



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**CONDICIÓN DE LA COMUNIDAD DE CORALES HERMATÍPICOS
 DEL ARRECIFE BLANCA, SISTEMA ARRECIFAL
 VERACRUZANO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LIC. EN BIOLOGÍA

P R E S E N T A:

GARCÍA CARRILLO ATZIRI ALESSANDRA

DIRECTOR DE TESIS

DR. GUILLERMO JAVIER HORTA PUGA

Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México, 2023





Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

ÍNDICE

RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	6
Los arrecifes de coral y su importancia ecológica para el hombre	6
Factores de impacto ambiental sobre los arrecifes de coral.....	8
Los efectos del impacto ambiental y antropogénico (enfermedades y pérdida de tejido por mortalidad parcial) en corales	10
Principales enfermedades coralinas	11
La mortalidad parcial en corales	13
Enfermedades y mortalidad parcial reportadas en México.....	15
Importancia del estudio de la condición arrecifal en México.....	17
Enfermedades y mortalidad parcial en Veracruz	19
OBJETIVOS	22
MATERIALES Y MÉTODOS	23
Descripción del área de estudio	23
Estrategia metodológica.....	26
Muestreo	29
Procesamiento de datos.....	31
Análisis de datos	34
RESULTADOS	35
Abundancia relativa	35
Enfermedades coralinas	38
Mortalidad parcial y tejido perdido.....	43
DISCUSIÓN	45
Abundancia relativa	45
Enfermedades coralinas	48
Mortalidad parcial y tejido perdido.....	53
CONCLUSIONES	57
REFERENCIAS	58
ANEXO 1(CATÁLOGO DE ESPECIES CORALINAS)	75
ANEXO 2(CATÁLOGO DE ENFERMEDADES CORALINAS)	77

DEDICATORIA

A mis padres, por acompañarme en todo momento, dándome su apoyo en cada una de mis decisiones, así como brindarme palabras de aliento para continuar y no rendirme en el proceso de mi formación académica pese a todo obstáculo.

A mis hermanos que a pesar de la distancia y algunos contratiempos, nunca me dejaron sola en este importante y complicado camino, pues cada uno de los consejos y comentarios que me compartían, siempre los tuve presentes para ser una mejor persona en todos los ámbitos.

A mi tía María Félix, quien ha estado desde siempre brindándome apoyo en conjunto con mis padres para continuar con mis estudios y que además me dio grandes consejos para mi futuro.

A todos los profesores y profesoras que siempre me dieron una razón más para seguir en este juego, a quienes creyeron en mí y a quienes me expresaron sus palabras de motivación para dedicarme en diferentes áreas en las cuales puedo sobresalir si me lo propongo.

Para Lolo, quien se convirtió en una razón más para no desistir, y aunque ella no leerá esto, siempre estaré agradecida por su llegada en los momentos más importantes hasta el momento.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco mucho a mi tutor el Dr. Horta Puga por darme la oportunidad de haber formado parte de su equipo de trabajo en mi último año de universidad y quien me dio buenos consejos para ser una excelente profesionalista, además de permitirme vivir muy buenas experiencias y retos que me hicieron ver que esta decisión fue una de las mejores que tomé.

A cada uno de mis asesores por permitirme acercarme a ellos siempre que se presentaba alguna duda a lo largo de mi proyecto y enriquecerlo aún más con su experiencia.

A la Facultad por todas las oportunidades que fueron apareciendo en el camino y por las nuevas herramientas y estrategias que conocí al comenzar este capítulo de mi vida.

Y finalmente agradezco a cada una de las personas que estuvieron presentes en el desarrollo de mi tesis aportando buenos y malos comentarios para realizar un mejor trabajo.

RESUMEN

Los arrecifes de coral son afectados por diversos motivos, ya sea de origen natural o antropogénico (actividades como sobrecolecta de especies, construcción de infraestructuras aledañas, la contaminación proveniente de pesticidas, fertilizantes, drenajes y residuos sólidos de zonas agrícolas o urbanas y la sedimentación). De forma que, las actividades referidas anteriormente llegan a provocar enfermedades, pérdida parcial del tejido coralino o la muerte de estos. Hasta el momento, se ha comentado que la fuente de estrés más notoria para la comunidad de corales en el SAV es la concentración de sedimentos suspendidos en columna de agua que son transportados por sistemas fluviales. Es así, que con base en los datos obtenidos del proyecto de investigación CONABIO GM005: Sistema Arrecifal Veracruzano: condición actual y programa permanente de monitoreo: segunda etapa, se pretende de manera general en este estudio, determinar la condición de la comunidad de corales hermatípicos del arrecife Blanca, haciendo énfasis en la proporción de corales afectados por enfermedades y/o mortalidad parcial. Para ello, se analizó un total de 44 videotranssectos y se contabilizó un total de 700 colonias coralinas, donde las especies más abundantes dentro del arrecife Blanca corresponden a *Siderastrea siderea* (35.0%), *Porites astreoides* (17.4%) y *Colpophyllia natans* (16.4%). Además, en el arrecife se presentó una prevalencia general de colonias enfermas del 19.2%, observándose al menos 5 enfermedades (Predación, Lunares Blancos, Plaga Blanca, Banda Amarilla y Mancha Negra), siendo *Siderastrea siderea* (83.5%) y *Colpophyllia natans* (10.3%) las especies más afectadas. Cabe mencionar que durante las campañas de marzo (C-07, C-09 y C-11) se obtuvo los porcentajes más altos en cuanto a la proporción de colonias enfermas, donde la campaña de 2013 (C-07) fue aquella que presentó el porcentaje más alto (22.6%). Asimismo, se obtuvo un porcentaje promedio de mortalidad parcial (MP) del 18.6%, y una pérdida de tejido del 19.5% en general, afectando a las especies *Siderastrea siderea* y *Colpophyllia natans*. Finalmente, tomando en cuenta dichos parámetros, se contrastó con otros arrecifes del Atlántico Tropical y así se obtuvo que la condición del arrecife Blanca se considera en buen estado, ya que también, en él se registraron algunas de las principales especies que participan mayormente en la construcción de arrecifes de coral.

Palabras clave: Mortalidad parcial, Enfermedades coralinas, Sistemas fluviales, Arrecife Blanca, Veracruz.

INTRODUCCIÓN

Los arrecifes de coral y su importancia ecológica para el hombre

Los arrecifes de coral tropicales son estructuras biogénicas marinas sumergidas formadas por el acúmulo de rocas coralinas (esqueletos, conchas calcáreas y algas encostrantes principalmente); por su topografía tridimensional son considerados importantes ecosistemas marinos ya que albergan una gran biodiversidad y son energéticamente autosuficientes. Además, estos paisajes submarinos proporcionan alimento, hábitat, sustrato y refugio para otros organismos, por lo que su papel en el ambiente marino es crucial, pues su deterioro provocaría que los corales busquen nuevos espacios para colonizar y sobrevivir, o bien, morir a causa de un desequilibrio que pueda generarse en el ambiente (Odum y Odum 1955; Loya 1972; Verón 2000; Gutiérrez-Ruiz *et al.* 2011).

Estas estructuras biogénicas se ubican principalmente dentro de la franja que se forma entre el Trópico de Cáncer y el Trópico de Capricornio y ecológicamente, resultan importantes al participar en los ciclos biogeoquímicos globales, proveer zonas de crianza para peces e influir en la dinámica costera previniendo daños causados por tormentas, huracanes o la erosión (Harvell *et al.* 2007; Bourne *et al.* 2009).

Brindan además diferentes servicios ambientales que satisfacen la vida del ser humano: 1) enriquecen el valor paisajístico proporcionando arena a las playas y haciéndolas más atractivas; 2) promueven beneficios sociales y culturales que favorecen económicamente a la industria turística (actividades acuáticas); 3) la extracción de recursos bióticos y abióticos como fuente de materiales para joyería; 4) la construcción de diferentes infraestructuras; y, 5) la obtención de productos químicos y farmacéuticos, por lo cual, se han convertido en el

centro de atención para su conservación (Costanza *et al.* 1997; Hoegh *et al.* 2007; Salas-Pérez y Granados-Barba 2008; Castañeda-Chávez *et al.* 2015).

Por su parte, los arrecifes mexicanos se encuentran distribuidos en tres grandes zonas: (1) la costa del Pacífico, incluyendo las islas Mariás y Revillagigedo; (2) las costas del Golfo de México (GM) frente a los estados de Veracruz y Campeche; y, (3) la costa caribeña, desde Isla Contoy hasta Xcalak - Banco Chinchorro (Carricart-Ganivet y Horta-Puga 1993; Horta-Puga *et al.* 2019), hogar del Sistema Arrecifal Mesoamericano.

Ahora bien, en el GM por el extremo sudoccidental del estado de Veracruz, se ubica el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) el cual alberga numerosos arrecifes de coral englobados en dos subgrupos: (1) grupo norte, que incluye arrecifes ubicados frente a las costas de la ciudad de Veracruz (Gallequilla, Anegada de Adentro, La Blanquilla, La Gallega, Pájaros, Isla Verde e Isla Sacrificios); y, (2) grupo sur, que se localiza frente a la costa de Antón Lizardo, a una distancia de 2.6 a 20.5 km y comprende arrecifes de plataformas emergentes: Anegada de Afuera, Topatillo, Santiaguillo, Anegadilla, Polo, Isla de Enmedio, Aviso, Blanca, Chopas, El Rizo, Cabezo, etc., (Tunnell 2010).

Factores de impacto ambiental sobre los arrecifes de coral

Alrededor del mundo, los arrecifes de coral se consideran actualmente bajo amenaza debido a diferentes factores relacionados con el cambio climático y diversas actividades antropogénicas (sobrecolecta de especies, construcción de infraestructuras aledañas, extracción de materiales para construcción, la contaminación proveniente de pesticidas, fertilizantes, drenajes y residuos sólidos de zonas agrícolas o urbanas y sedimentación) (Horta-Puga 2007; Alvarez-Filip *et al.* 2013; Castañeda-Chávez *et al.* 2015). Lo anterior concuerda con distintos trabajos que se han realizado en el GM, donde se describe una afectación ambiental (Rosales-Hoz *et al.* 2007; Horta-Puga 2013-2017), de modo que a lo largo del tiempo, se han presentado severos cambios en la calidad del ambiente marino, yendo desde una escala local, regional e inclusive mundial, dentro de las comunidades arrecifales (Jordán-Dahlgren 2004).

A escala local, el SAV es el sistema de arrecifes más afectado en el GM por su ubicación frente a la ciudad de Veracruz, lugar del puerto más grande del país y zona influenciada por descargas fluviales que acarrearán gran cantidad de sólidos disueltos provocando una reducción en la transparencia del agua y aumentando la turbidez de la misma afectando las características necesarias para que los corales puedan desarrollarse correctamente (Jordán-Dahlgren 2004; Horta-Puga 2007; Bourne *et al.* 2009; Horta-Puga *et al.* 2015; Pérez-España *et al.* 2015b).

Por otro lado, se ha reportado a escala regional, que factores naturales como el oleaje, producto de ciclones, huracanes o tormentas tropicales, provocan daños irreversibles debido a la lenta tasa de recuperación coralina, un ejemplo de esto, es el caso del ciclón Roxana en

1995 que afectó al sur del estado de Campeche (Jordán-Dahlgren 2004; Horta-Puga 2007; Salas-Pérez y Granados-Barba 2008; Salas-Monreal *et al.* 2015; Avedaño-Álvarez *et al.* 2017). Otro efecto regional que es potencialmente grave, se lo atribuimos a la contaminación por sólidos y sustancias disueltas que se han ido liberando en el mar Caribe, y que por efecto de las corrientes marítimas, llegan a los arrecifes del Golfo, en este caso, dado que el sistema de circulación predominante en el Caribe es hacia el canal de Yucatán y de ahí eventualmente va en dirección al GM, esto podría provocar afloramientos de virus, bacterias u hongos que se quedan estancados en dichas zonas, lo cual propiciaría el desarrollo de enfermedades coralinas (Jordán-Dahlgren 2004; Horta-Puga 2007; Caballero *et al.* 2009; Gutiérrez-Ruiz *et al.* 2011; Horta-Puga *et al.* 2015).

A escala global, el calentamiento de la atmósfera y el incremento en la radiación UV-B producto del cambio climático, causa numerosos efectos negativos sobre los arrecifes de coral, sobre todo en el clima oceánico, pues genera problemas biológicos, si de la estabilidad y salud del ecosistema arrecifal se trata, un ejemplo de ello es la aparición de enfermedades lo cual reduce la capacidad fisiológica de las zooxantelas y da oportunidad a que competidores, parásitos o patógenos oportunistas, logren dañar a los corales (Jordán-Dahlgren 2004; Harvell *et al.* 2007; Bourne *et al.* 2009; Carricart-Ganivet *et al.* 2011; Castañeda-Chávez *et al.* 2015; Castañeda-Chávez *et al.* 2018).

Los efectos del impacto ambiental y antropogénico (enfermedades y pérdida de tejido por mortalidad parcial) en corales

Las actividades referidas anteriormente podrían resultar en la pérdida parcial del tejido, la aparición de enfermedades o la muerte de los corales, provocando cambios importantes en la comunidad arrecifal a causa del estrés ambiental acumulado (Horta-Puga 2007; Bourne *et al.* 2009; Gutiérrez-Ruiz *et al.* 2011).

En este escrito, una enfermedad se entenderá como “cualquier discapacidad que interfiere o modifique el desempeño de una función normal, incluyendo las respuestas a los factores ambientales como: la nutrición, sustancias tóxicas, el clima y agentes infecciosos o combinación de estos” (Wobeser 1981). Así, los corales hermatípicos pueden presentar una serie de enfermedades, la mayoría fácilmente reconocibles visualmente por los síntomas que generan, como manchas, bandas o franjas que denoten una coloración o aspecto diferente al resto de la colonia (ver anexo 2), generando un riesgo mayor (Harvell *et al.* 2007; Horta-Puga *et al.* 2009; Jordán-Garza *et al.* 2019).

Es importante mencionar que, después de la enfermedad, es común que parte de la colonia sufra daños, perdiéndose un gran número de pólipos en ciertas zonas del coral. Desde el punto de vista ecológico, cada colonia coralina es tomada como un solo individuo, la parte enferma y recubierta muchas veces por un tapete algal, se considera como “tejido perdido”, es decir, el coral presenta una muerte parcial que se cuantifica como mortalidad parcial (MP) (Ward *et al.* 2006; Harvell *et al.* 2007; Horta-Puga *et al.* 2009; Castañeda-Chávez *et al.* 2015).

En resumen, la mortalidad parcial en corales es una medida de la mortalidad reciente o antigua (si este ha muerto en su totalidad) o parte de una colonia o de un arrecife en particular. Raymundo y Harvell (2008) describen que los corales, pueden "morir parcialmente", es decir, pierden cierta porción de su tejido, sin embargo, el tejido restante puede ser sano y capaz de volver a crecer, por lo cual resulta útil monitorear este parámetro. Sin embargo, pese a que los corales presentan una amplia gama de respuestas al cambio ambiental, es probable que las poblaciones de algunas especies de coral disminuyan, otras permanezcan estables o incluso pueden aumentar, según sea el caso (Alvarez-Filip *et al.* 2013).

Principales enfermedades coralinas

Aunque son varias las causas implicadas en la pérdida de arrecifes de coral, las enfermedades, como ya he comentado, son una de las mayores amenazas para los corales debido a que presentan una distribución universal, sumado a una rápida propagación (Bourne *et al.* 2009; Jordán-Garza *et al.* 2019). De acuerdo con Carpenter *et al.* (2008), un informe reciente indica que el 32% de los corales escleractinios, enfrentan un alto riesgo de extinción debido a las enfermedades que se encuentran en relación con la elevada temperatura en el mar y aún más, debido al estrés antropogénico local. De igual manera, Jordán-Dahlgren (2004) comenta que, a causa de que la biota coralina es fisiológicamente debilitada por el deterioro de su entorno ambiental (en este caso, referido a temperaturas cálidas en el verano), la actividad de los patógenos aumenta por esas mismas condiciones, lo cual se ve reflejado en una alta incidencia de enfermedades y un nivel de mortalidad elevado.

Por otra parte, Sutherland *et al.* (2004) estudiando el Caribe y el Indopacífico, mencionan que hasta la fecha, se han descrito 18 enfermedades coralinas que afectan al menos a 150 especies de zooxantelados escleractinianos, gorgonianos e hidrozoos, mismas que se encuentran asociadas con diversos patógenos (bacterias, cianobacterias, hongos y protistas) y con factores de estrés abióticos. Aunado a ello, la revisión hecha por Harvell *et al.* (2007) en algunos arrecifes del Caribe, así como en la Península de Yucatán, describe que las sustancias terrígenas pueden no sólo ser una causa de estrés físico para los organismos bentónicos poco profundos como los corales, sino que también pueden actuar como un reservorio de patógenos en el tiempo.

Al respecto Lesser *et al.* (2007), sugirieron que las enfermedades de los corales, más bien podría tratarse de un fenómeno secundario causado por patógenos oportunistas, esto después de presentarse un desequilibrio en su ambiente a causa del estrés fisiológico, ya que, si un organismo cual quiera, desarrolla una enfermedad, entonces también además del ambiente, puede que exista algún problema en las defensas del organismo que de pauta a que los patógenos se establezcan en él. De ahí que algunas de las enfermedades coralinas que se han registrado en algunos arrecifes corresponden a la enfermedad de la Plaga Blanca ocasionada por *Aurantimonas coralicida*, enfermedad de la Banda Negra ocasionada por el género *Ocellularia*, enfermedad de la Banda Blanca ocasionada por *Phormidium corallyticum*, enfermedad de la Línea Rosa ocasionada por *Phormidium corallyticum* y Viruela Blanca ocasionada por *Serratia marcescens*, también, aquellas asociadas a *Vibrio* spp., como la enfermedad de la Banda Amarilla y el Síndrome de las Manchas Oscuras, por mencionar algunas (Sutherland *et al.* 2004; Ward *et al.* 2006; Bourne *et al.* 2009; Gil-Agudelo *et al.* 2009; Weil y Rogers 2011; Castañeda-Chávez *et al.* 2015) (Figura 1).

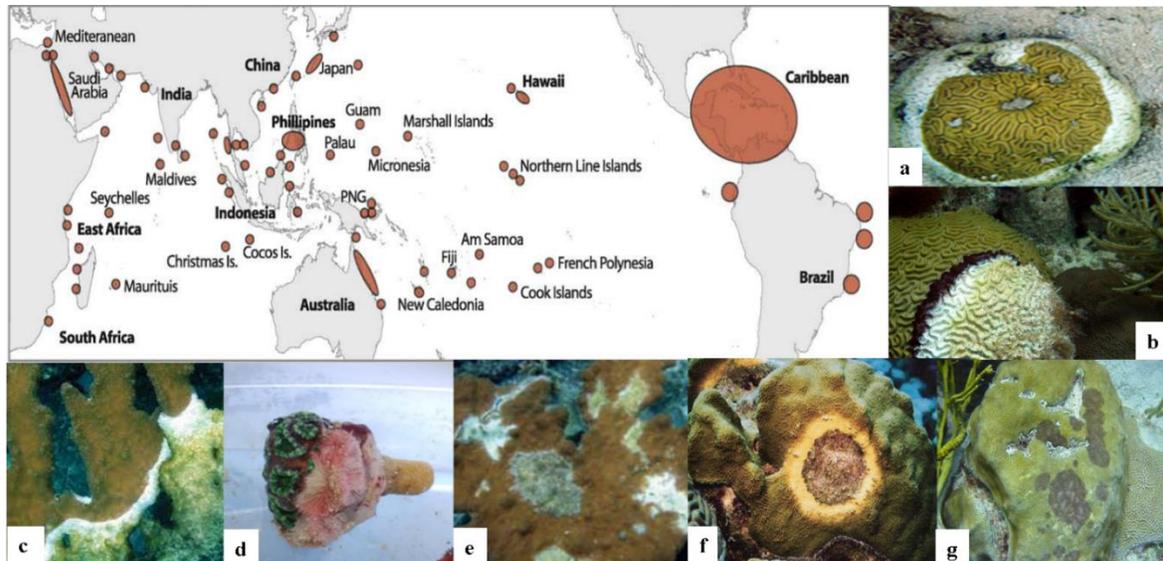


Figura 1. Mapa de los informes mundiales en enfermedades coralinas e imágenes gráficas de los tipos de enfermedad mencionados en el texto; a) Plaga Blanca; b) Banda Negra; c) Banda Blanca; d) Línea Rosa; e) Viruela Blanca; f) Banda Amarilla; g) Manchas Oscuras (Modificado de Bourne *et al.* 2009).

