

 EDUCACIÓN SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA	SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO	
	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BOCA DEL RÍO	
	Portada del Proyecto de Residencias Profesionales	

Nombre del Proyecto:

Impacto del síndrome blanco en los corales masivos del Parque Nacional Isla Contoy

Nombre del Alumno

Alan Antonio Ravelo Huesca

Numero de Control

16990224

Nombre de la Carrera

Lic. Biología

Especialidad

Biología marina



M. C. Alejandro Morales García



Bio. Mar. Wilberto Anteale Sangabriel



AGRADECIMIENTOS

- Agradezco a la CONANP, a los directivos y guardaparques del Parque Nacional Isla Contoy, por la oportunidad de colaborar en sus instalaciones y brindarme las herramientas necesarias para realizar este trabajo.
- Al Biólogo Marino Wilberto Antele Sangabriel y a la Oceanóloga Norma Angélica Figueroa Soltero por las asesorías, consejos y apoyo para llevar a cabo esta investigación, por enseñarme mucho sobre el trabajo en la isla, así como por brindarme de su experiencia profesional y de vida. Gracias.
- Al Maestro en Ciencias Alejandro Morales García, por apoyarme y creer en mí desde que inicié la carrera, por los conocimientos que me brindó en sus clases, por guiarme y asesorarme para realizar este trabajo, ¡Muchas gracias!
- Al Biólogo Miguel Ángel Román Vives, jefe del laboratorio químico y fundador del Acuario de Veracruz, miembro de la Sociedad Mexicana de Arrecifes Coralinos, por su apoyo, así como su contribución a este proyecto en base a sus conocimientos y experiencia. QEPD siempre llevaré conmigo sus palabras de ánimo y su fe.

DEDICATORIA

Esta investigación va para mi mamá Antonia Huesca Méndez. Te admiro mucho, por tu apoyo, confianza y amor soy quien soy el día de hoy, gracias a ti he logrado cumplir todas mis metas y sueños hasta ahora. Eres la mejor mamá del mundo, te amo y gracias por todo.

Para mi tío Javier Huesca, mis tías Ana Berta Huesca y Bety Huesca, agradezco infinitamente su confianza, cariño y apoyo que me han brindado a lo largo de toda mi vida, por estar ahí en los momentos difíciles y darme los mejores consejos.

RESUMEN

En los últimos años los arrecifes de coral, uno de los ecosistemas más ricos en biodiversidad y productividad, han sido sometidos a un estrés ambiental y antrópico muy significativo, generando diversas enfermedades que afectan de forma importante a dichos ecosistemas; el síndrome blanco es una de las enfermedades más recientes y peligrosas, afecta a más de 20 especies de corales masivos, siendo extremadamente infecciosa y mortal; los primeros reportes fueron en Florida en el 2014 y para la zona del Caribe fue en Puerto Morelos en el 2018, para el 2019 comenzaron los avistamientos en el parque Nacional Isla Contoy, en el arrecife Ixlaché, el cual, forma parte del Sistema Arrecifal Mesoamericano, por lo que es de suma importancia conocer el impacto de dicha enfermedad, para ello se realizaron 15 transectos por intercepto de puntos para estudio de cobertura y enfermedades coralinas, por medio de snorkel se midieron las colonias de masivas, se estimó el porcentaje de muerte antigua y muerte reciente, y se realizó videotransecto. Como resultado se comprobó que el síndrome blanco afecta a 12 especies masivas de Ixlaché. La cobertura coralina fue de 8.63%, del cual, únicamente el 32.52% es tejido vivo, el otro 67.48% es de tejido muerto. Se comprobó que el síndrome blanco tiene una prevalencia del 68.26% dentro del arrecife y mediante una estimación de la proporción, sabemos con un nivel del 95% de confianza que entre el 61.20% y el 75.32% de los corales masivos de Ixlaché están infectados con síndrome blanco.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y PUESTO DEL ESTUDIANTE.....	4
2.1 Datos de la institución	4
2.1.1 Organigrama.....	6
2.1.2 Misión.....	6
2.1.3 Visión.....	6
2.2 Estación de campo y departamento de monitoreo biológico	7
3. PROBLEMAS A RESOLVER.....	9
4. OBJETIVOS	9
4.1 Objetivo general	9
4.2 Objetivos específicos.....	9
5. JUSTIFICACIÓN	10
6. MARCO TEÓRICO	11
6.1 Los arrecifes de coral y su importancia.....	11
6.1.1 Corales pétreos o escleractinios	13
6.1.2 Corales masivos.....	15
6.2 Enfermedades coralinas	15
6.2.1 Síndrome blanco	17
6.2.2 Blanqueamiento.....	19
6.2.3 Banda blanca.....	20
6.3 Antecedentes de las afectaciones por síndrome blanco.....	21
6.4 Subzona de uso público Ixlaché.....	23
7. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.....	23
7.1 Muestreos de bentos y de enfermedades	23
7.2 Análisis de datos	27
7.3 Catálogo fotográfico.....	28
8. RESULTADOS	28
9. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN.....	32
10. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS.....	34
11. FUENTES DE INFORMACIÓN.....	35
12. ANEXOS.....	38

INTRODUCCIÓN

El Parque Nacional Isla Contoy fue la primera área natural protegida del estado de Quintana Roo, decretándose en 1998 el polígono, con un área total de superficie terrestre y la porción marina circundante de 5 mil 126 hectáreas (SEMARNAT & CONANP, 2015). Se encuentra dentro del municipio de Isla Mujeres, en la costa noreste de la Península de Yucatán, exactamente en el límite del Golfo de México y el Mar Caribe, siendo punto terminal del sistema arrecifal que bordea la costa oriental de la península de Yucatán, formando parte del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM) (SEMARNAT & CONANP, 2015).

