *et al.*, 2007; Chávez-Hidalgo, 2009).

La Guía de Referencia Rápida (Healthy Reefs, 2008), explica que un arrecife con altos números en mortalidad necesita una protección *in situ*, también, si un arrecife presenta un porcentaje de mortalidad ≤ 2 , es una señal positiva en donde se está recuperando el arrecife, sin embargo, el porcentaje de la mortalidad promedio en Mahahual fue de 8.2%. Cabe destacar los valores de los sitios, el más bajo se presentó en Escalones con 2.4% y los 4 sitios con mayor mortalidad fueron: 40 cañones y San Francisco con 13.2% seguido de Faro Viejo con 15.6% (sitio identificado con nuevo blanqueamiento y monitoreado por AGRRA en 2018 a 2020) y por último Cocos con 16.5%.

El porcentaje de corales blanqueados en Mahahual (8.85) al igual que las enfermedades (0.522) no fueron datos de importancia significativa para estos arrecifes. En el caso del blanqueamiento y la presencia de este, se puede explicar gracias al comportamiento de los corales bajo situaciones de estrés, en cuanto a las enfermedades, las que están en el arrecife son: banda negra, banda blanca, mancha amarilla, mancha negra, banda amarilla y la infestación por Clionas. Arrojando que las enfermedades y el blanqueamiento se encuentran presentes en el arrecife, pero en Mahahual no es considerado como el problema principal.

Por otra parte, hablando de los reclutas de coral, si se presentan cinco reclutas pequeños por m^2 podría considerarse un signo de la recuperación de un arrecife (McField y Kramer, 2007), si estos datos se mantienen por arriba de los valores de referencia del 2000 (tres reclutas cada m^2); se espera la recuperación del arrecife; En este estudio obtuvimos un promedio de 3.25 reclutas pequeños cada m^2 , siendo Acuario el lugar con mayor

cantidad de reclutas y 2.24 grandes cada m², así Acuario y Escalones fueron los sitios con mayor cantidad de reclutas.

Peces

La biomasa de peces comerciales ha disminuido de manera general en el Sistema Arrecifal Mesoamericano (Arrecifes saludables 2020, 2022). En el caso particular de México, la biomasa de peces comerciales se encuentra en un promedio de 939 g/100 m². Los valores que encontramos en este estudio para esa misma categoría fueron de 194 a 15 641 g/100 m², con 7 sitios por debajo de la media para el Caribe de México, y 3 por encima de la misma.

Con base en estos resultados podemos resaltar los valores más altos a Faro Viejo y 40 Cañones con 6 646 y 15 641 g/100 m² respectivamente; los cuales presentaron valores más altos en comparación a Cozumel (2 174 y 2 663 g/100 m² en los reportes del 2020 y 2022, (McField *et al.*, 2022)), siendo el sitio reportado con la mayor biomasa de peces comerciales en todo el arrecife mesoamericano. Lo cual indica que las zonas muestreadas en Mahahual con los valores más altos son sitios importantes de refugio para los peces comerciales de la zona.

La biomasa de peces herbívoros (BPH) en los reportes del 2020 y 2022 (McField *et al.*, 2022) nos arrojó para el Caribe Mexicano una biomasa de 1 992 g/100m²; para Mahahual, nuestros muestreos nos arrojaron un promedio de 1 746.6 g/100m², mientras que Arias y colaboradores (2017) reportaron para Mahahual en el 2010, que la biomasa de peces herbívoros era de aproximadamente 3 000 g/100m², disminuyendo casi la mitad de la BPH en 12 años, lo cual se puede explicar gracias a la alta cobertura de macroalgas encontrada en este estudio y la pérdida de cobertura coralina.

La variable de la complejidad topográfica ayuda a definir mejor las preferencias de hábitat (abundancia y diversidad) de las especies de peces (Risk, 1972; Luckhurst y Luckhurst, 1978; Carpenter *et al.*, 1981), en Mahahual existe una mayor diversidad y riqueza de especies que podría ser explicado al resultado de estructuras residuales de una alta complejidad como se ha mencionado en otros estudios (Núñez-Lara y Arias-González, 1998). Sin embargo, en el Caribe la complejidad estructural ha decaído en los últimos 40

años, generando así, la pérdida aproximada del 80% de los arrecifes complejos, fenómeno asociado a la pérdida de cobertura coralina (Alvarez-Filip *et al.*, 2009a).

Con el muestreo de seis sitios, obtuvimos una complejidad topográfica promedio de 0.27 para Mahahual, siendo un valor cercano a la complejidad nula. La estimación de la complejidad topográfica estructural, es parte esencial en los estudios de la salud arrecifal ya que nos ayuda a comprender diferentes factores ecológicos, para la toma de decisiones y acciones sobre conservación. (Alvarez-Filip *et al.*, 2011).

El índice de salud arrecifal para Mahahual fue de 2.6 evaluando cuatro parámetros principales: %LC, %FMA, BPH y BPC, lo cual nos indica que los arrecifes de Mahahual se encuentran en un mal estado (Fig. 21), 2 décimas debajo del promedio para el índice de salud arrecifal (ISA) de México en el reporte de Arrecifes saludables del 2022.

SITIO	%LC	%FMA	BPH g/m2	BPC g/m2	ISA
Puerto bravo	3,33	31,2	687	234	1
Cocos	6,83	18,2	1799	1772	3
Faro Viejo	9,67	5,9	1195	6646	3,25
Acuario	10,41	18	2139	194	2,5
Escalones	12,17	14,3	1354	937	2,75
40 Cañones	7,5	20,3	3504	15641	3,75
Tortugas	11,83	17,2	1782	625	2,5
Dos Ojos	9,67	7,8	2406	233	2,5
Río Bermejo	11,67	17,3	996	592	2,5
San Francisco	9,67	10,4	1604	322	2,25
Mahahual (Promedio)	9	16	1747	2720	2,6

Figura. 21 Estimadores principales por sitio y promedio para Mahahual: cobertura de coral vivo (%LC), macroalgas carnosas (%FMA), biomasa de peces herbívoros (BPH), biomasa de peces comerciales (BPC) e Índice de Salud Arrecifal (ISA) por sitio y para la localidad de Mahahual. El color rojo representa un estado crítico, el naranja malo, el amarillo regular, el verde bien y el azul muy bien de acuerdo a la categorización de la iniciativa de Arrecifes Saludables.