La mortalidad parcial en corales

La mortalidad parcial en corales, se incorporó formalmente al conjunto de indicadores desarrollados por el programa AGRRA (1997) para evaluar rápidamente la condición de los arrecifes de coral, esto se hace por medio de estimaciones visuales del fenómeno (mortalidad parcial), donde se comenzó a observar que los aumentos de estrés estaban relacionados con la pérdida de tejido en corales y por ende, esto apuntaba a un aumento en la mortalidad de estos. Así, se distinguió a la mortalidad reciente (indicios de eventos actuales de perturbación) y la mortalidad antigua (observada en escalas de tiempo más largas) y dado que la primera da pauta a la segunda, se determinó que en ese periodo, jugarían un papel importante factores como la sedimentación, la depredación, la bioerosión y el crecimiento excesivo de algas o esponjas para impulsar la transición entre una y otra, es decir, el tiempo en el que se pierden las propiedades del esqueleto y complican la

identificación de un coral determinado (Kramer 2003; Raymundo y Harvell 2008; Lirman *et al.* 2014; Vega-Thurber *et al.* 2020) (Figura 2).

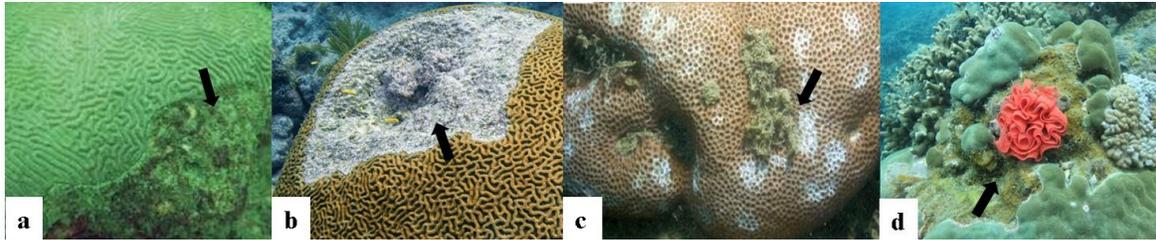


Figura 2. Casos de mortalidad parcial en corales; a) crecimiento de algas (mortalidad antigua); b) exposición del esqueleto calcáreo (mortalidad reciente); c) depredación (mortalidad reciente); d) bioerosión y crecimiento algal (mortalidad antigua).

Al respecto, Ravindran *et al.* (1999), llevaron a cabo un estudio en las islas Lakshadweep y Andaman, así como en el Golfo de Kutch para evaluar la salud de los corales, donde las enfermedades, la depredación y el estrés al que estaban sometidos, fueron los principales factores de mortalidad en estos. Del mismo modo, Bourne *et al.* (2015) destacó que los síndromes blancos, corresponden más a un término colectivo para patrones inexplicables de pérdida de tejido coralino con una etiología desconocida en los corales del Indo-Pacífico. Cabe mencionar, que los patrones de mortalidad también se encuentran relacionadas con el tamaño de la colonia, pues la mayoría de colonias coralinas pequeñas son las que comúnmente tienden a morir por completo, en tanto que las de un tamaño mayor logran salvarse si las lesiones sólo afectan a un área pequeña, por lo que la regeneración del tejido puede darse sin problema, sin embargo, en caso de encontrarse un nivel de perturbación alta como huracanes o un mayor enriquecimiento por nutrientes, podrían evitar que el tejido se regenere y dándole ventaja a otros organismos para desarrollarse y competir por el espacio de los corales, como por ejemplo las algas (Hughes y Jackson 1980; McField *et al.* 2003; Vega-Thurber *et al.* 2020).

Por lo tanto, este parámetro proporciona una señal temprana de condiciones estresantes y una métrica flexible que se puede relacionar con los niveles de estrés a través de una amplia gama de factores (Cooper *et al.* 2009). Así, los datos que se arrojen al usar este indicador en la condición arrecifal, se podrían comunicar fácilmente a las autoridades respectivas, y obtener una línea base para la evaluación del estado de las poblaciones de coral, así como indicar una alerta temprana de las condiciones desfavorables que pongan en riesgo la vida de este ecosistema marino y desencadenar acciones benéficas, como cerrar temporalmente dicha zona y considerarla área protegida (Lirman *et al.* 2014).

Enfermedades y mortalidad parcial reportadas en México

Desde las primeras descripciones en la década de 1970, las enfermedades coralinas se han vuelto más generalizadas. Al momento, algunos de los patógenos identificados en arrecifes del GM son de origen terrígeno, como el hongo *Aspergillus sidowii* o bacterias comunes que son encontradas en el tracto digestivo del ser humano y muchos otros animales tanto marinos como terrestres que corresponden a *Serratia marcescens*, lo cual indica un efecto sinérgico entre efectos locales y globales. Por ejemplo, en la década de los años 80 se registró el fenómeno de muerte masiva en colonias de *Acropora palmata* y *Acropora cervicornis*, donde la causa potencial se le atribuyó a la enfermedad de la Banda Blanca que, al mismo tiempo afectó a los corales del SAV y Banco de Campeche considerándose la principal causa de la disminución de los corales Acropóridos en algunos de estos arrecifes. De igual manera, la enfermedad de la Mancha Amarilla y otras enfermedades, han afectado

aún más a los corales formadores de arrecifes como *Orbicella spp.* en esta región (Jordán-Dahlgrén 2004; Williams y Miller 2005; Gil-Agudelo *et al.* 2020).

Ward *et al.* (2006), en su estudio a lo largo de la Península de Yucatán, comenta que las especies *Siderastrea siderea*, *Agaricia agaricites* y *Montastraea annularis* (citada en este trabajo como *Orbicella annularis*), son las más abundantes y susceptibles a varias enfermedades, ya que, si dichas especies experimentan una alta mortalidad debido a distintos patógenos o factores ambientales abióticos que aumenten la prevalencia de enfermedades, la comunidad coralina podría verse comprometida.

Lamentablemente, en 2014 se descubrió una nueva enfermedad de coral conocida como enfermedad de Pérdida de Tejido de Coral Pétreo (o SCTLD por sus siglas en inglés) que se describió primero en el área de Miami. El síntoma más evidente la presencia de múltiples lesiones generando pérdida de tejido, exponiendo rápidamente el esqueleto y dando paso al recubrimiento por macroalgas o sedimento. Las especies altamente susceptibles ante dicho fenómeno fueron: *Pseudodiploria strigosa*, *Dendrogyra cylindrus*, *Meandrina meandrites*, *Dichocoenia stokesii*, *Montastraea cavernosa* y *Eusmilia fastigiata*, entre otras causando pérdidas de hasta el 60 % del área de tejido vivo, convirtiéndose en la enfermedad coralina más devastadora hasta la fecha de acuerdo a varios autores (Precht *et al.* 2016; Walton *et al.* 2018; Alvarez-Filip *et al.* 2019; Estrada-Saldívar *et al.* 2021).

Para 2018, el brote se informó por primera vez en el Caribe Mexicano en un sitio de buceo llamado “Fish Market”, donde tras reportes de alerta emitidos por buzos locales, y en colaboración con las autoridades del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, se encontró un brote severo de una enfermedad de coral que exhibía patrones similares a los

reportados en Florida. Por tanto, se realizaron estudios para evaluar los impactos de este nuevo brote en la comunidad de corales, que poco después, generó graves consecuencias para la zona, perdiéndose varias colonias de especies susceptibles como *Montastraea cavernosa* y *Pseudodiploria strigosa*, causando cambios significativos en la composición de la comunidad coralina (Alvarez-Filip *et al.* 2019; Estrada-Saldívar *et al.* 2021).

Desde entonces, se comenzó a estudiar otros arrecifes en el Caribe Mexicano y se descubrió que el brote de la enfermedad se propagó rápidamente por toda la región, siendo la influencia de corrientes y sedimentos una posible causa de transmisión (Precht *et al.* 2016; Aeby *et al.* 2019; Muller *et al.* 2020; Estrada-Saldívar *et al.* 2021).

Importancia del estudio de la condición arrecifal en México

Las enfermedades dentro de los arrecifes de coral tropicales, de acuerdo con Vega Thurber *et al.* (2020), corresponden a un área de estudio intensivo, que, a pesar de los avances en la metodología y la base de conocimiento global, continúa siendo una tarea difícil el identificar las causas de los brotes, pues estos se caracterizan por ser generados gracias a un entorno cambiante que contribuyen, no sólo a pérdidas de especies de coral, sino también a cambios en todo el ecosistema en general. Sin embargo, uno de los problemas destacados en el campo de estudio para las enfermedades coralinas, recae en la confianza que debe existir entre colegas para relacionar los fenotipos que caracterizan a cada coral, con los signos explícitos que provoca la enfermedad, ya que, encontramos algunos autores que describen bien esta problemática para llevar a cabo una caracterización detallada de las enfermedades en los arrecifes que han estudiado, pues a menudo causan confusión por no tomar en cuenta

observaciones patológicas, por tal motivo, es común que surjan dudas al toparse con síntomas de enfermedades similares en múltiples especies de coral (Raymundo *et al.* 2008; Work *et al.* 2008; Bourne *et al.* 2009; Weil *et al.* 2009; Castañeda-Chávez *et al.* 2015; Jordán-Garza *et al.* 2019).

De ahí que los Síndromes Blancos, la Banda Amarilla, la Banda Negra y muchas otras enfermedades, se han registrado como importantes causas de mortalidad en corales y aunque muchas de ellas aún se desconoce el agente causal específico, el grado de contaminación donde llegan a presentarse o inclusive a qué nivel de temperatura en la superficie del mar, podría estar contribuyendo a que surjan estos brotes que llegan a afectar la capacidad fisiológica de los corales evitando que puedan recuperarse (Raymundo *et al.* 2008).

Work y Aeby (2006), sugieren que las lesiones observadas en campo corresponden a los “síntomas” de una enfermedad, por lo que se ha propuesto aplicar el término de “síndromes” en vez de “enfermedad”, para definir mejor a las lesiones observadas en los corales cuya patología no ha sido debidamente caracterizada mediante los estudios microbiológicos correspondientes. No obstante, la mayoría de estudios respecto a ecología arrecifal en México, se realizan en escalas espacio-temporales cortas, haciendo énfasis a casos sobre ecología de invertebrados marinos y taxonomía, debido a que la demanda en proyectos sobre el estado de la condición arrecifal no es un trabajo sencillo, por los recursos económicos y el desgaste físico para realizar el monitoreo a largo plazo (Jiménez-Hernández *et al.* 2007; Wilkinson *et al.* 2013; Pérez-España *et al.* 2015a).

Pese que aún no haya una técnica específica para reportarlo, el empleo de monitoreo con algunas técnicas ya documentadas, son de gran ayuda para el reconocimiento en campo de estas enfermedades, lo cual contribuye a que más investigadores se interesen en la salud arrecifal, tomando como modelo a los corales y como parámetros, las enfermedades y la mortalidad parcial (Raymundo *et al.* 2008; Bourne *et al.* 2009; Jordán-Garza *et al.* 2019).

Enfermedades y mortalidad parcial en Veracruz

Con todo lo expuesto anteriormente, caemos en cuenta que en la actualidad hay un deterioro en la calidad del ambiente marino generado por causas diversas que afectan a las comunidades coralinas en México. En este caso, observamos que los arrecifes ubicados frente al litoral veracruzano no quedan exentos de dichos riesgos, ya que sufren el mayor estrés ambiental por la diversidad de impactos locales, desencadenando mayores episodios de mortalidad a causa de la presencia de enfermedades en el ambiente. Un caso importante es el que realizaron Horta-Puga y Tello-Musi (2009) y Horta-Puga *et al.* (2017), para la evaluación de la condición actual del Sistema Arrecifal Veracruzano, en el que reportaron que las enfermedades presentes en 10 arrecifes del SAV (incluido el arrecife Blanca), afectaron al 4.2% de los corales, siendo las más frecuentes: Mancha Negra (41.9%), Plaga Blanca (38.1%) y Banda Negra (7.7%) respectivamente. En tanto que la mortalidad parcial afectó al 45.7% de las colonias coralinas, perdiendo en promedio el 22.8% de tejido.

Carricart-Ganivet *et al.* (2011) por su parte, documentaron una prevalencia total de enfermedades coralinas en 10 arrecifes del SAV del 4.8%, registrando un total de siete enfermedades que afectó a seis géneros de corales (4 de ellos los más abundantes), siendo la enfermedad de Mancha Negra la de mayor prevalencia (2.9%).

De esta manera, y hasta hace algún tiempo, muchos de estos ecosistemas marinos se les ubicaba lejos de asentamientos urbanos, así como dentro de lugares de difícil acceso. Sin embargo, esta situación se ha visto en constante cambio y la biota arrecifal comienza a resentir todo este impacto antrópico por parte de la humanidad, volviéndose potencialmente destructivo. Tal como se observa en el escrito de Castañeda-Chávez *et al.* (2015), donde realizaron un diagnóstico de bacterias *Vibrio spp.* en corales del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) y se observó la presencia en un 42.3%, de las bacterias *Vibrio complex*, *V. coralliilyticus* y *V. shilonii*, en el tejido del coral *Colpophyllia natans*, *Montastraea carvernosa*, *Montastraea faveolata* (citado en este trabajo como *Orbicella faveolata*), *Porites astreoides*, y *Siderastrea siderea* y donde también mencionan que la presencia de bacterias patógenas provenientes del aporte de materia orgánica, está generando afectaciones patológicas en el tejido del coral, tales como: Banda Blanca, Banda Negra, Banda Amarilla, Plaga blanca y Blanqueamiento Bacteriano. Con base en esto, es importante resaltar que varios ríos descargan sus aguas en el sur del Golfo de México, transportando una variedad de contaminantes de los estados costeros (Horta-Puga 2007).

El estudio de Ochoa-López *et al.* (1998) en Islas Revillagigedo, documentan el impacto del aporte de sedimentos por sistemas fluviales hacia las comunidades coralinas. Un punto importante, es que la estructura de la comunidad arrecifal en el SAV es muy diferente con respecto a los arrecifes del Atlántico Tropical Oriental, y esto puede ser explicado como

una consecuencia de los efectos diferenciales en el desempeño de los corales que habitan en el ambiente altamente turbio como del SAV (Horta-Puga *et al.* 2015). Por tanto, dado que varias actividades antropogénicas están provocando una disminución de la cobertura de coral vivo y un cambio en el dominio de las especies coralinas (Chávez *et al.* 2007), la fuente de estrés más notoria para la comunidad de corales en el SAV es la concentración de sedimentos suspendidos en columna de agua que son transportados por sistemas fluviales, como los ríos Papaloapan (~ 48 km al sur) y La Antigua (~ 32 km al norte), así como varios pequeños arroyos, pero especialmente el río Jamapa (Self 1977; Horta-Puga 2007; Ortiz-Lozano 2012), considerándose la principal causa de la baja transparencia (<1 m) durante la temporada de lluvias, de julio a octubre (Tunnell 1988). Ahora bien, dado que el arrecife Blanca se localiza cerca de la desembocadura del río Jamapa, fuente de contaminantes, microorganismos patógenos, nutrientes y sedimentos, se considera que la comunidad coralina al estar expuesta a estos factores de estrés ambiental, no se encontrará en condiciones óptimas.

Por tal motivo, y dado la problemática a la que se ven expuestos, las preguntas a responder son las siguientes: ¿La comunidad coralina presenta una alta proporción de corales enfermos y/o con pérdida de tejido por mortalidad parcial?, ¿Las variaciones en la descarga del río Jamapa están modulando la condición de la comunidad coralina? Es así, que se plantea que los corales que se encuentran próximos a la desembocadura del río Jamapa dada su exposición a factores de estrés ambiental, presentarán un mayor porcentaje de enfermedades y/o pérdida de tejido por mortalidad parcial que aquellos más alejados de la zona.

OBJETIVOS

- *Objetivo general*

Determinar la condición de la comunidad de corales hermatípicos del arrecife Blanca, con base en la proporción de corales afectados por enfermedades y/o mortalidad parcial.

- *Objetivos particulares*

Determinar la variabilidad interanual de la proporción de corales enfermos y con distintos tipos de enfermedad.

Determinar la variabilidad interanual de la proporción de corales que presentan mortalidad parcial, así como la proporción promedio de tejido que pierden los corales con mortalidad parcial.

Determinar que especies son las más afectadas por enfermedades y/o mortalidad parcial.

Determinar la condición de la comunidad coralina, comparando con los resultados en otros arrecifes del Atlántico Tropical.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) se ubica sobre la plataforma continental, frente al puerto de Veracruz entre los 19°00'00"-19°16'00" N y 95°45'00"- 96°12'00" O (Figura 3). A nivel local, se localiza frente a los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado, y está constituido por un conjunto de arrecifes en distintos grados de afectación por su cercanía a la costa y las desembocaduras de ríos importantes como La Antigua (al norte), Papaloapan (al sur) y Jamapa que divide de manera natural al SAV en dos áreas o grupos: norte (frente al puerto de Veracruz) y sur (frente a Punta Antón Lizardo) (Pérez-España y Vargas-Hernández 2008; Carricart-Ganivet *et al.* 2011; Horta-Puga *et al.* 2015-2017). En este último grupo, encontramos el arrecife Blanca (considerado para este estudio). Este arrecife de tipo plataforma se localiza a 2.6 km de la costa entre los 19°05'06" N y 95°59'57" O. Su eje más largo mide 1.0 km y 0.6 km transversalmente y no presenta una porción emergida (Figura 4). Cabe mencionar, que los arrecifes de tipo plataforma, se elevan a la superficie desde profundidades de 25 a 40 m y cuentan con cuatro zonas geomorfológicas bien desarrolladas: (1) Talud de barlovento o Arrecife frontal: situado hacia mar abierto, con crecimiento activo y mayor cobertura coralina; puede presentar un sistema de canales para disipar la energía del oleaje y escape de sedimentos; posee aguas relativamente claras y con pocos sólidos en suspensión; (2) Cresta arrecifal o Zona de bloques: se localiza hacia el margen Este del arrecife y es una zona de máxima energía por el constante batir del oleaje; su profundidad no va más allá de 3 m siendo afectada por las fluctuaciones de la marea. Se caracteriza por estar constituida de bloques de coral muerto, pues el crecimiento coralino está muy restringido; (3) Planicie arrecifal (también denominada Plataforma o Laguna arrecifal):

representa la parte superior del arrecife, con comunidades someras dispersas de corales, pastos marinos y otras especies. Las profundidades van entre 0.5-2.0 m donde las aguas son claras y con escaso movimiento; y, (4) Talud de sotavento o Arrecife posterior: se localiza hacia el Oeste; es una zona de crecimiento coralino activo alrededor de los 20 m de profundidad; posee una menor cobertura, pero mayor diversidad coralina que el Arrecife frontal; las aguas tienen poco movimiento y mucho material sólido en suspensión (Horta-Puga y Tello-Musi 2009). En este caso, el arrecife Blanca a pesar de ser un arrecife de tipo plataforma, el Talud de sotavento está muy poco desarrollado, y sólo es una pendiente muy suave cubierta por arena, sin un desarrollo importante de corales hermatípicos (Horta-Puga *et al.* 2017), mientras que los principales componentes coralinos sobre la pendiente del Talud de barlovento son: *Colpophyllia natans*, *Pseudodiploria strigosa*, *Montastraea cavernosa* y *Siderastrea siderea*, acompañadas por formas tubulares y globulares de esponjas así como tapete algal (Arenas-Fuentes y Vargas-Hernández 2004). Sin embargo, es uno de los arrecifes más cercanos a la desembocadura del río Jamapa y por tanto es el primero en recibir los efectos del río (Pérez-España *et al.* 2015b). Aunque los arrecifes coralinos se desarrollan en zonas costeras con aguas claras y lejos de la influencia fluvial, el SAV constituye un caso excepcional, ya que se encuentra en un área costera de sedimentación terrígena, donde la turbidez suele ser alta por la presencia de sólidos en suspensión derivados de la descarga fluvial del río Jamapa (Horta-Puga 2007; Salas-Pérez y Granados-Barba 2008; Horta-Puga *et al.* 2015). Asimismo, debido a su cercanía al puerto de Veracruz, el grado de perturbación en el área se considera muy alto. Pese a ello, Horta-Puga *et al.* (2017), indican que ecológica y genéticamente, el SAV es un punto estratégico en la dispersión de especies bentónicas arrecifales (entre ellos los corales escleractinios), favoreciendo una conexión de poblaciones en el GM.



Figura 3. Representación del conjunto de arrecifes que componen el Sistema Arrecifal Veracruzano. En color rojo el arrecife Blanca (modificado de Horta-Puga *et al.* 2013).

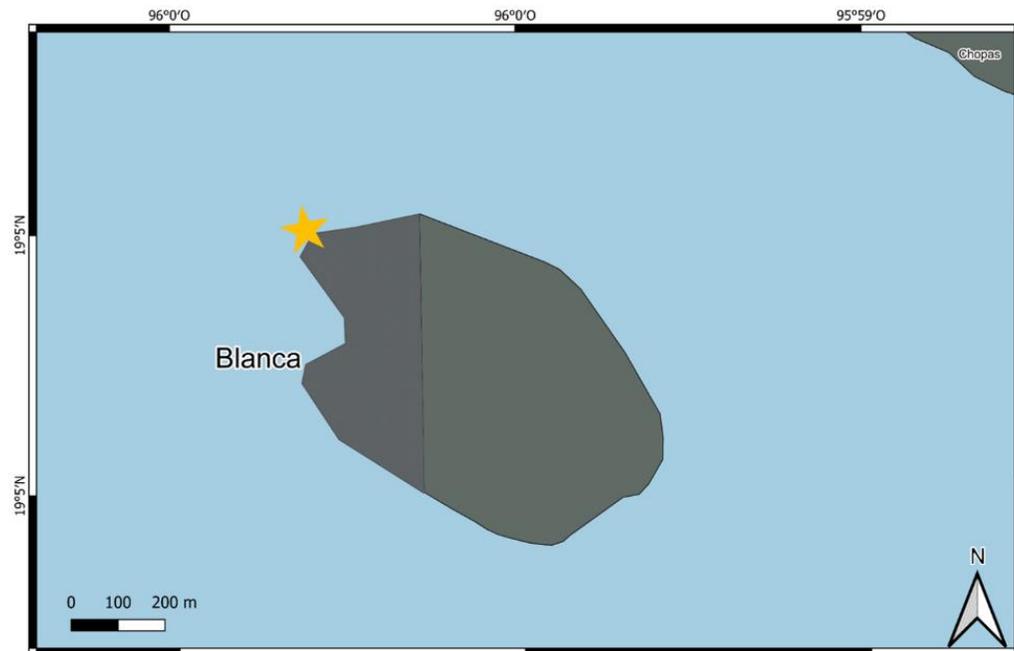


Figura 4. Imagen del arrecife Blanca que muestra la ubicación donde se llevó a cabo el muestreo ecológico (QGIS ®).

Estrategia metodológica

Los datos que continuación se muestran, son parte del proyecto de investigación CONABIO GM005: Sistema Arrecifal Veracruzano: condición actual y programa permanente de monitoreo: segunda etapa (Horta-Puga *et al.* 2015-2017). Para desarrollar el presente trabajo, se seleccionó a la comunidad de corales hermatípicos del arrecife Blanca como indicador en la condición del ecosistema arrecifal, ya que, sin importar la abundancia de cada especie, una proporción alta de individuos que presenten parte de tejido muerto o algún tipo de enfermedad se consideran signos de un ambiente perturbado o impactado (Horta-Puga y Tello-Musi 2009; Horta-Puga *et al.* 2017).

Este arrecife fue elegido por los siguientes criterios: (1) no se tiene mucha información sobre la salud de la comunidad coralina; (2) el grado de perturbación, tomando en cuenta corales cercanos a la zona urbana (susceptibles a perturbaciones) y aquellos más alejados de la misma (poco o moderadamente perturbados); y, (3) la presencia de una fuente potencial de impacto, en este caso la influencia del río Jamapa, así como la actividad pesquera de la comunidad de Antón Lizardo, lo que se considera como un impacto antropogénico moderado/alto (Horta-Puga y Tello-Musi 2009; Horta-Puga *et al.* 2017). En la medida de las posibilidades (logísticas y climáticas), se llevó a cabo una estación de muestreo en base a la proporción de corales afectados por enfermedades y/o mortalidad parcial en la zona de Talud de barlovento (19°05'25.3" N, 96°00'11.7" O), entre los 9-12 m de profundidad (Figura 5), durante el periodo de 2010-2015 en la época de secas (marzo-abril) (Tabla 1), con el fin de observar un cambio en la condición arrecifal (Horta-Puga *et al.* 2017).

Es importante señalar que la ubicación precisa de cada estación de muestreo corresponde al sitio con el mejor estado de conservación (Horta-Puga *et al.* 2015-2017). Para ello se empleará el método de transecto en línea (Horta-Puga y Tello-Musi 2009; Horta-Puga *et al.* 2017), modificado para efectos de este trabajo en transecto en banda. Se decidió esta modificación para tener una mayor representatividad en el número de las colonias a evaluar en lo referente a las enfermedades y mortalidad parcial.

Sin embargo, el muestreo no fue diseñado para determinar lo que ocurre con cada especie, sino para la comunidad coralina en general y así conocer cuántos corales se encontraban enfermos, el tipo de enfermedad, cuántos presentaron mortalidad parcial y en qué proporción perdieron tejido. Además, para conocer qué especies fueron las más afectadas, únicamente se tomaron en cuenta las tres más abundantes, con las reservas que esto implica en cada caso. De esta forma, se montaron tantos transectos como fue requerido para incluir al menos 100 colonias coralinas vivas (número mínimo considerado representativo para estudios de comunidades coralinas) (Horta-Puga 2003; Horta-Puga *et al.* 2015-2017). A cada uno de estos transectos se realizó una captura en video para tener un registro permanente y de fácil procesamiento para el trabajo de gabinete. Finalmente, con los datos obtenidos, se pretendió identificar si las comunidades coralinas del arrecife seleccionado, se conservaron a lo largo del tiempo, o presentaron cambios importantes (variabilidad interanual) respecto a la presencia/ausencia de signos de enfermedad o mortalidad parcial en las colonias coralinas, cotejando al final los resultados de este estudio con otros arrecifes del Atlántico Tropical (Horta-Puga y Tello-Musi 2009).

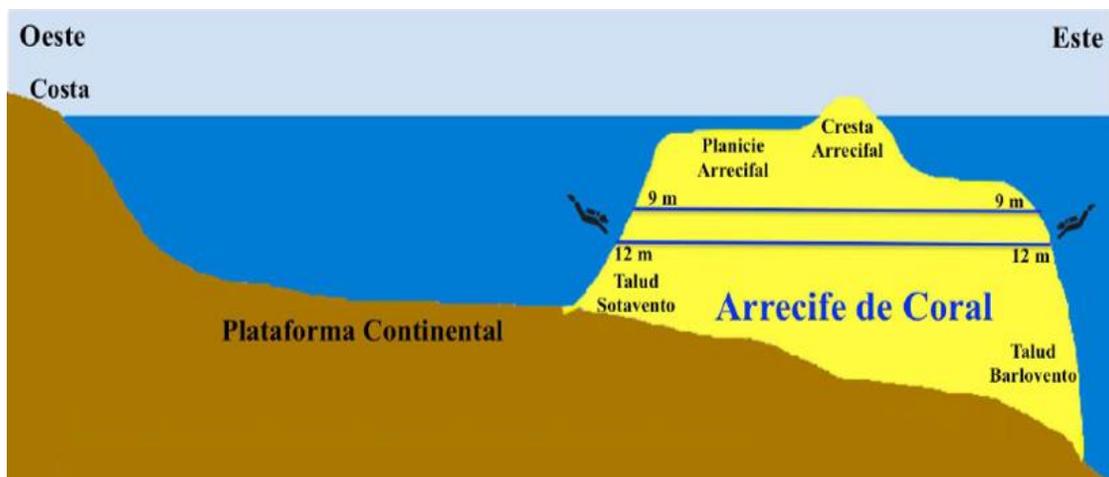


Figura 5. Representación de la profundidad a la cual se ubicó la estación de muestreo ecológico en el arrecife Blanca de tipo plataforma (tomado de Horta-Puga *et al.* 2017).

Tabla 1

Campañas de monitoreo ecológico en el arrecife Blanca, SAV durante la temporada de secas

CAMPAÑA	FECHA	TRANSECTOS
C-02	Abril/2010	12
C-07	Marzo/2013	16
C-09	Marzo/2014	8
C-11	Marzo/2015	8

Una vez localizada la zona de trabajo previamente marcada en el mapa que se obtuvo con ayuda de Google Earth, se montaron los transectos de 10 m de longitud empleando una cinta métrica de 10-20 m (anclada con dos plomos medianos a cada lado) en posición paralela a la línea de la cresta y/o al contorno del talud arrecifal (Horta-Puga 2003; Horta-Puga *et al.* 2015-2017) (Figura 6).



Figura 6. Montaje de transectos en la estación de muestreo (tomado de Horta-Puga *et al.* 2017).

Cada transecto se videograbo (Figura 7) y se utilizó para determinar los siguientes datos de la comunidad coralina (considerando solo corales vivos): riqueza específica, abundancia relativa, individuos con mortalidad parcial o con algún tipo de enfermedad (Horta-Puga y Tello-Musi 2009; Horta-Puga *et al.* 2017). Para el montaje y grabación de los videos, se requirió un equipo de al menos 2 buzos que montaban transectos en la dirección acordada realizando anotaciones y mediciones *in situ* y otro más que capturaba con una cámara de video digital de buena resolución. Dicho proceso se llevó a cabo de la siguiente manera:

1. Se posicionó la cámara para efectuar una toma perpendicular al sustrato.
2. Una vez en esa posición se avanzó lentamente para la toma de imágenes claras, manteniendo la cámara vertical al fondo, teniendo cuidado de mantener la distancia al sustrato (aproximadamente un metro) y evitando movimientos bruscos o cambios de dirección.
3. Al llegar al final de la cinta de 10 m, se marcó el corte de la grabación del transecto en curso.
4. Una vez asegurada la grabación del video y terminadas las anotaciones *in situ*, se recogió la cinta métrica nadando de regreso al inicio del transecto.
5. Finalmente, desmontado el transecto, se ubicó la siguiente estación, dejando una distancia de separación entre un transecto y otro.

Sin embargo, algunas limitantes para desempeñar este trabajo fueron, por ejemplo, que:

- Los buzos que realizaban las inmersiones para colocar el transecto correctamente, sólo podían estar bajo el agua aproximadamente 60 min, tiempo que era suficiente para completar al menos 2 transectos.
- Para el monitoreo del arrecife se requería de al menos 18 transectos (aunque puede ser hasta de 49) por sitio de muestreo para así obtener la muestra representativa de la comunidad coralina (100 colonias), pero por motivos de seguridad, no se pueden realizar más de dos inmersiones diarias.
- Otra limitante fue la visibilidad en el arrecife, ya que resulta problemático para la identificación de los corales por el sedimento suspendido en la columna de agua, trayendo consecuencias al momento de sacar resultados, sobre todo en áreas donde las colonias son pequeñas y dispersas.

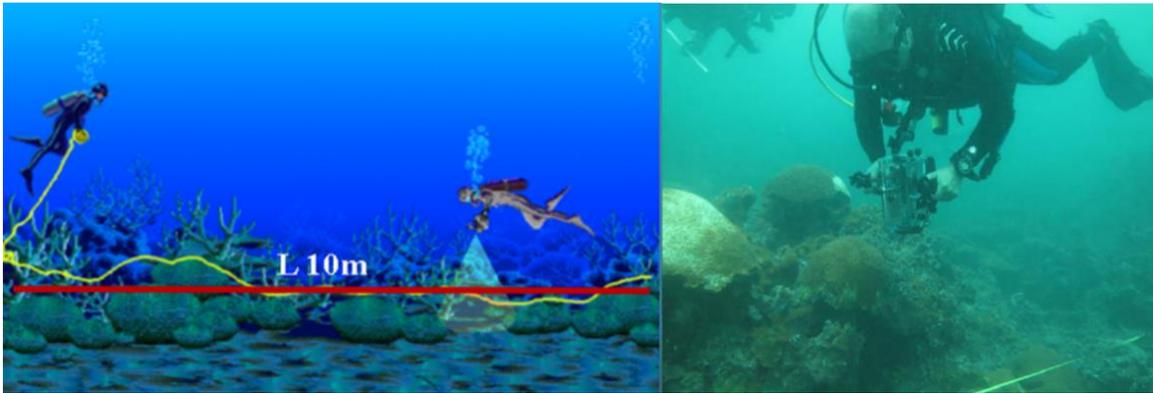


Figura 7. Grabación de cada transecto montado en el arrecife (imagen izquierda modificada de Garza-Pérez (2011); imagen derecha tomado de Horta-Puga *et al.* 2017).

Procesamiento de datos

El análisis de videotransectos se hizo con el programa Windows Media Player. Para esto, se reprodujo cada video y al momento de observar colonias coralinas vivas completas, se pausó la imagen, se tomó una captura de pantalla y se guardó en formato JPG. Este proceso se repitió hasta completar los 10 m del transecto videograbado. Posteriormente, para cada una de las capturas de pantalla, se analizaron los siguientes datos: (1) se determinó, en la medida de lo posible, la especie de cada colonia mediante la comparación de imágenes en guías de identificación (Collin *et al.* 2005; Bruckner 2010; Bright *et al.* 2013); (2) se observó si se encontraba, sana, enferma y el tipo de enfermedad que presentó, mismas que fueron identificadas con ayuda de una guía fotográfica (Bruckner 2009) comparando las imágenes que se obtuvieron y elaborándose después un catálogo personal tanto de especies coralinas, como de enfermedades que se observaron en el arrecife Blanca (anexo 1 y 2); y, (3) se registró si la colonia presentaba una porción de tejido muerto (mortalidad parcial) mediante una estimación visual de las colonias en cada video, así como la proporción de tejido perdido (%)

del área total de la colonia. Al final, con esta información se construyó una base de datos por campaña en Excel, para identificar la posible existencia de un patrón de variación en la prevalencia de enfermedades, la presencia de colonias con mortalidad parcial, y si estos resultados estaban asociados a la descarga del río Jamapa (medio que transporta contaminantes y/o patógenos en el SAV).

Para el caso de mortalidad parcial, se utilizó el software de procesamiento de imágenes ImageJ para Windows (Rasband 2012), con el fin de conocer la proporción de tejido perdido en aquellas colonias que presentaron mortalidad parcial, utilizándose de la siguiente manera: 1) se calibró la imagen con la medida observada en la cinta métrica de cada videotransecto atendiendo si se trata de pulgadas o centímetros, en caso de encontrarse en pulgadas se hizo la conversión a centímetros en cada imagen capturada del video; 2) se calculó el área total de la colonia coralina, así como el área afectada (perdida de tejido) dibujando el contorno del coral y el área afectada (Figura 8); y, 3) con esos datos se obtuvo una proporcionalidad (regla de tres) del tejido que perdió el coral. Este procedimiento se repitió con cada colonia que presentó mortalidad parcial en las diferentes campañas de muestreo. Al final, se juntaron todos los datos de cada videotransecto para cada una de las campañas en una tabla general y de esta manera se calcularon los porcentajes de las especies que fueron las más afectadas por este fenómeno (MP), para ello se dividió cada porcentaje entre el número de repeticiones (transectos) que se llevaron a cabo en cada campaña.

Los resultados se expresaron en porcentaje de tejido perdido y porcentaje de colonias coralinas con mortalidad parcial en general y por especie mediante gráficos de barras para una mejor visualización.

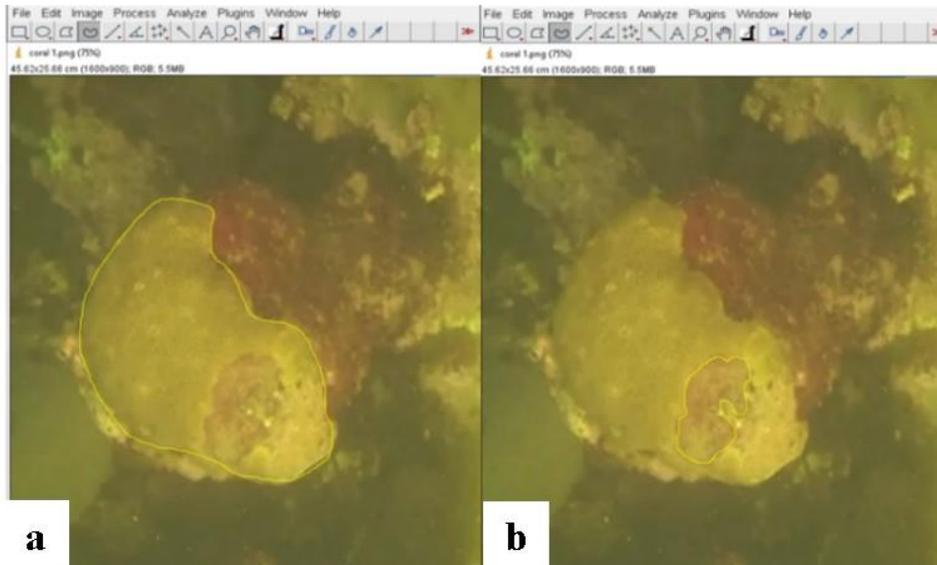


Figura 8. Forma en la que se obtuvo el porcentaje (%) de tejido perdido en las colonias coralinas con el programa ImageJ. (A) representa la manera en la que se calculó el área total (cm²), mientras que (B) muestra el área (cm²) que presentó pérdida de tejido.

Para realizar la identificación de enfermedades coralinas, las fotos que se recabaron anteriormente, se trabajaron en edición con ayuda de herramientas en la galería de fotografías de Windows, con la finalidad de contrastar y observar mejor la gama de colores que se lleguen a perder por efectos de la profundidad (Figura 9). Los resultados se expresaron en porcentaje de colonias coralinas enfermas de manera general y por especie, así como el porcentaje de enfermedades que se apreciaron para cada campaña respectivamente. Ambos fueron representados visualmente mediante gráficos de barras.

Adicionalmente, se realizó una tabla donde se registraron las especies observadas en este arrecife en cada una de las campañas y la abundancia relativa (%) de cada una de ellas.