Mahahual antes del año 2016, era un área sin protección ambiental, siendo ese año cuando obtiene la denominación de área natural protegida (ANP) como parte de la Reserva de la Biósfera del Caribe Mexicano (DOF, 2016), sin embargo, existe un puerto de cruceros denominado entre los primeros lugares de personas recibidas a nivel nacional (SECTUR,

2022). Lo cual resalta un deficiente manejo y aplicación de la regulación en las que se basan las ANP, ya que se está superando la capacidad de carga en esta localidad costera.

La falta de medidas de conservación y protección, aunado al auge turístico, han generado un gran deterioro ambiental en esta zona, identificando la necesidad primordial de los objetivos de gestión y estrategias de manejo sobre los recursos naturales (Amigos de Sian Ka'an; 2003) tengan una correcta implementación para la conservación de los ecosistemas de Mahahual, aprovechando así de manera sustentable sus recursos naturales (López, 2011).

CONCLUSIONES

Este estudio aportó resultados que muestran la afectación de los arrecifes de Mahahual debido principalmente a las acciones antropogénicas que incluyen diversas actividades generadas en la línea de costa y a la falta de un adecuado manejo como área natural protegida, lo que ocasiona el deterioro ecológico, y a largo plazo a un cambio de fase de coral alga, lo cual ha ocurrido en la mayoría de los arrecifes del mundo.

Los datos obtenidos en este estudio demandan el establecimiento de nuevas estrategias en Mahahual para hacer cumplir las normas oficiales mexicanas y las leyes que rigen a un Área Natural Protegida. Es importante que la comunidad científica continúe generando información sobre este sitio, no solo de los arrecifes, sino, también de los ecosistemas aledaños como los manglares y que este conocimiento tenga un impacto en las comunidades locales, y se establezcan medidas sustentadas bajo nuevos estudios científicos garantizando la protección del ecosistema y su rápida recuperación tomando en cuenta los intereses de los locatarios dependientes del turismo y/o de la pesca, logrando así respetar la capacidad de carga del ecosistema y poniendo en acción planes de restauración arrecifal en sitios estratégicos con una hipotetización de éxito.

Cabe resaltar la importancia de este estudio, siendo la evaluación más actual de los arrecifes de Mahahual, abarcando sitios del norte, centro y sur del territorio de Mahahual bajo la metodología AGRRA, con el cual podemos resaltar la importancia de hacer un seguimiento a los monitoreos arrecifales, pero con un énfasis en monitoreos más detallados y regionalizados para poder detectar problemas y factores sociológicos, ecológicos y biológicos para generar estrategias locales de preservación y conservación exitosas.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Aguilar, D. (1998). Estructura de la comunidad bentónica del arrecife de Mahahual, Quintana Roo, México (*No. Q/593.6097267 A3*).
- Aguilera, L., Bonilla, H., Norzagaray, C. y López, R. (2017). Los arrecifes coralinos de México: servicios ambientales y secuestro de carbono. *Elementos para Políticas Públicas*, 1(1), 53-62.
- Alcolado, P., Claro-Madruga, R., Martínez-Danaras, B., Parrado-García, P., Cantelar, K., Hernández, M. y Del Valle, R. (2001). Evaluación ecológica de los arrecifes coralinos del Oeste de Cayo Largo del Sur, Cuba: 1998-1999. *Bol. Inv. Mar. Cost.* 30: 109-132.
- Alvarado, J., Beita-Jiménez, A., Mena, S., Fernández-García, C., y Guzmán-Mora, A. (2015). Ecosistemas coralinos del Área de Conservación Osa, Costa Rica: estructura y necesidades de conservación. *Revista de Biología Tropical*, 63, 219-259.
- Alvarez-Borrego, S. (2007) Principios generales del ciclo del carbono en el océano. En: Hernández-dela Torre B, Gaxiola-Castro G (eds.), Carbono en ecosistemas marinos de México. *INE, Semarnat, CICESE, México*, 11-28.
- Alvarez-Filip, L., Dulvy, N. K., Côté, I. M., Watkinson, A. R., y Gill, J. A. (2009) Flattening of Caribbean coral reefs: region-wide declines in architectural complexity. *Proceedings of the Royal Society B* 276:3019–3025.
- Alvarez-Filip, L., Dulvy, N. K., Côté, I. M., Watkinson, A. R., y Gill, J. A. (2011). Coral identity underpins architectural complexity on Caribbean reefs. *Ecological Applications*, 21(6), 2223-2231.
- Amigos de Sian Ka'an. (2003). Manejo integrado de recursos costeros en Mahahual. *Reporte Técnico*. 42.
- Ardisson, P., May-Kú, M., Herrera, M., y Arellano, A. (2011). El Sistema Arrecifal Mesoamericano-México: Consideraciones para su designación como Zona Marítima Especialmente Sensible. *Hidrobiol.* 21, 261-280.
- Arias-González, J., Fung, T., Seymour, R., Garza-Pérez, J., Acosta-González G., y Bozec, Y. (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>.