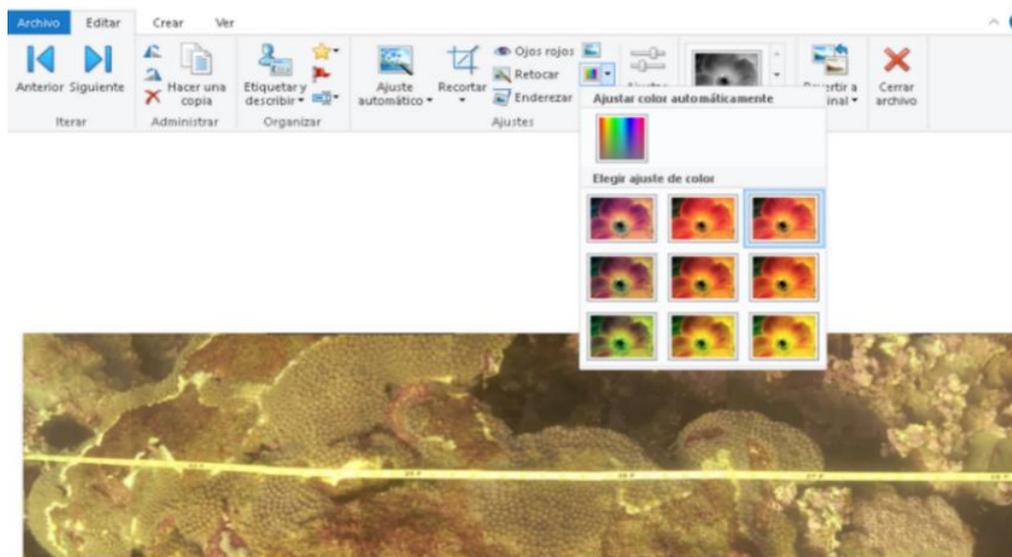


Figura 9. Ejemplo de la manera en la que se realizó la edición de imágenes con las herramientas de la galería fotográfica de Windows, donde se observó el contraste de colores no apreciables con la profundidad.

Análisis de datos

A partir de los datos de campo, se determinaron los siguientes parámetros de la comunidad (promedios) (Tabla 2), para cada una de las campañas de muestreo en el arrecife.

Tabla 2

Parámetros considerados para conocer la condición de la comunidad coralina en el arrecife Blanca, SAV

PARÁMETRO	DEFINICIÓN
Abundancia relativa	Proporción de la población para cada especie.
Mortalidad parcial	Porcentaje de individuos de la comunidad que presenta una porción de tejido muerta.
Enfermedad total	Porcentaje de individuos de la comunidad que presenta alguna enfermedad.

RESULTADOS

Abundancia relativa

En el muestreo ecológico llevado a cabo entre el periodo de 2010-2015, en la época de secas (marzo-abril) se realizaron un total de 44 videotransectos y se contabilizó un total de 700 colonias correspondientes a 17 especies registradas al menos en alguna de las diferentes campañas montadas en la zona de barlovento del arrecife Blanca (Tabla 3).

Tabla 3

Especies de coral hermatípicos presentes durante la campaña de muestreo ecológico en el arrecife Blanca, SAV

ESPECIE	CAMPAÑAS			
	C-02	C-07	C-09	C-11
<i>Agaricia fragilis</i>	1	1	1	1
<i>Agaricia lamarcki</i>	1	1	1	
<i>Colpophyllia natans</i>	1	1	1	1
<i>Madracis decactis</i>	1	1	1	
<i>Manicina areolata</i>	1	1	1	1
<i>Millepora alcicornis</i>				1
<i>Montastraea cavernosa</i>	1	1	1	1
<i>Mussa angulosa</i>	1		1	1
<i>Mycetophyllia danaana</i>			1	1
<i>Oculina difusa</i>		1		1
<i>Orbicella annularis</i>	1			
<i>Orbicella faveolata</i>	1	1	1	1
<i>Porites astreoides</i>	1	1	1	1
<i>Porites colonensis</i>	1	1	1	1
<i>Pseudodiploria strigosa</i>	1	1		
<i>Siderastrea siderea</i>	1	1	1	1
<i>Stephanocoenia intercepta</i>	1		1	
No. especies encontradas	14	12	13	12

1= presente

Especies observadas en general = 17 especies coralinas

Por otro lado, para determinar la proporción del total de individuos de cada especie, se hicieron tantos transectos como fue necesario para registrar al menos 100 colonias coralinas vivas. Para el arrecife Blanca, se observa que cada campaña contó con un número distinto de colonias observadas para calcular, en cada caso, la abundancia relativa de las especies por campaña (%) y obtener así el promedio total general (%) en el arrecife (Tabla 4).

Tabla 4
Abundancia, abundancia relativa por campaña (%) y promedio total general (%) de las especies observadas en el arrecife Blanca, SAV

ESPECIE	CAMPAÑAS								PT
	C-02		C-07		C-09		C-11		
	AB	AR(%)	AB	AR(%)	AB	AR(%)	AB	AR(%)	
<i>Agaricia fragilis</i>	1	0.7	1	0.5	6	3.4	1	0.6	1.3 ± 1.4
<i>Agaricia lamarcki</i>	1	0.7	5	2.3	4	2.3			1.8 ± 0.9
<i>Colpophyllia natans</i>	24	16.1	35	15.8	31	17.8	25	16.0	16.4 ± 0.9
<i>Madracis decactis</i>	4	2.7	3	1.4	2	1.1			1.7 ± 0.9
<i>Manicina areolata</i>	5	3.4	9	4.1	10	5.7	8	5.1	4.6 ± 1.0
<i>Millepora alcicornis</i>							2	1.3	1.3
<i>Montastraea cavernosa</i>	16	10.7	32	14.5	18	10.3	13	8.3	11.0 ± 2.6
<i>Mussa angulosa</i>	1	0.7			1	0.6	1	0.6	0.6 ± 0.1
<i>Mycetophyllia danaana</i>					1	0.6	1	0.6	0.6 ± 0.0
<i>Oculina difusa</i>			4	1.8			1	0.6	1.2 ± 0.8
<i>Orbicella annularis</i>	1	0.7							0.7
<i>Orbicella faveolata</i>	6	4	14	6.3	5	2.9	4	2.6	4.0 ± 1.7
<i>Porites astreoides</i>	40	26.8	29	13.1	19	10.9	29	18.6	17.4 ± 7.1
<i>Porites colonensis</i>	12	8.1	6	2.7	12	6.9	5	3.2	5.2 ± 2.7
<i>Pseudodiploria strigosa</i>	1	0.7	1	0.5					0.6 ± 0.1
<i>Siderastrea siderea</i>	36	24.2	82	37.1	63	36.2	66	42.3	35.0 ± 7.7
<i>Stephanocoenia intersepta</i>	1	0.7			2	1.1			0.9 ± 0.3
No. de colonias totales	149		221		174		156		6.1 ± 9.2

AB= Abundancia; AR= Abundancia relativa; PT= Promedio total.

En términos generales, las especies más abundantes y por lo tanto la más dominantes dentro del arrecife Blanca durante este trabajo corresponden a *Siderastrea siderea* (35.0 %), *Porites astreoides* (17.4 %) y *Colpophyllia natans* (16.4 %). En tanto que las menos abundantes presentando un 0.6 % cada una de ellas fueron, *Mussa angulosa*, *Mycetophyllia danaana* y *Pseudodiploria strigosa* englobadas en el rubro de “otros” (Figura 10). Con esto observamos que *Siderastrea siderea* claramente es la especie dominante en las campañas realizadas en marzo, en tanto que, la campaña de abril tuvo el registro de su especie más abundante que corresponde a *Porites astreoides* (26.8 %).

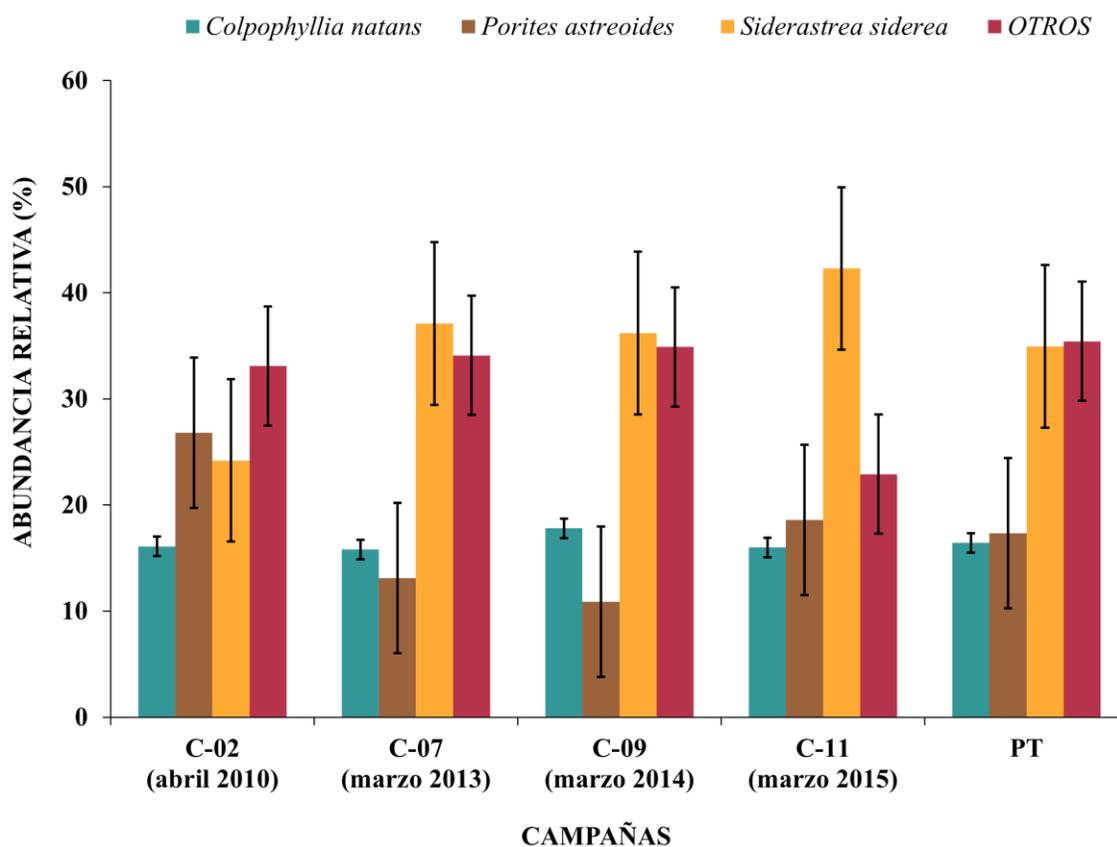


Figura 10. Abundancia relativa (%) por campaña y promedio total general (PT) (%) de las especies coralinas registradas en el arrecife Blanca, SAV.

Enfermedades coralinas

A lo largo del muestreo ecológico en el arrecife Blanca, se registraron 137 colonias que presentaron alguna enfermedad observándose en 6 de las 17 especies de corales hermatípicos, en algunos casos mostrando más de una enfermedad durante el análisis del material. Es así, que la proporción promedio total general (prevalencia) de colonias enfermas para el arrecife Blanca durante la campaña de monitoreo fue del 19.2 %, donde la prevalencia más alta se registró durante marzo de 2013 con una proporción del 22.6 %, seguido de un decremento para marzo de 2014 con el 19.5 % y marzo de 2015 con un 19.2 % de colonias coralinas enfermas. Mientras que las prevalencias más bajas corresponden a la campaña en abril de 2010, con una proporción de corales enfermos del 15.4 % (Tabla 5).

Tabla 5

Prevalencia por campaña y especie (%) y promedio total general (%) de colonias coralinas que presentaron alguna enfermedad durante el muestreo ecológico en el arrecife Blanca, SAV

ESPECIE	CAMPAÑAS				
	C-02	C-07	C-09	C-11	PT
<i>Colpophyllia natans</i>	13	6	11.8		10.3 ± 3.7
<i>Montastraea cavernosa</i>	13	2		3.3	6.1 ± 6.0
<i>Orbicella faveolata</i>		4			4
<i>Porites astreoides</i>	4.3		2.9	3.3	3.5 ± 0.7
<i>Siderastrea siderea</i>	65.2	90	85.3	93.3	83.5 ± 12.6
<i>Stephanocoenia intersepta</i>	4.3				4.3
No. colonias enfermas*	23	50	34	30	
No. colonias totales*	149	221	174	156	
PP campaña (%)	15.4	22.6	19.5	19.2	19.2 ± 2.9

PP= Prevalencia promedio; PT= Promedio total.

* = datos informativos, no forman parte del cálculo.

En tanto que, de las 6 especies observadas, la que más individuos presentó con alguna enfermedad y resultó con el valor porcentual más alto en todas las campañas, corresponde a *Siderastrea siderea* con un 83.5 %. Una segunda especie que presentó una proporción promedio mayor de corales con alguna enfermedad registrada fue *Colpophyllia natans* con un 10.3 %. Por otro lado, aquellas especies que presentaron una proporción menor de individuos afectados durante el muestreo y se englobaron en la categoría de “otros” para este trabajo son: *Montastraea cavernosa* (6.10 %), *Stephanocoenia intercepta* (4.3 %) y *Orbicella faveolata* (4.0 %) (Figura 11).

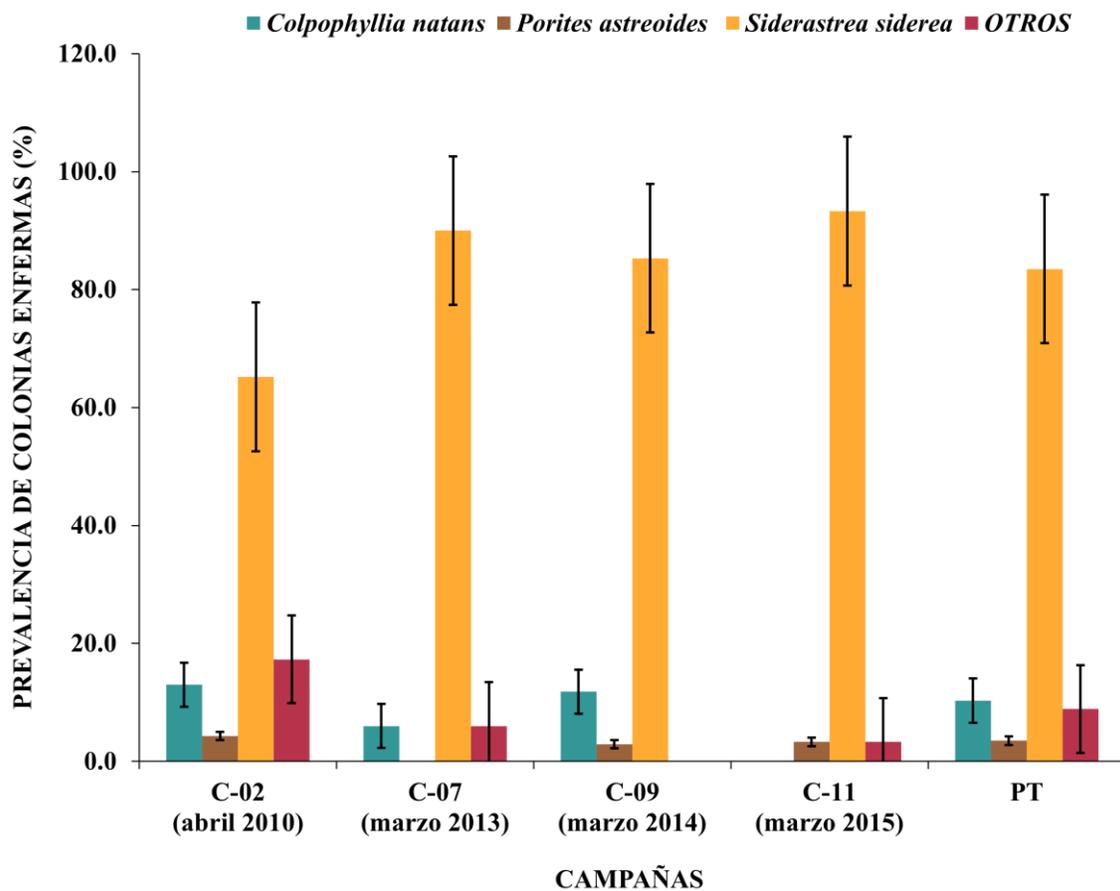


Figura 11. Prevalencia de colonias coralinas enfermas (%) y promedio total general (PT) (%) de las especies afectadas por alguna enfermedad coralina en el muestreo ecológico del arrecife Blanca, SAV.

En el arrecife Blanca se observaron 5 diferentes enfermedades que se mencionan a continuación con base a su prevalencia dentro del arrecife: Lunares Blancos (62.2 %) enfermedad que obtuvo el porcentaje más alto en todas las campañas durante el monitoreo del arrecife; Plaga Blanca (17.1%); Banda Amarilla (16.8 %); Predación (lesiones por mordedura de pez) (9.4 %); Mancha Negra (4.3 %). Asimismo, en la campaña de abril en 2010 se presentaron más enfermedades coralinas a diferencia de los años siguientes durante el mes de marzo.

Cabe mencionar que, para marzo de 2015, se registraron únicamente 2 de los 5 signos totales correspondientes a Banda Amarilla y Lunares Blancos, en tanto que el signo de Mancha Negra se observó únicamente durante la campaña de abril en 2010 (Tabla 6 y Figura 12).

Tabla 6
Enfermedades registradas por campaña (%) y promedio total general (%) para el arrecife Blanca durante el muestreo ecológico

ENFERMEDAD	CAMPAÑAS				
	C-02	C-07	C-09	C-11	PT
Banda Amarilla	21.7	14	14.7	16.7	16.8 ± 3.5
Lunares Blancos	34.8	72	58.8	83.3	62.2 ± 20.8
Mancha Negra	4.3				4.3
Plaga Blanca	21.7	12	17.6		17.1 ± 4.9
Predación	17.4	2	8.8		9.4 ± 7.7

PT= Promedio total.

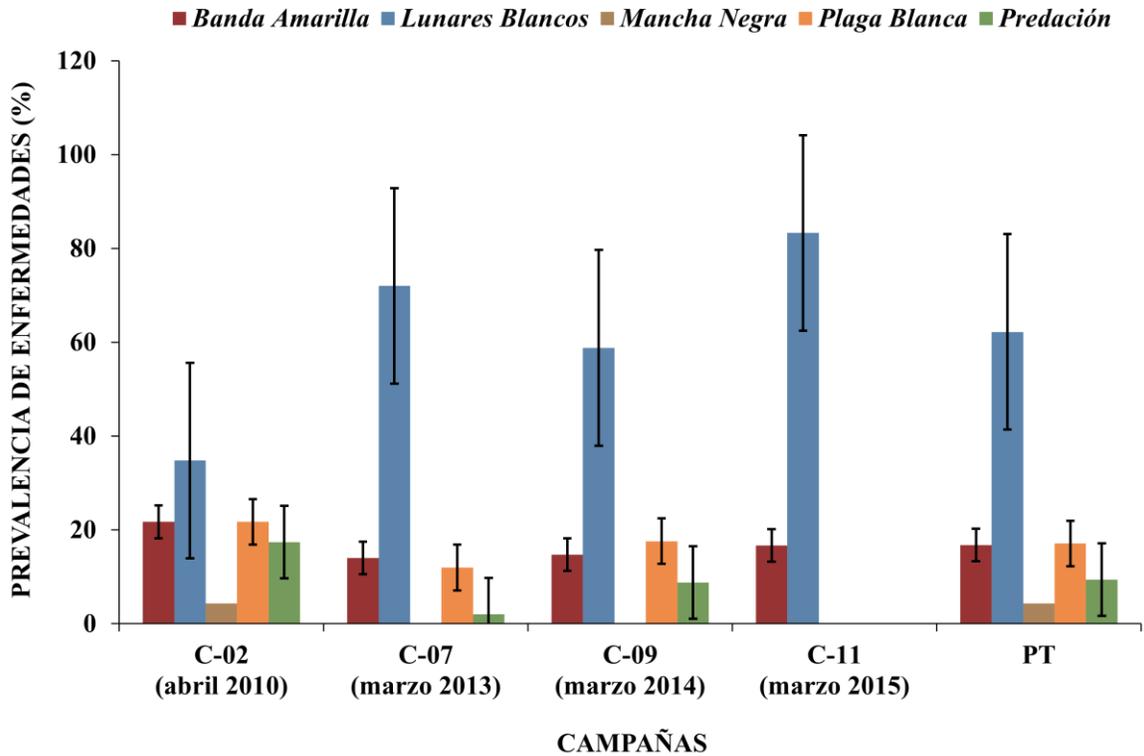


Figura 12. Prevalencia (%) y promedio total general (PT) (%) de enfermedades que se registraron durante el muestreo ecológico del arrecife Blanca, SAV.

En cuanto a las especies que resultaron mayormente afectadas a causa de estas enfermedades fueron: *Siderastrea siderea* quien presentó la mayoría de enfermedades registradas para el arrecife durante dicho muestreo ecológico, siendo Lunares Blancos la que más impacto tuvo, pues afectó a 87 de las colonias de dicha especie, es decir el 97.7 %, seguido de Banda Amarilla que afectó a 17 de las colonias de *Siderastrea siderea* (77.2 %). Ahora bien, pese a que la enfermedad de Mancha negra tenga registro del 100 % para *Siderastrea siderea*, únicamente fue observada en una sola colonia de esa especie, por lo que no se tomó en cuenta como el mayor porcentaje.

La segunda especie que presentó más de una enfermedad observable fue *Colpophyllia natans* registrándose 2 de las 5 enfermedades enlistadas para el arrecife Blanca, siendo la enfermedad de Plaga Blanca aquella que prevaleció más en las colonias de esa especie afectando 10 colonias coralinas (58.8 %) (Figura 13).

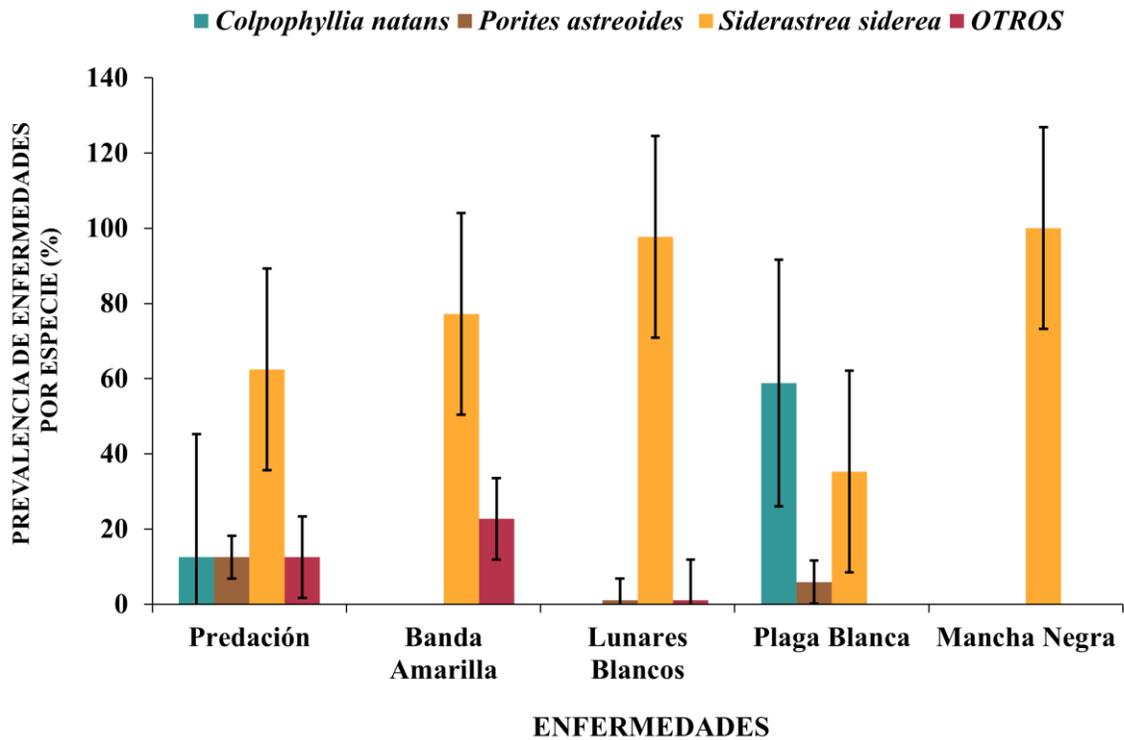


Figura 13. Incidencia de enfermedades coralinas (%) que afectaron a las especies de coral registradas para el arrecife Blanca, SAV.

Mortalidad parcial y tejido perdido

Con respecto a la mortalidad parcial, de las 700 colonias totales, 132 presentaron mortalidad parcial (MP), es decir, un promedio de 18.6 % que afectó solo a 10 de las 17 especies enlistadas, mientras que el porcentaje promedio de tejido perdido para el arrecife en este trabajo fue del 19.5 %. En general, se observó que aquellas especies que presentaron mayor proporción de tejido perdido fueron *Siderastrea siderea* (55.5 %) y *Colpophyllia natans* (21.7 %). En tanto que, las especies con menor pérdida de tejido en general corresponde a *Orbicella annularis*, *Madracis decatis* y *Stephanocoenia intersepta*, cada una de ellas con el 2.9 % (Tabla 7).

Tabla 7

Proporción de tejido perdido (%) y proporción de colonias coralinas con mortalidad parcial (MP) (%) por estación de muestreo y especie en el arrecife Blanca, SAV

ESPECIE	CAMPAÑAS				PT tejido perdido
	C-02	C-07	C-09	C-11	
<i>Colpophyllia natans</i>	20.6	14.6	45	6.7	21.7 ± 16.5
<i>Madracis decactis</i>	2.9				2.9
<i>Manicina areolata</i>				3.3	3.3
<i>Montastrea cavernosa</i>	14.7	12.5	10	13.3	12.6 ± 2.0
<i>Mussa angulosa</i>		6.3			6.3
<i>Orbicella annularis</i>	2.9				2.9
<i>Orbicella faveolata</i>	2.9	30.7	10	3.3	11.7 ± 13.1
<i>Porites astreoides</i>	5.9				5.9
<i>Siderastrea siderea</i>	47.1	66.7	35	73.3	55.5 ± 17.6
<i>Stephanocoenia intersepta</i>	2.9				2.9
No. colonias con mortalidad parcial (MP)*	33	48	20	30	
PP colonias con mortalidad parcial (MP) (%)	22.1	21.7	11.5	19.2	18.6 ± 4.9
PP tejido perdido campaña (%)	25.1	8.8	27.7	16.5	19.5 ± 8.6

PP =Prevalencia promedio; PT= Promedio total.

* = datos informativos, no forman parte del cálculo.

Avanzando un poco más, vemos que el porcentaje más alto de MP fue en abril de 2010, afectando al 22.1% de las colonias coralinas, posteriormente se ve una disminución durante marzo de 2013 con un 21.7 % y marzo de 2014 con el 11.5 %, para después presentar un ligero incremento durante la campaña de marzo en 2015 con una cifra del 19.2 % de colonias con MP.

Por su parte, las colonias coralinas presentaron una mayor pérdida de tejido durante marzo de 2014 registrándose un 27.7% y en abril de 2010 con el 25.1 %, en tanto que la menor proporción de pérdida de tejido se registró para marzo de 2013 con tan sólo el 8.8 % entre las colonias del arrecife Blanca durante el monitoreo (Figura 14).

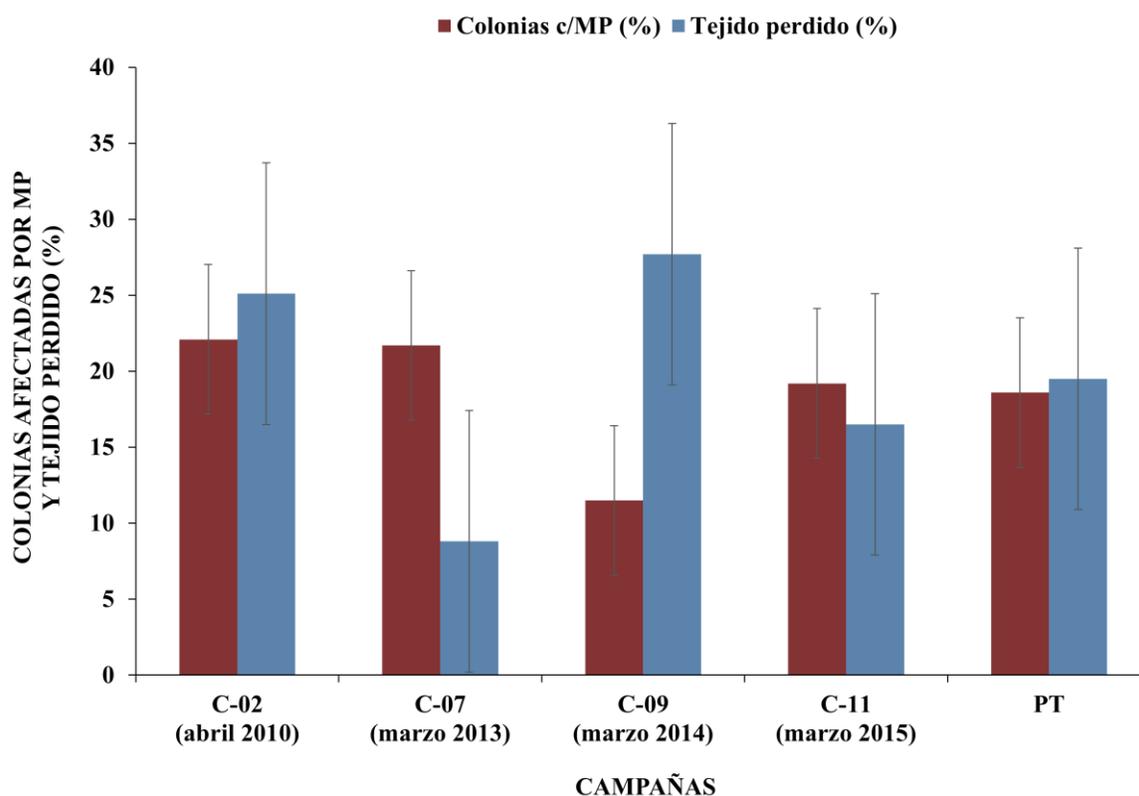


Figura 14. Proporción promedio por campaña (%) y promedio total general (PT) de tejido perdido (%) en colonias coralinas que presentaron mortalidad parcial (MP) durante el monitoreo en el arrecife Blanca, SAV.

DISCUSIÓN

Abundancia relativa

Los arrecifes de tipo plataforma poseen zonas bien desarrolladas, Talud de barlovento o Arrecife frontal, Cresta arrecifal o Zona de bloques, Planicie arrecifal (también denominada Plataforma o Laguna Arrecifal) y el Talud de sotavento o Arrecife posterior por lo que las condiciones en cada una de estas zonas serán bastante diferentes. Por ejemplo, el Talud de barlovento se encuentra orientada al Este, pero en el caso del arrecife Blanca se encuentra en dirección Norte y corresponde por tanto a la zona con mayor pendiente, mayor turbulencia y aguas más claras (Horta-Puga *et al.* 2015).

Para efectos de este estudio, se obtuvo que, en la zona de barlovento del arrecife Blanca las especies más abundantes son *Siderastrea siderea* (35.0%), *Porites astreoides* (17.4 %) y *Colpophyllia natans* (16.4 %). Estas especies fueron reportadas como dominantes, aunque en diferente orden, dentro de otros trabajos realizados en los arrecifes del litoral veracruzano y el centro-sur de Quintana Roo (Kramer 2003; Ruiz-Zarate *et al.* 2003; Rangel-Ávalos *et al.* 2008; Jones *et al.* 2008; Pérez-España *et al.* 2012; Horta-Puga *et al.* 2015) (Tabla 8). De la misma forma, coincide con lo dicho por Arenas-Fuentes y Vargas-Hernández (2004), que los principales componentes coralinos sobre la pendiente del Talud de barlovento son: *Colpophyllia natans*, *Pseudodiploria strigosa*, *Montastraea cavernosa* y *Siderastrea siderea*, acompañadas por formas tubulares y globulares de esponjas, así como tapete algal. Al respecto Horta-Puga *et al.* (2017), mencionan que generalmente, las especies más abundantes son eurioicas, es decir, especies con la capacidad para resistir condiciones adversas en los límites de tolerancia ambientales.

Tabla 8

Comparación de abundancias relativas (%) para las especies dominantes obtenidas en este estudio con las reportadas en otros trabajos realizados en el litoral de Veracruz y centro sur de Quintana Roo

Autor y año	Especie	Abundancia relativa (%)
Kramer (2003) *	<i>Siderastrea siderea</i>	7.0
	<i>Porites astreoides</i>	6.0
	<i>Colpophyllia natans</i>	4.0
Ruiz-Zarate <i>et al.</i> (2003)	<i>Siderastrea siderea</i>	7.6
	<i>Porites astreoides</i>	6.1
	<i>Colpophyllia natans</i>	4.8
Rangel-Ávalos <i>et al.</i> (2008)	<i>Colpophyllia natans</i>	20
	<i>Siderastrea siderea</i>	8.7
	<i>Porites astreoides</i>	6.9
Jones <i>et al.</i> (2008)	<i>Colpophyllia natans</i>	0.9
	<i>Siderastrea siderea</i>	0.2
Pérez-España <i>et al.</i> (2012)	<i>Colpophyllia natans</i>	3.7
Horta-Puga <i>et al.</i> (2015)	<i>Colpophyllia natans</i>	13
	<i>Siderastrea siderea</i>	10.2
Éste estudio	<i>Colpophyllia natans</i>	16.4
	<i>Siderastrea siderea</i>	35
	<i>Porites astreoides</i>	17.4

* Síntesis del resultado del programa AGRRA en 8 sitios del Atlántico Occidental

Cabe mencionar que algunos autores sugieren que las especies meandroides (por ejemplo: *Colpophyllia natans*) y otras, como *Montastraea cavernosa*, *Siderastrea siderea* y *Porites astreoides*, son consideradas exitosas en ambientes subóptimos con alta turbiedad, sedimentación y poca luminosidad (Tunnell 1988; Jordán-Dahlgren y Rodríguez-Martínez 2013; Horta-Puga *et al.* 2007; Jones *et al.* 2008). Esto es de relevancia, ya que a lo largo del SAV existen varios sistemas fluviales que aportan sedimentos a la columna de agua y es posible que las especies presentes en la zona, hayan logrado desarrollarse de manera óptima gracias a sus propiedades de tolerancia a la sedimentación, como las especies dominantes del arrecife Lobos, tales como: *Colpophyllia natans*, *Montastraea cavernosa*, *Siderastrea siderea* y *Pseudodiploria strigosa* (Loya 1976; Lasker 1980; Rogers 1990; Torres y Morelock 2002) lo cual hace que ahora sean exitosas en esos ambientes.

Además, su abundancia se explica debido a que los constructores primarios de los sistemas arrecifales corresponden a especies de los géneros *Montastraea*, *Colpophyllia*, *Siderastrea*, *Orbicella*, *Pseudodiploria*, colonias masivas que pueden alcanzar grandes tamaños y contribuyen a la cobertura y formación del arrecife (Horta-Puga 2003; Rangel-Ávalos *et al.* 2008; Jones *et al.* 2008; Glynn y Manzello 2015; Horta-Puga *et al.* 2015), por lo que no es de extrañarse encontrar a dichas especies durante el trabajo en campo.

Enfermedades coralinas

Los arrecifes de coral que se encuentren en zonas aledañas a sitios costeros urbanos (como el arrecife Blanca), se ven expuestos a todos los vertidos de nutrientes, sedimentos y algunos agentes patógenos que pueden llegar a provocar una alteración en la supervivencia de las comunidades coralinas y de toda la biota del arrecife en general, poniendo en riesgo el equilibrio ecológico de dicho ecosistema (Dikou 2010; Gutiérrez-Ruiz *et al.* 2011; Pérez-España *et al.* 2015a).

Durante este estudio, se observó un incremento de colonias enfermas en abril de 2010 con un 15.4 % pasando a un 22.6 % en la campaña de marzo en 2013. Este aumento, puede deberse a que el SAV se encuentra expuesto a las descargas del río Jamapa, río Papaloapan y río La Antigua, los cuales son ricos en nutrientes y sedimentos que pueden incidir adversamente en los arrecifes de coral, ya que también repercute el flujo de descarga de agua residual que reciben estos sistemas, llevando consigo un aporte significativo de virus, bacterias u hongos que llegan a enfermar a los corales situados en dicha zona (Salas-Pérez y Granados-Barba 2008; Rosales-Hoz *et al.* 2009). Tal es el caso, de un área en Cartagena y el Parque Nacional Natural Corales del Rosario (PNNCR), donde las formaciones arrecifales se encuentran en avanzado estado de deterioro, posiblemente a la apertura del Canal del Dique y a eventos como enfermedades y blanqueamiento (Alvarado *et al.* 1986; Díaz *et al.* 2000). Otra causa del aumento de colonias enfermas entre campañas podría atribuirse a la temporalidad del muestreo en el arrecife Blanca, pues tomando en cuenta lo que comentan Salas-Monreal *et al.* (2015) acerca de la información sobre los movimientos que tiene el agua dentro del SAV, ésta podría proporcionar datos útiles, entre ellos, la identificación de una posible procedencia de contaminantes que podrían estar afectando a los arrecifes.

Agregando a lo anterior, se sabe que en el SAV la variación intermensual obtenida a lo largo de varios años, ha dado como resultado una marcada variación con 3 periodos: secas (marzo-abril), lluvias (agosto-octubre) y nortes (noviembre-marzo), por lo que la época en la que se realizó el muestreo ecológico en el arrecife Blanca (secas/marzo-abril), propicia que pueda existir una proliferación de bacterias en el ambiente, esto porque el mes de marzo posee características tanto de la época de secas como de nortes al considerarse un mes de transición, por lo que se puede generar un gradiente de temperatura, ya que la variación de la temperatura superficial del mar (TMS) aumenta de 25.8° a 30.4°C de marzo a septiembre, cualidades que algún patógeno oportunista podría aprovechar para desenvolverse mejor y provocar un desequilibrio en el arrecife o en el SAV en general (Velasco y Winant 1996; Salas-Monreal *et al.* 2015).

Bajo este escenario, los impactos de enfermedades y otros síndromes deberían disminuir a medida que aumenta la distancia de las áreas afectadas por humanos, así como el flujo del agua en el arrecife, lo que lleva a una mayor diversidad de las especies de coral. De este modo, el SAV presenta una diversidad de corales hermatípicos más baja probablemente por la alta carga de sedimentos en suspensión, por lo que existen diferencias importantes en la comunidad de corales hermatípicos con la mayoría de los arrecifes del Caribe o con otros arrecifes del Atlántico (Horta-Puga *et al.* 2015) (Tabla 9).