- Aronson, R. (2003). Causes of Coral Reef Degradation. *302(5650)*, 1502–1504. doi:10.1126/science.302.5650.1502b.
- Aronson, R. y Precht, W. (2001). White-band disease and the changing face of Caribbean coral reefs. *Hidrobiología 460*: 25–38.
- Badii, M., Landeros, J., y Cerda, E. (2015). Papel de los Ecosistemas en la Sustentabilidad. *Cultura Científica y Tecnológica*, (21).
- Barón, M. y Zárate, R. (2017). La restauración de arrecifes de coral; una alternativa de conservación en el Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM). *Tesina. ECOSUR y Universidad de Sherbrook. México*.
- Bellwood, D., Hughes, T. Folke, C., y Nyström, M. (2004). Confronting the coral reef crisis. *Nature*, *429(6994)*, 827-833.
- Bozec, Y., Alvarez-Filip, L., y Mumby, P. (2015). The dynamics of architectural complexity on coral reefs under climate change. *Global change biology*, *21(1)*, 223-235.
- Breeden R., Willis, B., Raymundo, L., Page, C. y Weil, E. (2008). Underwater cards for assessing coral health on Indo-pacific reefs. <http://www.gefcoral.org>.
- Brenner, J., y Pérez-España, H. (2019). Línea base para el monitoreo de los arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) a través de la metodología AGRRA (Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment).
- Bruno, J., Sweatman, H., Precht, W., Selig, E. y Schutte, V. (2009), Assessing evidence of phase shifts from coral to macroalgal dominance on coral reefs. *Ecology*, *90*: 1478-1484. <https://doi.org/10.1890/08-1781.1>
- Burke, L. y Maidens, J. (2005). Arrecifes en Peligro en el Caribe. *World Resources Institute*. Washington, D. C.
- Burke, L., Reyntar, K., Spalding, M., y Perry, A. (2012). Reefs at risk. World Resources Institute, Washington, DC, *124*.
- Bula, G. (2002) Perturbación biológica extrema en los sistemas coralinos del Caribe. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* *26(98)*: 105-110.
- Caballero, H., Alcolado, P., González, P., Perera, S., y Hernández-Fernández, L. (2000). Protocolo para el monitoreo de bentos en arrecifes coralinos. Versión ajustada a partir del método de campo AGRRA.

- Camacho, R., Campo, K., Sequeda, J., Duque, T., Abril, A., y Bolaños, N. (2009). *INFORME DEL ESTADO DE LOS AMBIENTES Y RECURSOS MARINOS Y COSTEROS EN COLOMBIA Cap. 4 ESTADO DE LOS ARRECIFES CORALINOS. INVEMAR. 75.*
- Campos, B. (2020) Resiliencia Turística: Costa Maya-Mahahual, Quintana Roo, México. *Universidad de Quintana Roo. 29-48.*
- Carpenter, K., Miclat, R., Albaladejo, V. y Corpuz, V. (1981). The influence of substrate structure on the local abundance and diversity of Philippine reef fishes. *Proceedings Fourth International Coral Reef Symposium Manila 2, 497–502.*
- Castellanos, I. y Suárez, E. (1997). Observaciones sobre el zooplancton de la zona arrecifal de Mahahual, Quintana Roo (Mar Caribe Mexicano). *Anales del Instituto de Biología. Serie Zoología, 68(2), 237-252.*
- Chávez, E. e Hidalgo, E. (1988) Los arrecifes coralinos del Caribe Noroccidental y Golfo de México en el contexto socioeconómico. *An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM. 15(1):167-176.*
- Chuc, A., Ortegón-Aznar, I., Tuyub, A. y Suárez, J. (2012). Cambio de fase coral-algas en el Arrecife de coral de Mahahual, en el Caribe Mexicano. *Proceedings of the 64th Gulf and Caribbean Fisheries Institute October 31, Puerto Morelos, Mexico*
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2016. Estudio Previo Justificativo para la declaratoria de la Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano, Quintana Roo. 305.
- CONABIO (2020). Arrecifes. Biodiversidad Mexicana. recuperado el 11/05/2023 de: <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/arrecifes>.
- Constante, K., Torres, G., y Culcay, L. (2011). Descripción de la biodiversidad del ecosistema coralino natural presente en la isla Salango, Parque nacional Nacional Machalilla-provincia de Manabí, mediante el uso de índices de diversidad. *Tesis de Licenciatura, Facultad de ingeniería marítima y ciencias del mar, Guayaquil, Ecuador.*
- Crain, C., Kroeker, K. y Halpern, B. (2008) Interactive and cumulative effects of multiple human stressors in marine systems. *Ecology Letters. 11: 1304–1315.*

- Daltabuit-Godás, M. (1999) Desarrollo turístico en Quintana Roo y sus efectos en el sistema arrecifal mesoamericano y del Caribe. 22 pp. *En: IX Reunión Anual del Programa Universitario del Medio Ambiente, 1999: Arrecifes Coralinos, Riqueza Marina Amenazada. UNAM, SEMARNAP, PROFEPA. CD-ROM ISBN 968-36-8434- 3.*
- Delgado, S. (2011) Los arrecifes coralinos, bajo constante amenaza por la acción humana. *Ciencia UNAM* recuperado el 07/09/2023 de: https://ciencia.unam.mx/leer/21/Los_arrecifes_coralinos_bajo_constante_amenaza_por_la_accion_humana.
- Done T. (2011). Coral Reef, Definition. *En: Hopley, D. Encyclopedia of Modern Coral Reefs Structure, Form and Process.* Springer. 261-267.
- Edwards, A. y Gomez E. (2007). Reef Restoration Concepts & Guidelines: making sensible management choices in the face of uncertainty. *Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management program:* St. Lucia, Australia. iv-38p.
- Escalante, M., y Carrol, I. (2013). Antropología y turismo. *Cuicuilco*, 20(56),249-259. ISSN: 1405-7778. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=35128956012>.
- Espinoza-Tenorio, A., Moreno-Báez, M., Pech, D., Villalobos-Zapata, G., Vidal-Hernández, L., Ramos-Miranda, J., y Espejel, I. (2014). El ordenamiento ecológico marino en México: un reto y una invitación al quehacer científico. *Latin american journal of aquatic research*, 42(3), 386-400.
- García, J.(2016). Patrones de sedimentación y calidad del agua relacionados con indicadores de degradación arrecifal en Akumal, Q. Roo *Doctoral dissertation, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.*
- Garzón-Ferreira, J. (1997) Arrecifes Coralinos:¿ Un tesoro camino a la extinción? *INVEMAR Santa Marta, Colombia.*
- González, S. (2010) Efecto acumulativo de agentes estresantes múltiples sobre los corales hermatípicos de la región noroccidental de Cuba. *Tesis de Doctorado, Universidad de la Habana, Centro de Investigaciones Marinas, La Habana, Cuba.*