Tabla 9

Comparación del estado de salud en arrecifes del Atlántico con las obtenidas en éste estudio, tomando en cuenta la prevalencia general de colonias enfermas (%)

Zona de estudio	Autor y año	PG de colonias enfermas (%)
Banco Campeche	Jordán-Dahlgren y Rodríguez-Martínez (2003)	3.0
Atlántico Occidental*	Kramer (2003)	6.0
Península de Yucatán	Ward <i>et al.</i> (2006)	5.7
SAV	Rangel-Ávalos <i>et al.</i> (2008)	4.1
Golfo de Batabanó, Cuba	Alcolado <i>et al.</i> (2010)	1.4
SAV	Carricart-Ganivet <i>et al.</i> (2011)	4.8
SAV	Horta-Puga <i>et al.</i> (2015)	4.2
SALT	Jordán-Garza <i>et al.</i> (2019)	26.0
Blanca	Éste estudio	19.2

PG = Prevalencia general; SAV = Sistema arrecifal veracruzano; SALT= Sistema arrecifal Lobos-Tuxpan; *Síntesis del resultado del programa AGRRA en 8 sitios

Acorde con lo anterior, en este estudio se tuvo una proporción promedio total general de colonias enfermas del 19.2 % para el arrecife Blanca, en el cual, las especies más afectadas son *Siderastrea siderea* (83.5 %), *Colpophyllia natans* (10.3 %) y *Montastraea cavernosa* (6.1 %), mientras que *Stephanocoenia intercepta* (4.3 %), *Orbicella faveolata* (4.0%) y *Porites astreoides* (3.5 %) fueron aquellas especies que menor prevalencia en enfermedades presentaron. En estudios como el de Pérez-España *et al.* (2015) se menciona que el arrecife Blanca obtuvo el mayor número de especies afectadas (17 spp.) donde, al igual que en este manuscrito, *Siderastrea siderea* y *Colpophyllia natans* reportaron el mayor número de colonias enfermas respectivamente. El hecho de que se tenga un registro de estas especies, es, por ejemplo, que las especies *Porites astreoides*, *Orbicella faveolata* y *Montastraea cavernosa* se consideran especies focales, por su parte, *Porites astreoides* es contemplada como una especie focal-indicadora, pues muestra cómo los disturbios de un ecosistema

pueden estar impactando a otros organismos por la competencia del espacio (Pomeroy *et al.* 2004), lo cual genera el desplazamiento de especies masivas que son base de la comunidad arrecifal (Gardner *et al.* 2003), mientras que *Montastraea cavernosa* es considerada una especie focal-indicadora ya que tiene una alta resiliencia a los cambios de medio ambiente (Szmant 1986).

Por otro lado, en el arrecife Blanca se registró 5 diferentes tipos de enfermedad, los cuales fueron: Predación (lesiones por mordedura de pez) afectando al 9.4 % de las colonias, Banda Amarilla (16.8 %), Lunares Blancos (62.2 %), Plaga Blanca (17.1%) y Mancha Negra (4.3%), mismos que han sido reportados también en diversos trabajos que engloban arrecifes del SAV (Horta-Puga y Tello-Musi 2009; Pérez-España *et al.* 2012; Pérez-España *et al.* 2015b; Horta-Puga *et al.* 2015-2017; Jordán-Garza *et al.* 2019).

De las diferentes enfermedades reportados en este trabajo, *Siderastrea siderea* fue la especie que presentó la mayoría de ellas, donde la enfermedad de Lunares Blancos fue la que afectó en mayor medida las colonias de dicha especie. Esto concuerda con otros trabajos donde señalan que *Siderastrea siderea* se ve afectada por varias enfermedades, entre ellas: Puntos Blancos y Lunares Oscuros (Casas 2011; Bernal 2012). Asimismo, Mantilla-Galindo (2015) menciona la presencia de otras enfermedades como Banda Amarilla, Banda Blanca, Banda Negra, etc., en *Siderastrea siderea*.

La segunda especie con más de una enfermedad registrada fue *Colpophyllia natans*, presentando 2 de las 5 enfermedades coralinas enlistados, siendo Plaga Blanca la que más se observó en las colonias de esta especie. Sin embargo, a pesar de existir distintas guías o publicaciones que describen a las distintas enfermedades que afectan en los arrecifes de coral, las descripciones de cada una de ellas son independientes, por lo que encontramos pocos

estudios de enfermedades en arrecifes de Veracruz. Por ejemplo, Carricart-Ganivet *et al.* (2011) reportan una prevalencia de signos cercana a 5 %, la cual es inferior a lo reportado por Ruiz-Moreno *et al.* (2012) para arrecifes del Caribe en el verano; Pérez-España *et al.* (2015a) mostraron como las enfermedades han aumentado dentro del SAV desde el 2006; y Castañeda-Chávez *et al.* (2018) discuten la presencia de bacterias, potencialmente patógenas, en el SAV. Todo esto deja ver que los incrementos en prevalencia de enfermedades pueden indicar la ocurrencia de epizootias (Williams y Miller 2005) o el efecto de algún estrés ambiental (Pollock *et al.* 2014).

Hasta el momento, es probable que existan varios sucesos que estén provocando ésta serie de condiciones en el arrecife, el primero se le atribuye a la contaminación por sólidos y sustancias disueltas provenientes de las corrientes marítimas del Caribe que pasan por el canal de Yucatán y terminan depositándose en el Golfo de México, lo cual da pauta al afloramiento de patógenos que se quedan estancados en ese sitio, provocando el desarrollo de enfermedades coralinas (Jordán-Dahlgren 2004; Horta-Puga 2007; Salas-Pérez y Granados-Barba 2008; Caballero *et al.* 2009; Gutiérrez-Ruiz *et al.* 2011; Horta-Puga *et al.* 2015) esto porque, continuando con lo que describieron en su estudio Salas-Monreal *et al.* (2015), el tiempo de residencia del agua en el SAV es menor a 3 días, sin embargo, existen lugares cercanos a los arrecifes donde las características batimétricas producen una clase de giros que logran mantener el agua en un mismo lugar hasta por 30 días impidiendo su flujo habitual, dicha característica propicia la fijación de larvas coralinas pero al mismo tiempo podría generar un posible reservorio de patógenos que atenten contra a salud arrecifal.

Mortalidad parcial y tejido perdido

La mortalidad parcial es vista como un fenómeno común que trae diferentes consecuencias para la comunidad coralina, entre ellas: 1) conducir a la fisión de las colonias (daños mecánicos); 2) disminuir la reproducción; y, 3) aumentar la aparición de enfermedades, producto de las lesiones que se generan en alguna zona de la colonia (Bythell *et al.* 1993; Meesters *et al.* 1996; Meesters *et al.* 1997).

En este estudio, 132 colonias presentaron mortalidad parcial (MP), es decir, un promedio del 18.6% que afectó solo a 10 de las 17 especies enlistadas, en tanto que, el porcentaje promedio de tejido perdido corresponde al 19.5 %, donde *Siderastrea siderea* (55.5 %) y *Colpophyllia natans* (21.7 %) presentaron mayor proporción de tejido perdido. Dichos valores de proporción de colonias con MP y porcentaje de tejido perdido resultan bajos en comparación con lo reportado por otros autores (Tabla 10). Por su parte, Meesters *et al.* (1992) comentan, que de las especies con las que trabajaron, *Siderastrea siderea* fue aquella que obtuvo la mayor mortalidad parcial, tal como se observó en este estudio, y que, además, comentan que esta especie parece regenerarse lento, lo que podría explicar la alta incidencia de lesiones observadas en campo.

De acuerdo con Horta-Puga *et al.* (2017), las causas de la muerte de los pólipos individuales son múltiples, y se evidencian como porciones de tejido necrosado.

Entre las posibles causas tenemos: 1) a los diferentes tipos de enfermedades descritas anteriormente; 2) la bioerosión por especies que consumen y dañan a los corales, tal como Hernández-Ballesteros *et al.* (2013) reportan en su escrito, diciendo que, en los arrecifes del sur de México, la mortalidad mayormente era causada por bioerosión de esponjas afectando

principalmente a las especies *Porites astreoides* y *Orbicella annularis*; y, 3) podría atribuirse al oleaje producto de huracanes, ciclones o las tormentas tropicales que impactan sobre el Golfo de México durante el verano provocando daños, muchas veces irreversibles, debido a la tasa de recuperación lenta que presentan los corales hermatípicos, como lo fue en el caso del ciclón Roxana durante 1995 en Campeche (Jordán-Dahlgren 2004; Salas-Pérez y Granados-Barba 2008).

Tabla 10

Comparación de la prevalencia de colonias con mortalidad parcial (%) y porcentaje de tejido perdido en general (%) obtenidas en éste estudio con los valores registrados en otros arrecifes

Autor y año	Prevalencia general (%)	
	MP	Tejido perdido
Ruiz-Zarate <i>et al.</i> (2003)	19.3	-
Ronzón-Rodríguez y Vargas-Hernández (2007)	39.4	-
Caballero <i>et al.</i> (2009)	12.0	-
Horta-Puga y Tello-Musi (2009)	56.6	19.1
Alcolado <i>et al.</i> (2010)	24.0	24.9
Horta-Puga <i>et al.</i> (2017)	30.1	21
Este estudio	18.6	19.5

MP= Mortalidad parcial

Finalmente, por campaña se observó el porcentaje más alto de MP en abril de 2010 con el 22.1%, disminuyendo en marzo de 2013 con un 21.7 %, para después presentar el valor más bajo durante marzo de 2014 con el 11.5 % e incrementar al final durante la campaña de marzo en 2015 registrando un 19.2 %. Aunado a ello, se observó una mayor pérdida de tejido durante marzo de 2014 obteniendo un 27.7 % y en abril de 2010 con el 25.1%.

Al respecto, Castañeda-Chávez y Lango-Reynoso (2021), señalan que un factor importante (en cuanto a la estacionalidad) corresponde en que la mayor contaminación en la cuenca del río Jamapa, se presenta en la época de secas, seguida de la época lluviosa, lo cual hace que existan bacterias y materia orgánica que propicien las características ideales para el desarrollo de agentes patógenos, pues este sistema fluvial va cargado de sedimento, que a su vez cubre el tejido vivo dificultando la fotosíntesis de las zooxantelas y por ende puede causar la muerte total o parcial de las colonias en sí, tal como sucede en otras partes del mundo donde se ha registrado una considerable degradación y una alta mortalidad de corales, principalmente de especies de pólipos pequeños, después de eventos de escorrentía (Rogers 1990; Fabricius *et al.* 2007). Por ejemplo, Hughes (1984) y Hall y Hughes (1996), nos muestran en su trabajo realizado en Colombia, que la cercanía a un canal de agua correspondería al principal factor que afecta a los corales, ya que éste descarga gran cantidad de sedimentos y de nutrientes afectando los ciclos vitales de las poblaciones de coral en la zona. De igual manera, los trabajos reportados por Meesters *et al.* (2001), Vermeij y Bak (2000), Bak y Meesters (1998) en Curaçao, Antillas holandesas, Ginsburg *et al.* (2001) en la Florida, Hughes y Jackson (1980-1985) en Jamaica y Soong (1993) en Panamá, donde describe una situación similar a la acontecida en la zona de Colombia.

De ser el caso, los corales más cercanos a la desembocadura del río Jamapa presentarían tallas pequeñas mostrando una MP total acompañada de la pérdida de tejido en mayor proporción que aquellas de tallas más grandes, no obstante, al poseer una mayor superficie de tejido vivo, también presentarían una mayor área de exposición al sedimento o recubrimiento algal, lo cual tarde o temprano, causará mortalidad parcial, así como una reducción en el tamaño de la colonia (Meesters *et al.* 1996; Edmunds 2000; Ginsburg *et al.* 2001).

Finalmente, debido a que los corales escleractinios hermatípicos tienen un crecimiento lento, volver a las condiciones originales requeriría de una escala de tiempo mayor (años y/o décadas) para que pueda ser visible a diferencia de un lapso corto de tiempo, excepto en eventos realmente catastróficos (Horta-Puga *et al.* 2017). Es así, que podríamos tomar en cuenta dos aspectos: 1) la morfología de la colonia (tamaño, forma); y, 2) sus características ecológicas (tasa de regeneración, incidencia de lesiones), pues un potencial regenerativo más bajo, aumentaría la incidencia de mortalidad parcial, el asentamiento de otros organismos sobre el esqueleto expuesto del coral que ha sido afectado, así como la competencia de macroalgas por el fondo marino (Meesters *et al.* 1992; Meesters *et al.* 1997).

CONCLUSIONES

- Las especies coralinas más abundantes fueron: *Siderastrea siderea*, *Porites astreoides* y *Colpophyllia natans* mismas que aportaron aproximadamente el 70% de la abundancia relativa total del arrecife Blanca para éste estudio.
- La mayor prevalencia de colonias enfermas fue durante la campaña de marzo en 2013 con el 22.6 %, donde *Siderastrea siderea* fue la más afectada.
- Las especies que presentaron una mayor proporción en cuanto a colonias con alguna enfermedad corresponden a *Siderastrea siderea* (83.5 %), *Colpophyllia natans* (10.3%) y *Montastraea cavernosa* (6.10 %).
- La mortalidad parcial va de la mano con la incidencia de enfermedades, donde Blanca obtuvo un porcentaje promedio general de MP del 18.6 % y un 19.5 % de tejido perdido, siendo las especies *Siderastrea siderea* (55.5 %) y *Colpophyllia natans* (21.7%) las más afectadas.
- La condición del arrecife Blanca se puede considerar en buen estado si tomamos en cuenta la prevalencia de enfermedades, MP y tejido perdido en comparación con otros arrecifes del Atlántico, además de que también se registraron especies pertenecientes a los géneros principales en la construcción de arrecifes de coral a pesar de encontrarse en una zona expuesta a factores de estrés.

REFERENCIAS

- Aeby GS, Ushijima B, Campbell JE, Jones S, Williams GJ, Meyer JL y Paul VJ (2019) Pathogenesis of a tissue loss disease affecting multiple species of corals along the Florida Reef Tract. *Frontiers in Marine Science* 6: 678. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00678>
- Alcolado PM, Morgan IE, Kramer PA, Ginsburg RN, Blanchon P, De la Guardia E y Hernández M (2010) Condition of remote reefs off southwest Cuba. *Ciencias Marinas* 36(2):179-197. <https://doi.org/10.7773/cm.v36i2.1670>
- Alvarado EM, Duque L, Flórez L y Ramírez R (1986) Evaluación cualitativa de los arrecifes coralinos de las Islas del Rosario (Cartagena, Colombia). *Boletín Ecotrópica* 15:1- 30. ISSN: 0120-8993
- Alvarez-Filip L, Carricart-Ganivet J, Horta-Puga G e Iglesias-Prieto R (2013) Shifts in coral- assemblage composition do not ensure persistence of reef functionality. *Scientific Reports* 3(1):3486. <https://doi.org/10.1038/srep03486>
- Alvarez-Filip L, Estrada-Saldívar N, Pérez-Cervantes E, Molina-Hernández A y González-Barrios FJ (2019) A rapid spread of the stony coral tissue loss disease outbreak in the Mexican Caribbean. *PeerJ* 7: e8069. <https://doi.org/10.7717/peerj.8069>
- Arenas-Fuentes V y Vargas-Hernández JM (2004) Caracterización macrobéntica arrecifal. Reporte de investigación. Centro de Ecología y Pesquerías. Boca del Río, Veracruz, págs. 308
- Avendaño-Álvarez O, Salas-Monreal D, Marín-Hernández M, Salas-de-León DA y Monreal-Gómez MA (2017) Annual hydrological variation and hypoxic zone in a tropical coral

reef system. *Regional Studies in Marine Science* 9:145-155.
<https://doi.org/10.1016/j.rsma.2016.12.007>

Bak RPM y Meesters EH (1998) Coral population structure: the hidden information of colony size-frequency distributions. *Marine Ecology Progress Series* 162: 301-306.
<https://doi.org/10.3354/meps162301>

Bernal N (2012) Cobertura arrecifal de Isla Fuerte, en relación con su uso y normativas de manejo, Cartagena, Bolívar, Caribe colombiano. Trabajo de grado de Pregrado, Dpto. de Biología, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Bourne DG, Ainsworth TD, Pollock FJ y Willis BL (2015) Towards a better understanding of white syndromes and their causes on Indo-Pacific coral reefs. *Coral Reefs* 34: 33–242.
<https://doi.org/10.1007/s00338-014-1239-x>

Bourne DG, Garren M, Work TM, Rosenberg E, Smith GW y Harvell CD (2009) Microbial disease and the coral holobiont. *Trends in microbiology* 17(12): 554-562.
<https://doi.org/10.1016/j.tim.2009.09.004>

Bruckner A (2010) Field Guide to Western Atlantic Stony Corals. Living Oceans Foundation
<https://www.livingoceansfoundation.org/publication/field-guide-to-western-atlantic-stony-corals/#:~:text=This%20Field%20Guide%20to%20Western,75%20species%20have%20been%20identified> Consultado el día 7 de enero de 2022

Bruckner A (2009) Western Atlantic Coral Disease Identification Field Guide. Living Oceans Foundation <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/538> Consultado el día 7 de enero de 2022

Bright EH, Schmahl GP, Burek J y Burek F (2013) Picture Guide to Common Stony Corals of Flower Garden Banks National Marine Sanctuary. FLOWER GARDEN BANKS

https://nmsflowergarden.blob.core.windows.net/flowergarden-prod/media/archive/document_library/scidocs/coralguidebright.pdf Consultado el día 7 de enero de 2022

Bythell JC, Gladfelter EH y Bythell M (1993) Chronic and catastrophic natural mortality of three common Caribbean reef corals. *Coral Reefs* 12: 143-152. <https://doi.org/10.1007/BF00334474>

Caballero H, Alcolado P y Semide YA (2009) Condición de los arrecifes de coral frente a costas con asentamientos humanos y aportes terrígenos: el caso del litoral Habanero, Cuba. *Revista Ciencias Marinas y Costeras* 1(1):49-72. <https://doi.org/10.15359/revmar.1.3>

Carpenter KE, Abrar M, Aeby G, Aronson RB, Banks S, Bruckner A y Wood E (2008) One-third of reef-building corals face elevated extinction risk from climate change and local impacts. *Science* 321(5888):560-563. <https://doi.org/10.1126/science.1159196>

Carricart-Ganivet JP, Beltrán-Torres AU y Horta-Puga G (2011) Distribution and prevalence of coral diseases in the Veracruz Reef System, Southern Gulf of Mexico. *Diseases of Aquatic Organisms* 95:181-187. <https://doi.org/10.3354/dao02359>

Carricart-Ganivet JP y Horta-Puga G (1993) Arrecifes de coral en México. En: Salazar-Vallejo S y González NE (eds.) Biodiversidad Marina y Costera de México. Comisión Nacional para la Biodiversidad y Centro de Investigaciones de Quintana Roo, págs. 80-90

Casas D (2011) Estado de conservación de la comunidad arrecifal presente en isla fuerte Bolívar (Colombia). Trabajo de grado de Pregrado, Dpto. de Biología, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Castañeda-Chávez R, Lango-Reynoso F, Galaviz-Villa I y García-Fuentes JL (2015) *Vibrio* spp. en corales del Sistema Arrecifal Veracruzano. En: Granados-Barba A, Ortiz-Lozano

- L, Salas-Monreal D y González-Gándara C (eds.) Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche, págs. 267-280
- Castañeda-Chávez R, Lango-Reynoso F, García-Fuentes JL y Reyes-Aguilar AR (2018) Bacteria that affects coral health with an emphasis on the Gulf of Mexico and the Caribbean Sea. *Latin American Journal of Aquatic Research* 46:880-889. <http://doi.org/10.3856/vol46-issue5-fulltext-2>
- Castañeda-Chávez R y Lango-Reynoso F (2021) Impact of the Jamapa River Basin on the Gulf of Mexico. In: James-Manning A (ed.) River deltas-recent advances [Working Title]. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97021>
- Chavez EA, Tunnell JW y Whithers K (2007) Reef zonation and ecology: Veracruz shelf and Campeche Bank. In: Tunnell JW, Chavez EA y Whithers K (eds.) Coral reefs of the southern Gulf of Mexico. University Press College Station, USA, págs. 41-67
- Collin R, Diaz MC, Norenburg JL, Rocha RD, Sanchez JA, Schulz A y Valdes A (2005) Photographic identification guide to some common marine invertebrates of Bocas Del Toro, Panamá. *Caribbean Journal of Science* 41(3):638-707
- Cooper TF, Gilmour JP y Fabricius KE (2009) Bioindicators of changes in water quality on coral reefs: review and recommendations for monitoring programmes. *Coral reefs* 28(3): 589-606. <https://doi.org/10.1007/s00338-009-0512-x>
- Costanza R, d'Arge R, De-Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B y Van-Den-Belt M (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387(6630): 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>

- Couch CS, Garriques JD, Barnett C, Preskitt L, Cotton S, Giddens J (2014) Spatial and temporal patterns of coral health and disease along leeward Hawai'i Island. *Coral Reefs* 33: 693–704. <https://doi.org/10.1007/s00338-014-1174-x>
- Díaz JM, Barrios LM, Cendales MH, Garzón-Ferreira J, Geister J, López-Victoria M, Ospina GH, Parra-Velandia F, Pinzón J, Vargas-Ángel B, Zapata FA y Zea S (2000) Áreas Coralinas de Colombia. INVEMAR. Serie de Publicaciones Especiales. No 5. Santa Marta, págs. 176
- Dikou A (2010) Ecological processes and contemporary coral reef management. *Diversity* 2: 717-73. <https://doi.org/10.3390/d2050717>
- Edmunds PJ (2000) Patterns in the distribution of juvenile corals and coral reef community structure in St. John, US Virgin Islands. *Marine Ecology Progress Series* 202: 113-124. <https://doi.org/10.3354/meps202113>
- Estrada-Saldívar N, Quiroga-García BA, Pérez-Cervantes E, Rivera-Garibay OO y Alvarez-Filip L (2021) Effects of the stony coral tissue loss disease outbreak on coral communities and the benthic composition of Cozumel reefs. *Frontiers in Marine Science* 8: 632777. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.632777>
- Fabricius KF, Golbuu Y, Victor S (2007) “Selective mortality in coastal reef organisms from an acute sedimentation event”. *Coral Reefs* 26(1): 69. <https://doi.org/10.1007/s00338-006-0171-0>
- Gardner TA, Côté IM, Gill JA, Grant A y Watkinson AR (2003) Long-term region-wide declines in Caribbean corals. *Science* 301(5635):958–960. <https://doi.org/10.1126/science.1086050>
- Garza-Pérez JR (2011) Evaluación de comunidades bentónicas arrecifales. *Guía de campo y laboratorio. PAPIME, DGAPA-UNAM, págs. 25*

- Gil-Agudelo DL, Navas-Camacho R, Rodríguez-Ramírez A, Reyes-Nivia MC, Bejarano S, Garzón-Ferreira J y Smith GW (2009) Enfermedades coralinas y su investigación en los arrecifes colombianos. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR* 38(2):189-224. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2009.38.2.178>
- Gil-Agudelo DL, Cintra-Buenrostro CE, Brenner J, González-Díaz P, Kiene W, Lusic C y Pérez-España H (2020) Coral reefs in the Gulf of Mexico large marine ecosystem: conservation status, challenges, and opportunities. *Frontiers in Marine Science* 6: 807. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00807>
- Ginsburg R, Gischeler E y Kiene W (2001) Partial mortality of massive reef-building corals. An index of patch reef conditions, Florida Reef tract. *Bulletin of Marine Science*. 69(3): 1149- 1173.
- Glynn PW y Manzello DP (2015) Bioerosion and coral reef growth: a dynamic balance. In: Birkeland C (ed.) *Coral reefs in the Anthropocene*. Springer Netherlands. Departamento de Biología de la Universidad de Hawai en Manoa Honolulu EE, págs. 67-97
- Gutiérrez-Ruiz CV, Román-Vives MAM, Vergara CH y Badano EI (2011) Impact of anthropogenic disturbances on the diversity of shallow stony corals in the Veracruz Reef System National Park. *Revista mexicana de biodiversidad* 82(1):249-260. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.1.382>
- Hall V y Hughes T (1996) Reproductive strategies of modular organisms: comparative studies of reef -building corals. *Ecology* 77: 950-963. <https://doi.org/10.2307/2265514>
- Harvell D, Jordán-Dahlgren E, Merkel S, Rosenberg E, Raymundo L, Smith G, Weil E y Willis B (2007) Coral disease, environmental drivers and the balance between coral and microbial associates. *Oceanography* 20(1): 58-81. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2007.91>

- Hernández-Ballesteros LM, Elizalde-Rendón EM, Carballo JL y Carricart-Ganivet JP (2013) Sponge bioerosion on reef-building corals: dependent on the environment or on skeletal density? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 441:23-27. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2013.01.016>
- Hoegh-Guldberg O, Mumby PJ, Hooten AJ, Steneck RS, Greenfield P, Gómez E, Harvell CD, Sale PF, Edwards AJ, Caldeira K, Knowlton N, Eakin CM, Iglesias-Prieto R, Muthiga N, Bradbury RH, Dubi A y Hatziolos ME (2007) “Coral Reefs under Rapid Climate Change and Ocean Acidification”. *Science* 318(5857): 1737-1742. <https://doi.org/10.1126/science.1152509>
- Horta-Puga G (2003) Condition of selected reef sites in the Veracruz Reef System (Stony corals and Algae). In: Lang JC (ed.) Status of Coral Reefs in the western Atlantic: Results of initial surveys, Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA) Program. *Atoll Research Bulletin* 496: 360-369. <https://doi.org/10.5479/si.00775630.20.360>
- Horta-Puga G (2007) Environmental impacts. In: Tunnell JW, Chávez EA y Whithers K (eds.) Coral reefs of the southern Gulf of Mexico. University Press College Station, USA, págs. 126-142.
- Horta-Puga G, Álvarez-Filip L, Cabral-Tena RA, López-Pérez A, Ortiz Lozano L, Pérez-España H y Reyes-Bonilla H (2019) Coastal coral reefs in Mexico. En: Botello AV, Villanueva S y Gutiérrez J (coord.) *Costas y Mares Mexicanos: Contaminación, Impactos, Vulnerabilidad y Cambio Climático*. UNAM, UAC, págs. 329-366.
- Horta-Puga G, Cházaro-Olvera S, Winfield I, Avila-Romero M y Moreno-Ramírez M (2013) Cadmium, copper and lead in macroalgae from the Veracruz Reef System, Gulf of Mexico: spatial distribution and rainy season variability. *Marine pollution bulletin* 68(1-2):127–133. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.12.008>

Horta Puga G y Tello Musi JL (2009). Sistema Arrecifal Veracruzano: condición actual y programa permanente de monitoreo: Primera Etapa. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. **Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DM005**. México D. F.

Horta-Puga G, Tello-Musi JL, Beltrán-Torres A, Carricart-Ganivet JP, Carriquiry JD y Villaescusa-Celaya J (2015) Veracruz Reef System: a hermatypic coral community thriving in a sedimentary terrigenous environment. In: Granados-Barba A, Ortiz-Lozano L, Salas-Monreal D y González-Gándara C (eds.) Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche, México, págs. 181-208

Horta-Puga G, Tello-Musi JL, Córdova-Morales AD, Gutiérrez-Carrillo GA, Gutiérrez-Martínez JF y Morales-Aranda AA (2017). Sistema Arrecifal Veracruzano, condición actual y programa permanente de monitoreo: II Etapa. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UBIPRO. **Informe Final SNIBCONABIO**, proyecto No. GM005 México, CDMX. XXX p.

Hughes TP (1984) Population dynamics based on individual size rather than age: a general model with a reef coral example. *American Naturalist* 123(6): 277-293. <https://doi.org/10.1086/284239>

Hughes TP y Jackson JBC (1980) Do corals lie about their age? Some demographic consequences of partial mortality, fission and fusion. *Science*. 209: 713-715. <https://doi.org/10.1126/science.209.4457.713>

Hughes TP y Jackson JBC (1985) Population dynamics and life histories of foliaceous corals. *Ecological Monographs* 55(2): 141-166. <https://doi.org/10.2307/1942555>

- Jiménez-Hernández MA, Granados-Barba A y Ortiz-Lozano LD (2007) Análisis de la información científica en el Sistema Arrecifal Veracruzano. En: Granados-Barba A, Abarca-Arenas L y Vargas-Hernández J (eds.) Investigaciones científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano. Universidad Autónoma de Campeche, México. págs. 1-16
- Jones J, Withers K, Tunnell Jr JW (2008) Comparison of Benthic Communities on Six Coral Reefs in the Veracruz Reef System (Mexico). *Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium*, 18:757-760
- Jordán-Dahlgren E (2004) Los arrecifes coralinos del Golfo de México: caracterización y diagnóstico. *Diagnóstico ambiental del Golfo de México 1*: 555-570.
- Jordán-Dahlgren E y Rodríguez- Martínez RE (2003) The Atlantic coral reefs of Mexico. In: Cortés J (ed.). *Latin American Coral Reefs*. Elsevier, págs. 131-158
- Jordán-Dahlgren E y Rodríguez- Martínez RE (2013) Coral Diseases in Gulf of México Reefs. In: *Coral Health and Disease*. Springer, Berlin, Heidelberg, págs. 105-118.
- Jordán-Garza AG, González-Gándara C, Salas-Pérez JJ y Bazaldua-Fajardo J (2019) Clave para el Diagnóstico en Campo de Enfermedades de Corales Escleractinios en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, Veracruz. En: Granados-Barba A, Ortiz- Lozano L, González-Gándara C y Salas-Monreal D (eds.) *Estudios Científicos en el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche, México, págs. 325-344.
- Kramer PA (2003). Synthesis of coral reef health indicators for the western Atlantic: results of the AGRRA program (1997-2000). *Atoll Research Bulletin*. <https://doi.org/10.5479/si.00775630.496-3.1>

- Lasker HR (1980) Sediment rejection by reef corals: the roles of behavior and morphology in *Montastrea cavernosa* (Linnaeus). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 47:77–87. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(80\)90139-2](https://doi.org/10.1016/0022-0981(80)90139-2)
- Lesser MP, Bythell JC, Gates RD, Johnstone RW, Hoegh-Guldberg O (2007) Are infectious diseases really killing corals? Alternative interpretations of the experimental and ecological data *Journal of experimental marine biology and ecology* 346(1-2): 36-44. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2007.02.015>
- Lirman D, Formel N, Schopmeyer S, Ault JS, Smith SG, Gilliam D y Riegl B (2014) Percent recent mortality (PRM) of stony corals as an ecological indicator of coral reef condition. *Ecological Indicators* 44:120-127. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.10.021>
- Loya Y (1972) Community structure and species diversity of hermatypic corals at Eilat, Red Sea. *Marine Biology* 13:100-123. <https://doi.org/10.1007/BF00366561>
- Loya Y (1976) Effects of water turbidity and sedimentation on the community structure of Puerto Rican corals. *Bulletin of Marine Science* 26(4):450–466
- Mantilla-Galindo MA (2015) Descripción de la etiología de las enfermedades coralinas presentes en *Siderastrea siderea* en el arrecife de Punta Cebolleta en Isla Fuerte, Caribe Colombiano. Trabajo de grado de Pregrado, Facultad de Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia
- McField M, Guerrero CA, Giró A, Soto M, Craig N y Rueda M (2003) Mortalidad del coral. Healthy Reefs for healthy people <https://www.healthyreefs.org/cms/es/healthy-reef-indicators/mortalidad-del-coral/> Consultado el 10 de noviembre de 2022
- Meesters EH, Bos A y Gast GJ (1992) Effects of sedimentation and lesion position on coral tissue regeneration. In *7th International Coral Reef Symposium*, págs. 681-688.

- Meesters EH, Wesseling I y Bak RP (1996) Partial mortality in three species of reef-building corals and the relation with colony morphology. *Bulletin of Marine Science* 58(3): 838-852. [https://doi.org/10.1016/S1385-1101\(96\)00004-4](https://doi.org/10.1016/S1385-1101(96)00004-4)
- Meesters EH, Wesseling I y Bak RP (1997) Coral colony tissue damage in six species of reef-building corals: partial mortality in relation with depth and surface area. *Journal of Sea Research* 37(1-2): 131-144. [https://doi.org/10.1016/S1385-1101\(96\)00004-4](https://doi.org/10.1016/S1385-1101(96)00004-4)
- Meesters EH, Hilterman M, Kardinaal E, Keetman M, de Vries M, Bak RPM (2001) Colony size frequency distributions of scleractinian coral populations: spatial and interspecific variation. *Marine Ecology Progress Series* 209:43-54. <https://doi.org/10.3354/meps209043>
- Muller EM, Sartor C, Alcaraz NI y Van-Woesik R (2020) Spatial epidemiology of the stony-coral-tissue-loss disease in Florida. *Frontiers in Marine Science* 7:163. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00163>
- Ochoa-López E, Reyes-Bonilla H y Ketchum-Mejía J (1998) Daños por sedimentación a las comunidades coralinas del sur de la Isla Socorro, Archipiélago de Revillagigedo, México. *Ciencias Marinas* 24(2):233-240. <https://doi.org/10.7773/cm.v24i2.742>
- Odum HT y Odum EP (1955) Trophic structure and productivity of a windward coral reef community on Eniwetok Atoll. *Ecological Monographs* 25(3):291-320. <https://doi.org/10.2307/1943285>
- Ortiz-Lozano L (2012) Identification of priority conservation actions in marine protected areas: Using a causal networks approach. *Ocean & Coastal Management* 55:74-83. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.10.013>
- Pérez-España H, Ávila-Gutiérrez PS, Melo-Merino SM, Berumen-Solórzano P y Flores-Arévalo RR (2015a) Patrones interanuales e interarrecifales de las comunidades de peces,

corales y equinodermos en el Sistema Arrecifal Veracruzano. En: Granados-Barba A, Ortiz-Lozano L, Salas-Monreal D y González-Gándara C (eds.) Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche, México, págs. p. 159-178

Pérez-España H, Bello-Pineda J, Ávila-Santiago P, Berumen-Solorzano P, Melo-Merino S, Flores-Arévalo RR, Santander-Monsalvo J, Gómez-Villada RS, Román-Vives MA, Ruiz-Lozano C, Alvarado-Tejeda M, Roldán-Ubando AA y Cabrera-Valenzuela A (2015b) Monitoreo del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano: Segunda Etapa. Universidad Veracruzana, Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías. **Informe final SNIB-CONABIO, proyecto GM004**, México D.F.

Pérez-España H, Santander-Monsalvo J, Bello-Pineda J, Gómez-Villada RS, Aké-Castillo JA, Lozano-Aburto MA, Roman-Vives MA y Marín-Hernández M (2012) Caracterización ecológica del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. En Sánchez AJ, Chiappa-Carrara X y Brito-Pérez R (eds.) Recursos Acuáticos del Sureste. RECRECOS, México, págs. 581–601

Pérez-España H y Vargas-Hernández JM (2008) Caracterización ecológica y monitoreo del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano: Primera Etapa. Universidad Veracruzana. Centro de Ecología y Pesquerías **Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DM002**. México D. F.

Pollock FJ, Lamb JB, Field SN, Heron SF, Schaffelke B, Shedrawi G y Willis BL (2014) Sediment and turbidity associated with offshore dredging increase coral disease prevalence on nearby reefs. *PLOS One* 9(7): e102498. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102498>

Pomeroy RS, Parks JE y Watson LM (2004) How is your MPA doing? A guidebook of natural and social indicators for evaluating marine protected area management effectiveness. IUCN.

<https://www.researchgate.net/publication/269576310> How is your MPA Doing A Guidebook of Natural and Social Indicators for Evaluating Marine Protected Area Management Effectiveness Consultado el 17 de mayo de 2022

Precht WF, Gintert BE, Robbart ML, Fura R y Van Woesik R (2016) Unprecedented disease-related coral mortality in Southeastern Florida. *Scientific reports* 6(1):1-11. <https://doi.org/10.1038/srep31374>

Rangel-Avalos M, Jordan L, Walker B, Gilliam D, Carvajal-Hinojosa E y Spieler R (2008) *Fish and coral reef communities of the Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (Veracruz Coral Reef System National Park) Veracruz, Mexico: preliminary results.* Proceedings of the 60th Gulf and Caribbean Fisheries Institute, págs. 60427-435

Rasband W (2012) Programa de procesamiento de imagen digital ImageJ.

Ravindran J, Raghukumar C y Raghukumar S (1999) Disease and stress-induced mortality of corals in Indian reefs and observations on bleaching of corals in the Andamans. *Current Science*: 233-237.

Raymundo L y Harvell CD (2008) Assessment and Monitoring Protocols. In: Raymundo L, Couch CS y Harvell CD (eds) Coral disease handbook. Currie Communications, Melbourne, págs. 59

Raymundo L, Couch CS, Harvell CD, Raymundo J, Bruckner AW, Work TM y Aeby GS (2008) Coral disease handbook guidelines for assessment, monitoring & management, págs. 121

- Rogers C (1990) Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. *Marine Ecology Progress Series* 62(4):185-202. <https://doi.org/10.3354/MEPS062185>
- Rosales-Hoz L, Carranza-Edwards A y Celis-Hernandez O (2007) Environmental implications of heavy metals in surface sediments near Isla de Sacrificios, Mexico. *Bulletin of environmental contamination and toxicology* 78(5):353–357. <https://doi.org/10.1007/s00128-007-9125-7>
- Rosales-Hoz L, Carranza-Edwards A, Sanvicente-Anorve L, Alatorre-Mendieta MA y Rivera-Ramirez F (2009) Distribution of dissolved trace metals around the Sacrificios Coral Reef Island, in the southwestern Gulf of Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 83:713-719. <https://doi.org/10.1007/s00128-009-9813-6>
- Ronzón-Rodríguez R y Vargas-Hernández JM (2007) Distribución, abundancia, patrones merísticos y mortalidad de las especies de *Diploria* en la llanura del arrecife Sacrificios. En: Granados-Barba A, Abarca-Arenas LG y Vargas-Hernández JM (Eds.) *Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano*. Universidad Autónoma de Campeche, págs. 127-140
- Ruiz-Moreno D, Willis BL, Page AC, Weil E, Cróquer A, Vargas-Ángel B, Jordán-Garza AG, Jordán-Dahlgren E, Raymundo L y Harvell CD (2012) Global coral disease prevalence associated with sea temperature anomalies and local factors. *Diseases of Aquatic Organisms* 100(3):249-261. <https://doi.org/10.3354/dao02488>
- Ruiz-Zarate MA, Hernandez-Landa RC, Gonzalez-Salas C, Nunez-Lara E y Arias-Gonzalez JE (2003) Mexico. Condition of Coral Reef Ecosystems in Central-Southern Quintana Roo, Mexico (Part 1: Stony Corals and Algae). *Atoll Research Bulletin*. <https://doi.org/10.5479/si.00775630.496-18.318>