- González Gamboa, I. (2019). Estructura morfo-funcional y taxonómica de los arrecifes coralinos en la Zona de Sotavento de la Isla de San Andrés, Caribe Colombiano *Doctoral dissertation, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.*
- Gutierrez, D. (2016). Evaluación de reclutamiento de coral en el arrecife de Mahahual; como indicador de recuperación.
- Healthy Reefs Initiative (HRI). 2008. Eco-health report card for the Mesoamerican Reef: an evaluation of ecosystems health. Disponible en www.healthyreefs.org
- Hoekstra, J., Boucher, T., Ricketts, T., y Roberts, C. (2005) Confronting a biome crisis: global disparities of habitat loss and protection. *Ecol Lett*, 8:23-29.
- Hughes, T. (1994) Catastrophes, phase shifts, and large-scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science*.265(5178):1547-51. doi: 10.1126/science.265.5178.1547. PMID: 17801530.
- Hughes, T., Ayre, D., y Connell, J. (1992.) The evolutionary ecology of corals. *Trends in Ecology & Evolution*, 7(9), 292-295.
- Jackson, J., Donovan, M., Cramer, K., y Lam, V. (2014). Status and trends of Caribbean coral reefs: 1970-2012. *Global Coral Reef Monitoring Network.*
- Kleypas, J., Buddemeier, R., Archer, D, Gattuso, J., Langdon, C., y Opdyke, B. (1999). Geochemical consequences of increased atmospheric carbon dioxide on Coral Reefs. *Science* 284 (5411): 118–120.
- Kramer, P., McField, M., Álvarez, P., Drysdale, I., Rueda, F., Giró, A. y Pott, R. (2015) Report card for the Mesoamerican Reef. . Disponible en www.healthyreefs.org
- Lang, J., Marks, K., Kramer, P., Kramer, P., y Ginsburg, R. (2012). Protocolos AGRRA version 5.5.
- Langdon, C., Takahashi, T., Sweeney, C., Chipman, D., Goddard, J., Marubini, F., Aceves, H., Barnett, H., y Atkinson, M.. (2000). Effect of calcium carbonate saturation state on the calcification rate of an experimental coral reef. *Global Biogeochem. Cycles* 14: 639–654.
- Lapointe, B., Bedford, B. y Baumberger. (2006) Hurricanes Frances and Jeanne Remove Blooms of the Invasive Green Alga *Caulerpa brachypus* forma *parvifolia* (Harvey) Cribb From Coral Reefs Off Northern Palm Beach County, Florida. *Estuaries and Coasts*. 29 (6A) 966–971.

- Lara, M. (2012). Evaluación de estrategias de manejo arrecifal en Akumal, Q. Roo: Disturbios antropogénicos y enfermedades coralinas. *Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.*
- Lessios, H. (1998) Mass mortality of *Diadema antillarum* in the Caribbean: What have we learned? *Annual. Rev. Ecol. Syst.* 19: 371-391.
- López, H. (2011). Aprovechamiento turístico y manejo de arrecifes de coral en Mahahual, Quintana Roo.
- López-Victoria, M. y Díaz, J. (2000) Morfología y estructura de las formaciones coralinas del Archipiélago de San Bernardo, Caribe colombiano. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 24(91): 219-230.
- Luckhurst, B. y Luckhurst, K. (1978). Analysis of the influence of substrate variables on coral reef fish communities. *Marine Biology* 49, 317–323.
- Macintyre, I., y Glynn, P. (1976). Evolution of modern Caribbean fringing reef, Galeta Point, Panama. *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.* 60: 1054-1072.
- McCook, L., Jompa, J. y Díaz- Pulido, G. (2001) Competition between corals and algae on coral reefs: a review of evidence and mechanism. *Coral Reefs.* 19: 400-417.
- McField, M., y Kramer, P. (2007). A Guide to Indicators of Reef Health and Social Well-being in the Mesoamerican Reef Region. Healthy Reefs Initiative, Belize city.
- McField, M., y Kramer, P. (2007). Healthy reefs for healthy people: a guide to indicators of reef health and social well-being in the Mesoamerican Reef Region. With contributions by M Gorrez and M McPherson. Miami, FL: *Healthy Reefs for Healthy People Initiative.*
- McField, M., y Kramer, P. (2005). The Healthy Mesoamerican Reef Ecosystem Initiative: a conceptual framework for evaluating reef ecosystem health.
- McField, M., Soto, M., Craig, N., Giro, A., Drysdale, I., Guerrero, C., Rueda, M., Kramer, P., Canty, S., y Muñiz, I. (2022). 2022 Mesoamerican Reef Report Card. *Healthy Reefs Initiative. www.healthyreefs.org*
- McNeil, B., Matear, R. y Barnes, D. (2004) Coral reef calcification and climate change: The effect of ocean warming. *Geophys. Res. Lett.* 31: 10.1029/2004GL021541.
- McGuinness, K., y Underwood, A. (1986). Habitat structure and the nature of communities on intertidal boulders. *J. exp. mar. Biol. Ecol* 104. 97-123.