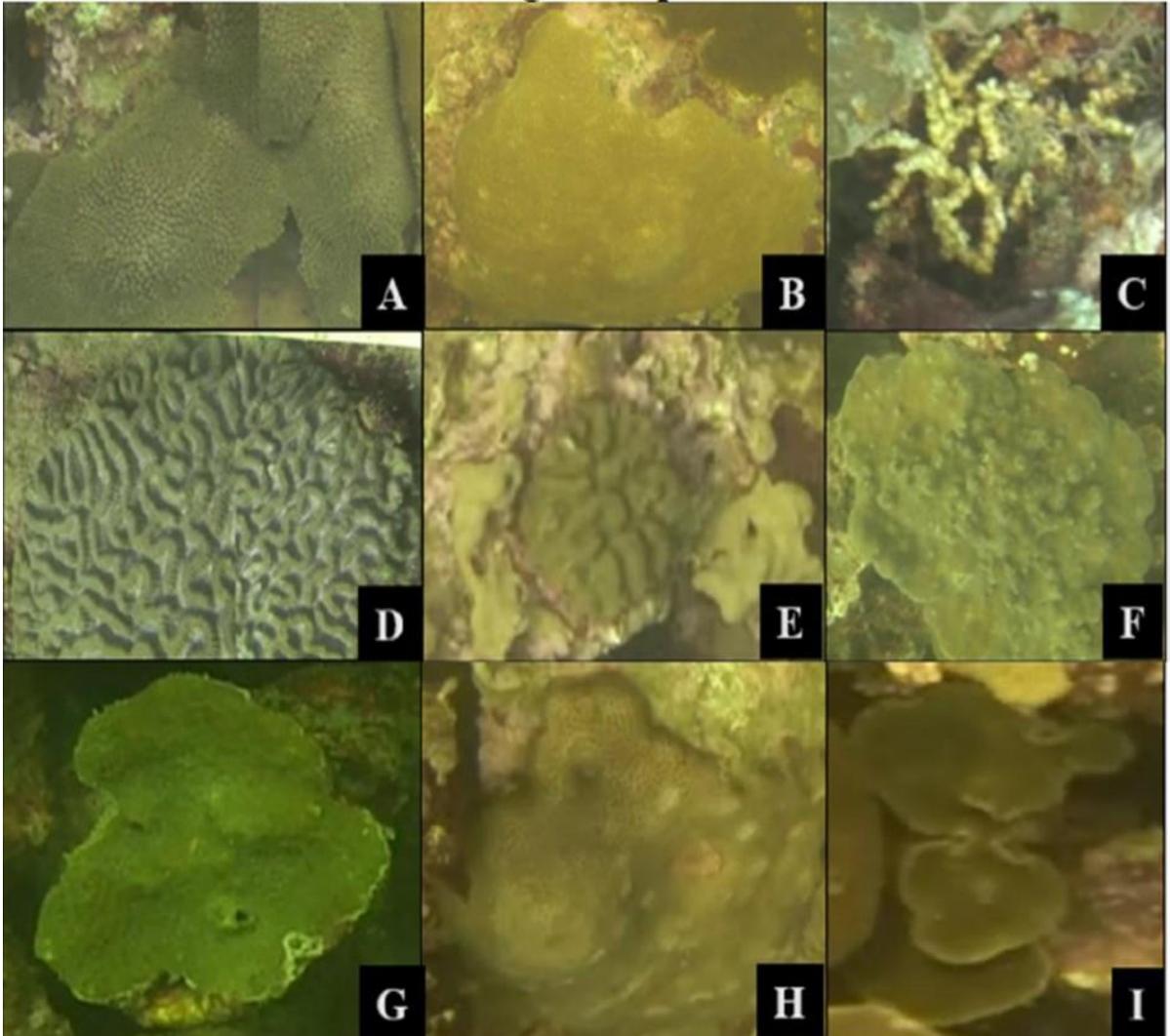
- Salas-Monreal D, de Jesús SPJ, Mark MH, Isabel CG y Avendaño-Álvarez JO (2015) Dinámica Marina del Sistema Arrecifal Veracruzano. *Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México*, págs. 25-50
- Salas-Monreal D, Díaz-Hernández A, Áke-Castillo JA, Granados-Barba A y Riverón-Enzástiga ML (2020) Variación anual de los parámetros hidrográficos en la confluencia del río Jamapa y arroyo Moreno (México): hidrografía del río Jamapa. *Intrópica* :59-65. <https://doi.org/10.21676/23897864.3402>
- Salas-Pérez J y Granados-Barba A (2008) Oceanographic characterization of the Veracruz Reef System. *Atmósfera* 21:281-301.
- Self R (1977) Longshore variation in beach sands Nautla area, Veracruz, Mexico. *Journal of Sedimentary Petrology* 47:1437-1443. <https://doi.org/10.1306/212F7388-2B24-11D7-8648000102C1865D>
- Soong K (1993) Colony size as a species character in massive reef corals. *Coral Reefs* 12:77-83. <https://doi.org/10.1007/BF00302106>
- Sutherland KP, Porter JW y Torres C (2004) Disease and immunity in Caribbean and Indo-Pacific zooxanthellate corals. *Marine Ecology Progress Series* 266:273-302. <https://doi.org/10.3354/meps266273>
- Szmant AM (1986) Reproductive ecology of Caribbean reef corals. *Coral Reef* 5(1):43-54. <https://doi.org/10.1007/BF00302170>
- Torres JL y Morelock J (2002) Effect of terrigenous sediment influx on coral cover and linear extension rates of three Caribbean massive coral species. *Caribbean Journal of Science* 38(3-4): 222-229.

- Tunnell JW (1988) Regional comparison of southwestern Gulf of Mexico to Caribbean Sea coral reefs. *Proceedings of the 6th International Coral Reef Symposium, Townsville, Australia* 3:303-308
- Tunnell JW Jr (2010) Distribución de los arrecifes. En: Tunnell JW Jr, Chavez EA y Withers K (eds.) Arrecifes coralinos del sur del Golfo de México, México, págs. 352
- Vega-Thurber R, Mydlarz LD, Brandt M, Harvell D, Weil E, Raymundo L y Lamb J (2020) Deciphering coral disease dynamics: integrating host, microbiome, and the changing environment. *Frontiers in Ecology and Evolution* 8:575927. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.575927>
- Velasco GG y Winant CD (1996) Seasonal patterns of wind stress and wind stress curl over the Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research* 101: 18127-18140. <https://doi.org/10.1029/96JC01442>
- Vermeij MJA y Bak RPM (2000) Inferring demographic processes from population size structure in corals. *Proceedings 9th International Coral Reef Symposium, Bali, Indonesia* 1: 589-594
- Verón JEN (2000) *Corals of the World*. Townsville, Australian Institute of Marine Science.
- Walton CJ, Hayes NK y Gilliam DS (2018) Impacts of a regional, multi-year, multi-species coral disease outbreak in Southeast Florida. *Frontiers in Marine Science* 5:323. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00323>
- Ward JR, Rypien KL, Bruno JF, Harvell CD, Jordan-Dahlgren E, Mullen KM y Smith G (2006) Coral diversity and disease in Mexico. *Diseases of aquatic organisms* 69(1): 23-31. <https://doi.org/10.3354/dao069023>

- Weil E, Croquer A y Urreiztieta I (2009) Temporal variability and impact of coral diseases and bleaching in La Parguera, Puerto Rico from 2003–2007. *Caribbean Journal Science* 45(2-3): 221–247. <https://doi.org/10.18475/cjos.v45i2.a10>
- Weil E y Rogers CS (2011) Coral reef diseases in the Atlantic-Caribbean. In *Coral reefs: an ecosystem in transition*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0114-4_27
- Wilkinson C, Nowak M, Miller I y Baker V (2013) Status of Caribbean coral reefs in seven countries in 1986. *Marine Pollution Bulletin* 70:7-9. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.02.040>
- Williams DE y Miller MW (2005) Coral disease outbreak: pattern, prevalence and transmission in *Acropora cervicornis*. *Marine Ecology Progress Series* 301:119-128. <https://doi.org/10.3354/meps301119>
- Wobeser G (1981) Diseases of wild waterfowl. New York, Plenum Press.
- Work TM y Aeby GS (2006) Systematically describing gross lesions in corals. *Diseases of aquatic organisms* 70: 155-160. <https://doi.org/10.3354/dao070155>
- Work TM, Richardson LL, Reynolds TL y Willis BL (2008) Biomedical and veterinary science can increase our understanding of coral disease. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 362(2): 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2008.05.011>

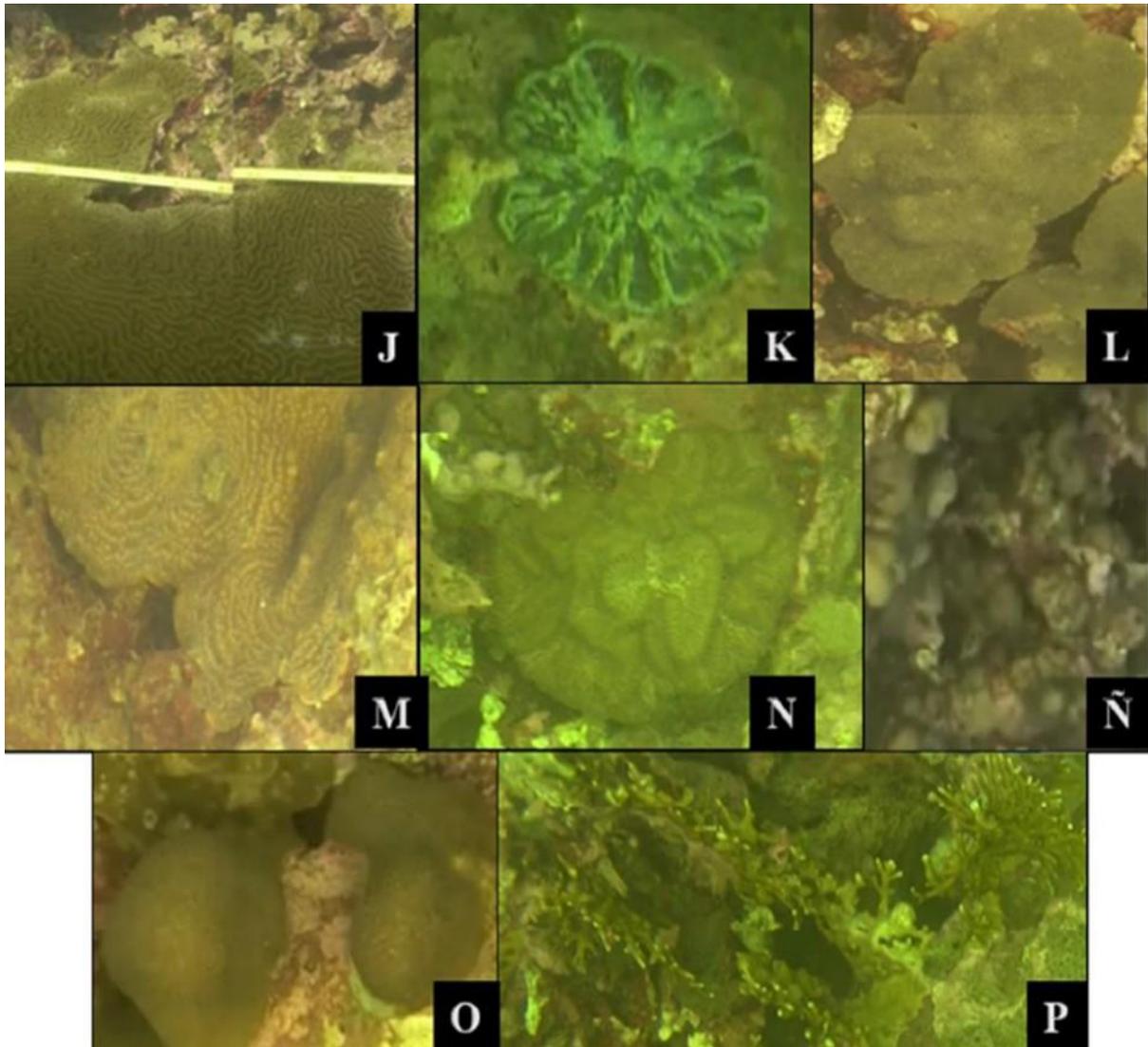
ANEXO 1

(CATÁLOGO DE ESPECIES CORALINAS)



A) *Montastrea cavernosa*; B) *Siderastrea siderea*; C) *Oculina difusa*; D) *Colpophyllia natans*; E) *Manicina areolata*; F) *Porites astreoides*; G) *Agaricia fragilis*; H) *Stephanocoenia intercepta*; I) *Porites colonensis*.

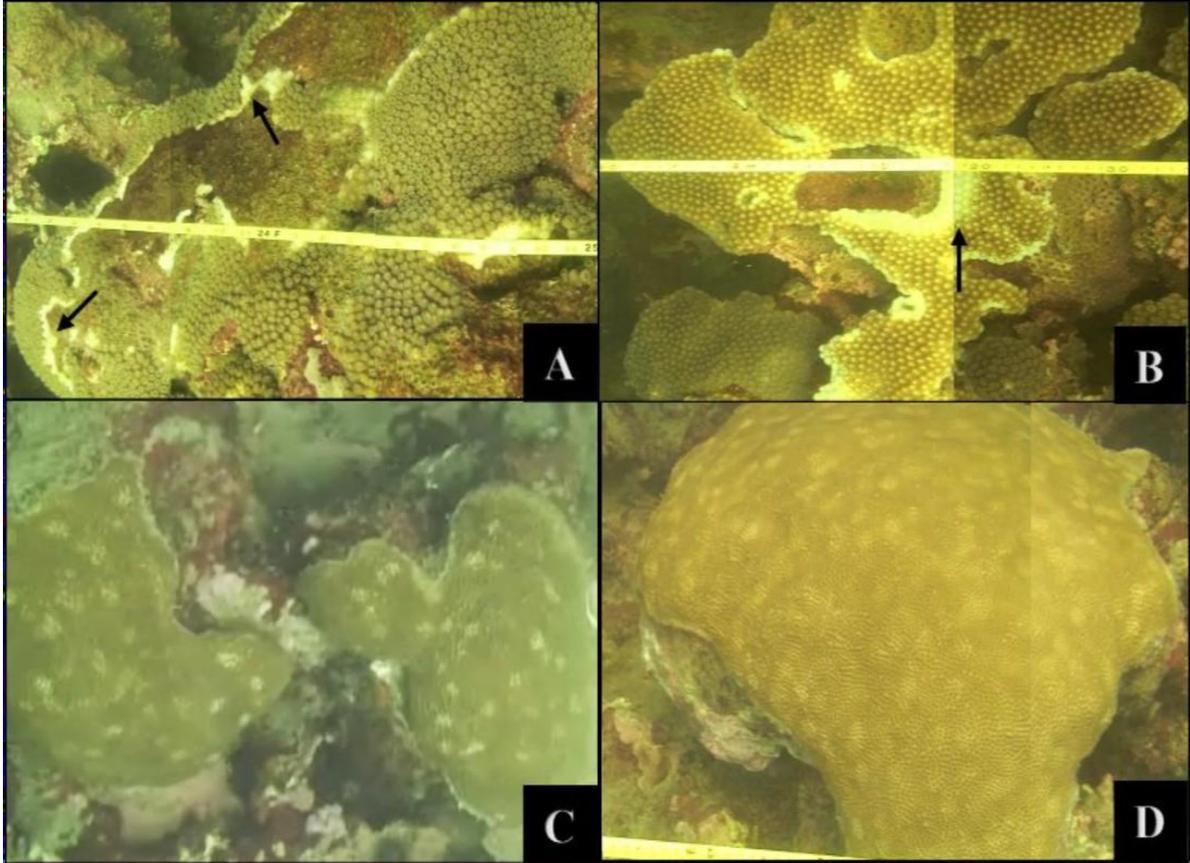
CONTINUACIÓN ANEXO 1
(CATÁLOGO DE ESPECIES CORALINAS)



J) *Pseudodiploria strigosa*; **K)** *Mycetophyllia danaana*; **L)** *Orbicella faveolata*; **M)** *Agaricia lamarcki*; **N)** *Mussa angulosa*; **Ñ)** *Madracis decactis*; **O)** *Orbicella annularis*; **P)** *Millepora alcicornis*.

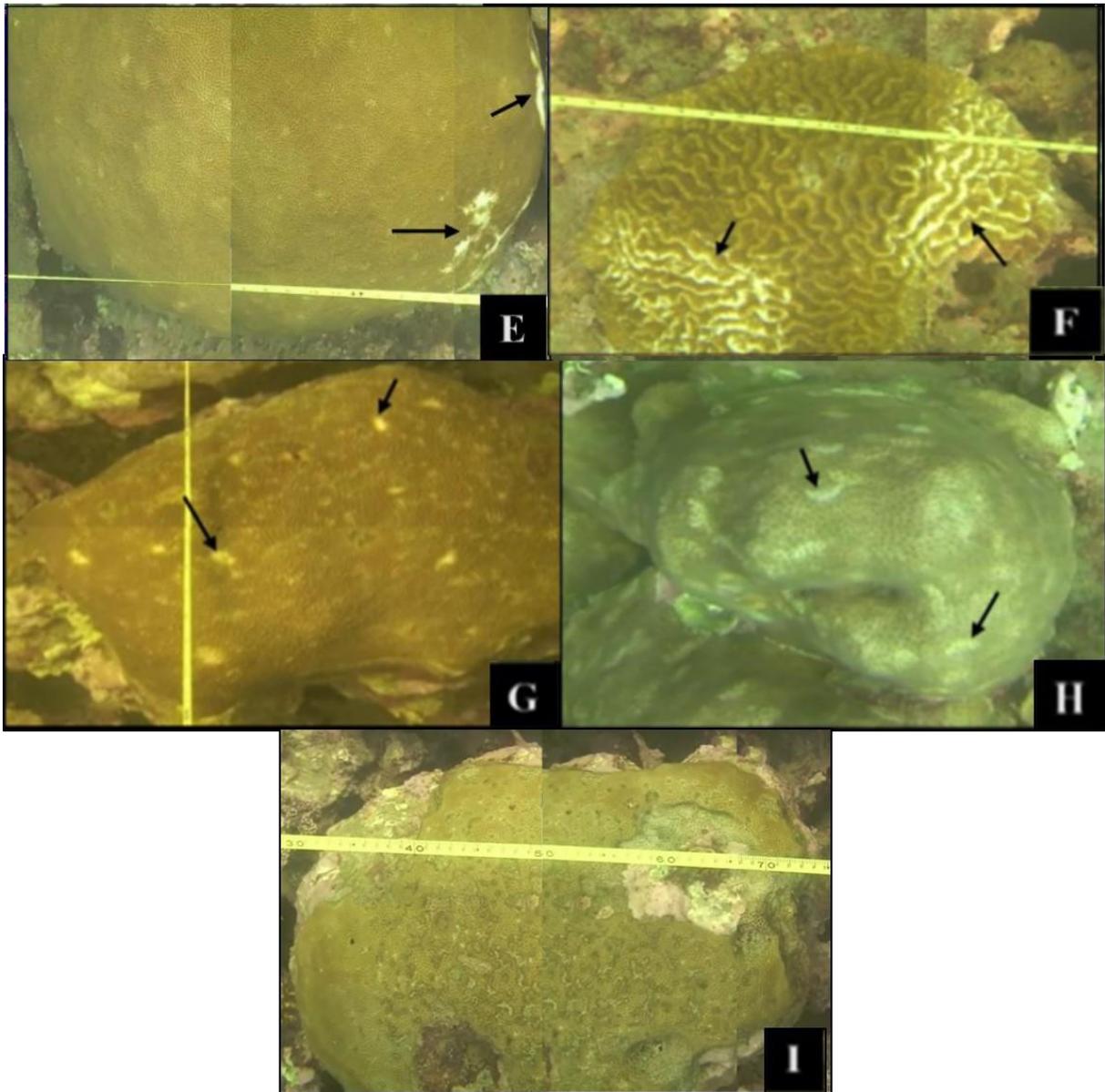
ANEXO 2

(CATÁLOGO DE ENFERMEDADES CORALINAS)



A-B: Banda amarilla en *Montastrea cavernosa*; **C-D:** Lunares Blancos en *Siderastrea siderea*.

CONTINUACIÓN ANEXO 2
(CATÁLOGO DE ENFERMEDADES CORALINAS)



E-F: Plaga Blanca en *Siderastrea siderea* (E) y *Colpophyllia natans* (F); **G-H:** Signos de Predación (mordeduras de pez) en *Siderastrea siderea*; **I:** Mancha Negra en *Siderastrea siderea*.