- McGuinness, K. (1989). Effects of some natural and artificial substrata on sessile marine organisms at Galeta Reef, Panama. *Marine ecology progress series. Oldendorf*, 52(2), 201-208.
- Mendieta, Y. (2017). Mahahual ecológico, Mahahual social: Encuentro comunitario para un Mahahual sustentable.
- Morales-Pulido, J., Pérez-Luna, J., Piedad, M. y Zavala-García, G. (2015) Percepción ambiental de los prestadores de servicios turísticos y el servicio ambiental que presta el arrecife coralino en Bahías de Huatulco, Oaxaca, México.
- Núñez-Lara, E., y Arias-González, J. (1998). Composición, Biomasa y Estructura trófica de la Comunidad de peces arrecifales en tres áreas del sur del Caribe mexicano. *AquaDocs. Ítem* <https://aquadocs.org/handle/1834/29161>.
- Ostrander, G.; Meyer, K.; Knobbe, E.; Gerace, D. y Scully, E. (2000) Rapid transition in the structure of a coral reef community: The effects of coral bleaching and physical disturbance. *Science*. 97 (10): 5297–5302.
- Padilla, C., Gutiérrez, D., Lara, M. y García, C. (1992) Coral reef of the Biosphere Reserve of Sian Ka'an, Quintana Roo, Mexico. *Proceedings of the Seventh International Coral Reef Symposium, Guam*. 2: 986-992.
- Padilla, C., Alafita-Vázquez, H., y Andreu-Montalvo, E. (2010). Factores de riesgo para los arrecifes coralinos y sus mecanismos de respuesta ante los efectos del cambio climático global. *CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO*, 181.
- Pandolfi, J., Bradbury, R., Sala, E., Hughes, T., Bjorndal, K., Cooke, R., McArdle, D., McClenachan, L., Newman, J., Paredes, G., Warner, R. y Jackson, J. (2003) Global trajectories of the long-term decline of coral reef ecosystems. *Science*. 301: 955-958.
- Pérez, E., Navarro, E., Estrada, N., Espinoza, N., Melo, S., Rivas, M. y Álvarez-Filip, L. (2017). Estado de conservación de los arrecifes de coral de la Península de Yucatán. GreenPeace, 24.
- Pérez J. (2023). ¿Un asesino en serie? Smithsonian Tropical Research Institute. <https://stri.si.edu/es/noticia/un-asesino-en-serie#:~:text=La%20muerte%20masiva%20de%20erizos,pudieron%20acorrallar%20al%20probable%20asesino.>

- Pratchett, M., Hoey, A., y Wilson, K. (2014). Reef degradation and the loss of critical ecosystem goods and services provided by coral reef fishes. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 7(0), 37–43. doi:10.1016/j.cosust.2013.11.022
- Prato Valderrama, J. (2013). Afloramientos de cianobacterias marinas bentónicas en San Andrés, Providencia y las Islas del Rosario (Caribe colombiano): Caracterización y evaluación de su posible papel ecológico..
- Reaka-Kudla, M., Feingold, J., y Glynn, W. (1996). Experimental studies of rapid bioerosion of coral reefs in the Galapagos Islands. *Coral Reefs*, 15, 101-107.
- Reef Resilience (s.f.). *Causas de la enfermedad del coral*
<https://reefresilience.org/es/stressors/coral-disease/causes-of-coral-disease/>
- Risk, M. (1972). Fish diversity on a coral reef in the Virgin Islands. *Atoll Research Bulletin* 153, 1–6.
- Rodríguez-Baquero, D. (2011). Caracterización estructural de la comunidad bentónica en el arrecife de Mahahual, México. *Doctoral dissertation, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.*
- Rodríguez, A. (2017) Estudios de Límite de Cambio Aceptable, para regular las actividades turístico recreativas que se desarrollan en Mahahual-Xahuayxol, en la Reserva de la Biosfera Caribe Mexicano. *PROZONA*. Convenio de Concertación Núm. CONANP/ PROMANP/FOR/005/2017.
- Rodríguez, M. (2019). Perspectiva socioeconómica de Área Marina Protegida, enfocada en arrecifes de coral en Mahahual, Quintana Roo. *Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México*. Repositorio Tesis UNAM Digital.
- Rodríguez-Troncoso, A. y Tortolero-Langarica, J. (2014). Corales: organismos base constructores de los ecosistemas arrecifales. *INVESTIGACIONES COSTERAS*, 33.
- Rogers, C. (1990) Response of coral reefs organisms to sedimentation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 62: 185-190.
- Ruiz-Zarate, M., Hernandez-Landa, R., Gonzalez-Salas, C., Nunez-Lara, E., y Arias-Gonzalez, J. (2003). Mexico. Condition of Coral Reef Ecosystems in Central-Southern Quintana Roo, Mexico (Part 1: Stony Corals and Algae). *Atoll Research Bulletin*.

- Santander-Botello, L. y Frejomil, E. (2009). Impacto ambiental del turismo de buceo en arrecifes de coral. *Cuadernos de turismo*, (24), 207-227.
- SECTUR (2022) Análisis del arribo de cruceros 2018 - 2021 y expectativas 2022. DATATUR. Secretaria de turismo. Recuperado de: https://www.datatur.sectur.gob.mx/Documentos%20compartidos/Analisis_Turismo_Cruceros.PDF
- SEMA Quintana Roo (2021) Educación Ambiental para proteger el Arrecife Mesoamericano. *Comunicado 029*. Cancún, Quintana Roo.
- SEMAR-DIGAOHM. Mahahual Quintana Roo, Datos Generales del Puerto. Secretaría de Marina, <http://digaohm.semar.gob.mx/cuestionarios/cnarioMajahual.pdf>.
- Sorokin, Y. (1995). Coral reef ecology. Ecological Studies, Vol. 102. *Springer*.
- Sosa, A. e Inés, C. (2016). El turismo de cruceros y la transformación del paisaje: Majahual, México. *El periplo sustentable*. 31.
- Spalding MD, Ravilious C, Green EP. (2001). World Atlas of Coral Reefs. UNEP World Conservation Monitoring Centre
- Szmant A.M. 2002. Nutrient Enrichment on Coral Reefs: Is it a major cause of coral reef decline?. *Estuaries*. Vol. 25, No 4b, 743-766.
- Toohey, B. (2007). The relationship between physical variables on topographically simple and complex reefs and algal assemblage structure beneath an *Ecklonia radiata* canopy. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 71(1-2), 232-240.
- Upegui, S. (2020) El papel de los arrecifes de coral en el ciclo del carbono ¿Fuentes o sumideros de carbono?. *Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia*.
- Van Oppen, M., Oliver, J., Putnam, H. y Gates, R. (2015). Building coral reef resilience through assisted evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(8), 2307-2313.
- Veron, J. (2000) Corals of the World. AIMS, *Australia*, Vol.1. 469.
- Wilber, D., y Clarke, D. (2007) Defining and assessing benthic recovery following dredging and dredged material disposal. *Proceedings XXVII World Dredging Congress*. 2007.

Wilkinson T., Wiken, E., Bezaury, J., Hourigan, T., Agardy, T., Herrmann, H., Janishevski, L., Madden, C., Morgan, L. y Padilla, M. (2009). Ecorregiones marinas de América del Norte, Comisión para la Cooperación Ambiental. Montreal, 200.

GLOSARIO

AINV. Invertebrados Agresivos.

AO. Especies de peces de ornato.

Ange. Peces ángel

Antropogénica. Alteraciones en el clima que surgen a partir del resultado de las actividades del hombre.

Arrecife. Acumulaciones sucesivas de materiales carbonatados que impiden la navegación.

BARR. Peces de las barracudas

Biogénico. Que es producido por organismos vivos.

BLEACH. Blanqueamiento.

BUTT. Peces mariposa

CCA. Algas Incrustantes.

CHUB. Peces de las chopas

CMA. Macroalgas calcáreas

Corales. Invertebrados asociados a un sustrato marino formadores de colonias, unidos entre sí por un pólipo.

CS. Peces de importancia comercial.

CYAN. Cianobacterias.

DAM. Peces de las damiselas

Diversidad. Es la abundancia de especies y su interacción, además es una medida de la riqueza de un área.

DP. Especies de peces depredadoras de *Diadema antillarum*.

Ecosistema. Sistema biológico constituido por una comunidad de seres vivos que interactúan intra e interespecíficamente en un área determinada.

Estrés. Conjunto de alteraciones que se producen en el organismo como una respuesta física ante un determinado estímulo.

FILE. Peces de las lijas

Fisiológicos. Conjunto de las propiedades y funciones de los órganos y tejidos del cuerpo de un organismo.

FMA. Macroalgas carnosas

GROU. Meros

GRUNT. Peces ronocos

H. Peces Herbívoros.

Hermatípicos. Son los corales que presentan una simbiosis con algas (zooxantelas) de las que dependen para la obtención de los nutrientes necesarios.

Hidrodinámico. Parte de la dinámica que estudia el movimiento de los líquidos en relación con las causas que lo originan.

I. Peces Invertívoros

Invertebrados. Animales que carecen de vértebras.

JACK. Cornudas

LC. Cobertura de coral vivo.

Macroalgas (Ma). Son un tipo de algas marinas de gran tamaño, suelen ser multicelulares y estas se caracterizan porque se pueden ver y palpar.

MORA. Morenas

Metabólicos. Conjunto de cambios químicos y biológicos que se producen continuamente en las células de un organismo.

NNM. Nueva mortalidad.

NOM. Mortalidad antigua.

NRM. Mortalidad reciente.

NSD. Corales Muertos.

NTM. Mortalidad en transicional..

OINV. Otros Invertebrados.

Oligotróficas. Ambientes que ofrecen poca cantidad de nutrientes.

Organismos coloniales. Organismos que presentan una relación intraespecífica en donde son agrupaciones colaborativas formadas por individuos descendientes del mismo progenitor.

P. Peces piscívoros.

PARR. Peces loro

Peces. Vertebrado no tetrápodo provisto de aletas y con respiración branquial.

PEY. Peyssonnelidas.

Phylum. Categoría Taxonómica que agrupa a los organismos relacionados entre sí en el tiempo.

Pólipo. Masa de células que se forma y crece en los tejidos que cubren las mucosas de algunas cavidades del cuerpo, sujeto por un pedúnculo y en su boca, se ve una corona de tentáculos. Es la unidad funcional del coral.

Productividad primaria. Es la velocidad con la que la energía se acumula en forma de materia orgánica.

SCOR. Pez león

Secuestradores de carbono. Son los organismos que tienen la capacidad de absorber el carbono presente en la atmósfera e incorporarlo a través de la fotosíntesis a su estructura.

Sedentarios. Organismos que viven permanentemente en el lugar en el que sean establecido.

Sedimentos. Conjunto de partículas sólidas que queda depositada al pasar de un estado a otro.

Servicios Ambientales. Son aquellas funciones de los ecosistemas que pueden generar beneficios y bienestar adicionales para las personas y las comunidades

SNAP. Pargos

Sobrepesca. Es la pesca excesiva realizada por el humano.

SURG. Peces cirujano

TA. Tapete Algal.

TAS. Tapete algal con sedimentos.

TRIG. Peces ballesta

WRAS. Peces lábridos



ANEXOS

Tabla 1. Descripción de los 10 sitios muestreados.

Sitio	Coordenadas (N, O)	Descripción
Puerto Bravo	18.78277 , -87.65809	Profundidad media de 9.1 m con un terreno duro y corales dispersos en terreno plano.
Cocos	18.76072, -87.66640	Profundidad media de 6.5 m con un terreno duro y corales dispersos en terreno plano.
Faro Viejo	18.74188, -87.67734	Profundidad media de 10.8 m con corales dispersos y una pendiente moderada.
Acuario	18.71978, -87.70036	Profundidad media de 6.1 m con un hábitat tipo campo de coral con pendiente moderada.
Escalones	18.71772, -87.69936	Profundidad media de 14.3 m con formaciones de tipo espolones y surcos con pendiente pronunciada.
40 Cañones	18.71063, -87.70317	Profundidad media de 14 m con formaciones de tipo espolones y surcos con pendiente pronunciada.
Tortugas	18.70317, -87.70536	Profundidad media de 13 m con formaciones de tipo espolones y surcos con pendiente pronunciada.

Dos Ojos	18.68519, -87.70797	Profundidad media de 7 m con formaciones de tipo espolones y surcos con pendiente moderada.
Río Bermejo	18.63375, -87.71256	Profundidad media de 11.9 m con formaciones de tipo espolones y surcos con pendiente moderada.
San Francisco	18.66265, -87.71636	Profundidad media de 10.8 m con formaciones de tipo espolones y surcos con pendiente moderada

Tabla 2. Grupos morfofuncionales del bentos

Grupo	Identificación
Peyssonnelias	
Cianobacterias	




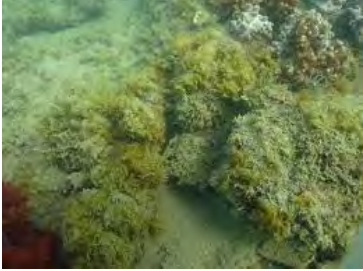
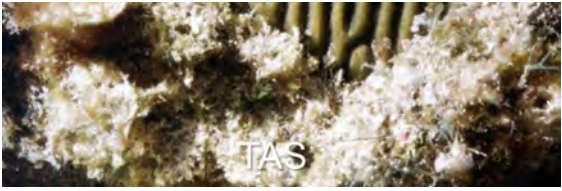











<p>Algas Incrustantes</p>	
<p>Macroalgas calcáreas</p>	
<p>Macroalgas carnosas</p>	
<p>Alfombra de algas</p>	
<p>Tapete Algal con sedimentos</p>	
<p>Céspedes algales o tapete de algas</p>	

Tabla 3. Tipos de invertebrados dentro de AGRRA

Especie	Nombre Común	Identificación
Invertebrados Móviles		
<i>Lobatus gigas</i>	Caracol	
<i>Panulirus argus</i>	Langosta	
<i>Mithrax spinosissimus</i>	Cangrejo rey	
Holoturoideos	Pepinos de Mar	
<i>Diadema antillaum</i>	Erizos diadema	<p data-bbox="1021 1463 1118 1493">Adulto:</p>  <p data-bbox="1021 1814 1118 1843">Juvenil:</p>

		
Invertebrados Agresivos		
Porifera	Esponjas agresivas	
Clionas	Esponjas excavadoras incrustantes	
<i>Palythoa caribaeorum</i>	Anémona dorada	
Invertebrados No Agresivos		
Octocoralia	Octocorales	










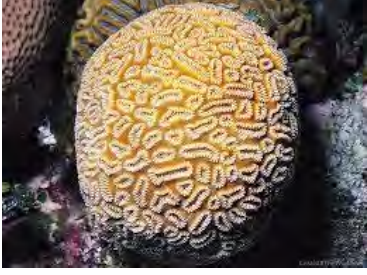






Gorgonacea	Gorgonias	
Tunicata	Tunicados	






Tabla 4. Especies de corales registrados.

Espece	Nombre Común	Imagen
<i>Acropora cervicornis</i>	Coral cuerno de ciervo	
<i>Acropora palmata</i>	Coral cuerno de alce	
<i>Agaricia agaricites</i>	Coral lechuga	

<p><i>Agaricia fragilis</i></p>	<p>Coral de plato</p>	
<p><i>Agaricia tenuifolia</i></p>	<p>Coral lechuga delgada</p>	
<p><i>Agaricia humilis</i></p>	<p>Coral lechuga</p>	
<p><i>Colpophyllia natans</i></p>	<p>Coral cerebro</p>	
<p><i>Dichocoenia stokesii</i></p>	<p>Coral Piña</p>	

<p><i>Diploria labyrinthiformis</i></p>	<p>Coral cerebro</p>	
<p><i>Favia fragum</i></p>	<p>Coral bola de golf</p>	
<p><i>Isophyllia rigida</i></p>	<p>Coral de perlas</p>	
<p><i>Madracis auretenra</i></p>	<p>Coral de dedos amarillos</p>	
<p><i>Madracis decactis</i></p>	<p>Coral de diez rayos</p>	

<p><i>Manicina areolata</i></p>	<p>Coral rosal</p>	
<p><i>Meandrina meandrites</i></p>	<p>Coral laberinto</p>	
<p><i>Millepora alcicornis</i></p>	<p>Coral de fuego</p>	
<p><i>Montastrea cavernosa</i></p>	<p>Gran Coral de estrellas</p>	
<p><i>Orbicella annularis</i></p>	<p>Estrella rocoso</p>	

<p><i>Orbicella faveolata</i></p>	<p>Coral Estrella montaña</p>	
<p><i>Orbicella franksi</i></p>	<p>Coral pilar estrella</p>	
<p><i>Porites astreoides</i></p>	<p>Coral mostaza</p>	
<p><i>Porites digitate</i></p>	<p>Coral de dedos</p>	
<p><i>Porites Furcata</i></p>	<p>Coral de dedos</p>	










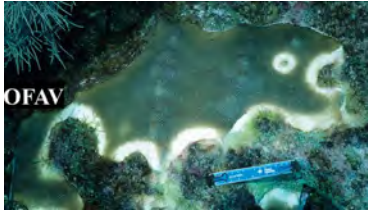



<p><i>Porites porites</i></p>	<p>Coral de dedos</p>	
<p><i>Pseudodiploria strigosa</i></p>	<p>Coral cerebro</p>	
<p><i>Siderastrea radians</i></p>	<p>Coral estrella menor</p>	
<p><i>Siderastrea siderea</i></p>	<p>Coral estrella masiva</p>	
<p><i>Stephanocoenia intersepta</i></p>	<p>Coral estrella</p>	

Tabla 5. Enfermedades coralinas dentro de AGRRRA y como identificarlas

Enfermedades	Descripción	Identificación
Banda Negra	Linear, Redondo, o irregular; banda marginal de color negra o rojiza-café oscura con filamentos blancos dispersos.	
Banda Roja	Banda delgada roja, no tienen filamentos blancos.	
Infección Ciliada Caribeña	Banda difusa color “sal y pimienta” negra o gris de pequeños ciliados.	
Banda Blanca	Redondo o linear; extendiéndose de la base o bifurcaciones ramales; el tejido vivo marginal puede blanquearse o pelarse del esqueleto.	
Banda Amarilla	Parche muy pálido Amarillo hacia incoloro con una banda delgada que se expande de forma radial y lineal.	

<p>Manchas Oscuras</p>	<p>Redondo a irregular, morado a café (verde en profundidades bajo el agua)</p>	
<p>SCTLD (enfermedad de la pérdida de tejido)</p>	<p>Los corales presentan múltiples lesiones y pérdida del tejido y una rápida mortandad</p>	

Tabla 6. Mortalidades de AGRRA y como identificarlas

<p>Tipo de Mortalidad</p>	<p>Descripción</p>	<p>Identificación</p>
<p>Nueva Mortalidad</p>	<p>parte/s no vivientes del coral en donde las estructuras coralinas todavía están intactas</p>	
<p>Mortalidad Transicional</p>	<p>las estructuras coralinas tienen pequeñas erosiones y sus superficies están cubiertas de una delgada capa de sedimento, o por bio-films de bacterias</p>	
<p>Mortalidad Reciente</p>	<p>Puede indicar enfermedades latentes, blanqueamiento, depredación, competencia, u otra perturbación(es). Su esqueleto es blanco brillante</p>	






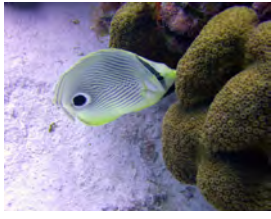
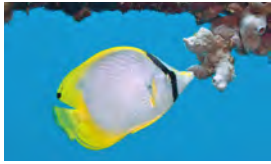



















Mortandad Vieja	partes no vivientes del coral donde las estructuras coralinas están completamente cubiertas de organismos que no se pueden desprender fácilmente o cuando los organismos entapizados han sido removidos exponiendo el esqueleto interior.	
-----------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------









Tabla 7. Familias de peces registrados.









Familia	Nombre Común	Especie	Imagen
Ángeles	Isabelita	<i>Holacanthus tricolor</i>	
	Ángel gris	<i>Pomacanthus arcuatus</i>	
	Ángel frances	<i>Pomacanthus paru</i>	
Barracudas	Barracuda	<i>Sphyraena barracuda</i>	

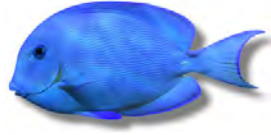







Mariposas	Mariposa 4 ojos	<i>Chaetodon capistratus</i>	
	Perla amarilla	<i>Chaetodon ocellatus</i>	
	Mariposa rayada	<i>Chaetodon striatus</i>	
Damiselas	Damisela coliamarilla	<i>Microspathodon chrysurus</i>	
	3 Puntos	<i>Stegastes planifrons</i>	
Lijas	Lija colorada	<i>Cantherhines pullus</i>	
Meros	Panal	<i>Cephalopholis cruentata</i>	


	Negro	<i>Mycteroperca bonaci</i>	
Roncos	Burro payaso	<i>Anisotremus virginicus</i>	
	Ronco carbonero	<i>Haemulon carbonarium</i>	
	Ronco boquichica	<i>Haemulon chrysargyreum</i>	
	Ronco condensado	<i>Haemulon flavolineatum</i>	
	Boquilla	<i>Haemulon parra</i>	
	Chac - chi	<i>Haemulon plumierii</i>	

	Ronco Amarillo	<i>Haemulon sciurus</i>	
Cojinudas	Cojinuda carbonera	<i>Caranx ruber</i>	
Morenas	Morena verde	<i>Gymnothorax funebris</i>	
	Morena pinta	<i>Gymnothorax moringa</i>	
	Loro azul	<i>Scarus coeruleus</i>	
	Loro listado	<i>Scarus iseri</i>	
	Loro princesa	<i>Scarus taeniopterus</i>	

Loros	Reina	<i>Scarus vetula</i>	
	Loro mancha verde	<i>Sparisoma atomarium</i>	
	Loro banda roja	<i>Sparisoma aurofrenatum</i>	
	Loro verde o colirrojo	<i>Sparisoma chrysopterum</i>	 
	Loro coliamarillo	<i>Sparisoma rubripinne</i>	
	Loro brillante	<i>Sparisoma viride</i>	 

Escorpión	Pez León	<i>Pterois volitans</i>	
Pargos	Pargo canchix	<i>Lutjanus apodus</i>	
	Pargo cubera	<i>Lutjanus cyanopterus</i>	
	Pargo gris	<i>Lutjanus griseus</i>	
	Pargo ojón	<i>Lutjanus mahogoni</i>	
	Rubia	<i>Lutjanus synagris</i>	
	Pargo cola amarilla	<i>Ocyurus chrysurus</i>	
	Cirujano rayado	<i>Acanthurus chirurgus</i>	

Cirujanos	Cirujano azul	<i>Acanthurus coeruleus</i>	
	Cirujano pardo	<i>Acanthurus tractus</i>	
Ballestas	Ballesta reina	<i>Balistes vetula</i>	
	Escochín	<i>Canthidermis sufflamen</i>	
	Cochito negro	<i>Melichthys niger</i>	
Lábridos	Doncella española	<i>Bodianus rufus</i>	
	Doncella rayada	<i>Halichoeres bivittatus</i>	
	Doncella cabeza amarilla	<i>Halichoeres garnoti</i>	

	Doncella azulada	<i>Halichoeres radiatus</i>	
Chopas	Chopa	<i>Kyphosus spp.</i>	