El síndrome blanco es una enfermedad que afecta a más de 20 especies de corales masivos; es prácticamente reciente, se reportaron los primeros casos en los arrecifes de Florida en 2014, pero hasta 2018 se describieron los primeros casos en la zona del Mar Caribe (Alvarez-Filip, Estrada-Saldívar, Pérez-Cervantes, & Molina-Hernández, 2019). Esta enfermedad es altamente infecciosa y mortal, ya que puede acabar con una colonia entera en días y hasta con el 30% de una comunidad en 6 meses (Alvarez-Filip, Estrada-Saldívar, Pérez-Cervantes, & Molina-Hernández, 2019; Castañeda-Chávez, Lango-Reynoso, & García-Fuentes, 2018). Su principal característica son lesiones por pérdida de tejido que dejan expuesto el esqueleto de carbonato de calcio, estas lesiones pueden ser focales o multifocales (Castañeda-Chávez, Lango-Reynoso, & García-Fuentes, 2018). Por lo tanto, si se sabe que el síndrome blanco es una enfermedad que puede acabar con el 30% del tejido vivo de una colonia de coral en 6 meses, se espera que del 2019 al 2021 haya una pérdida de cobertura

coralina del 90% en los corales masivos del arrecife Ixlaché del PNIC (Laurie, Courtney, & Harvell, 2008; SOMAC, S.f.).

El objetivo de este trabajo es determinar el impacto del síndrome blanco de los corales masivos del PNIC aplicando métodos AGRRA para evaluación de la pérdida de cobertura coralina y estudios de enfermedades coralinas. Para ello, se realizaron 15 videotransectos por intercepto de puntos y se registraron todas las colonias de corales masivos, identificando a nivel especie, midiéndolos, estimando el porcentaje de muerte antigua y muerte reciente. Con los resultados obtenidos, se podrán implementar monitoreos permanentes para conocer el impacto real de la enfermedad a través del tiempo y realizar planes de restauración para las áreas más dañadas, así favorecer la resiliencia de los arrecifes de esta ANP.

JUSTIFICACIÓN

El síndrome blanco es una enfermedad que daña el tejido de los corales; afecta más de 20 especies y principalmente a corales masivos, los cuales son constructores de arrecifes, siendo estos, de los ecosistemas más importantes en cuanto a biodiversidad, productividad y servicios ambientales. En 2018 comenzaron los registros de esa enfermedad en el Caribe mexicano, así, en solo 6 meses ya había acabado con el 30% de los corales de las especies susceptibles a esta enfermedad, afectando la biodiversidad de los ecosistemas y con ella las actividades económicas que sustentan a la sociedad como la pesca

y principalmente al turismo. En el Parque Nacional Isla Contoy, se encuentra el arrecife Ixlaché en la parte sur del polígono, qué, a su vez, es el extremo norte del Sistema Arrecifal Mesoamericano, por ende, es un punto de gran importancia para el turismo y la preservación de la biodiversidad, que de igual forma ha sido extremadamente afectada por esta enfermedad. Por lo anterior, es de suma importancia determinar el avance del síndrome blanco de los corales masivos del PNIC y evaluar la pérdida de cobertura coralina, con ello, se podrán implementar monitoreos permanentes para conocer el impacto real de la enfermedad a través del tiempo y realizar planes de restauración para las áreas más dañadas, así favorecer la resiliencia de los arrecifes de esta ANP.

LIMITACIONES

Las principales limitaciones de este proyecto fueron la falta de insumos de gas para las embarcaciones, necesarias para traslado de la estación al arrecife dónde se llevaron a cabo los muestreos, así como la ausencia de equipo scuba, recomendado para el uso de metodologías de AGRRRA para estudio de bentos y de arrecife, las cuales fueron la base metodológica de este proyecto.

Ambas limitaciones se resolvieron con la realización de los muestreos en actividades establecidas del ANP como supervisión de actividades turísticas, recorridos de desalojo de embarcaciones pesqueras y campañas de captura de pez león; mientras que la metodología se tuvo que modificar para realizar con equipo de buceo libre o snorkel.

ALCANCES

Este proyecto forma parte del monitoreo biológico del Parque Nacional Isla Contoy. La principal problemática es la presencia del síndrome blanco en los corales masivos del arrecife Ixlaché; esta investigación da la pauta para realizar monitoreos permanentes del arrecife y de esta enfermedad, así se conocerá el estado del ecosistema y el impacto del síndrome blanco a través del tiempo, por lo que se podrán implementar estrategias de restauración para favorecer la resiliencia de los corales del Parque Nacional Isla Contoy.

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y PUESTO DEL ESTUDIANTE

2.1 Datos de la institución

La Comisión Nacional de Áreas Natural Protegidas (CONANP) trabaja por conservar el patrimonio natural de México y los procesos ecológicos de 182 Áreas Naturales Protegidas (ANP), conjuntando las metas de conservación con las de bienestar de los pobladores y los usuarios de estas. Las ANPS's son espacios marinos y terrestres que resguardan una variedad de seres vivos.

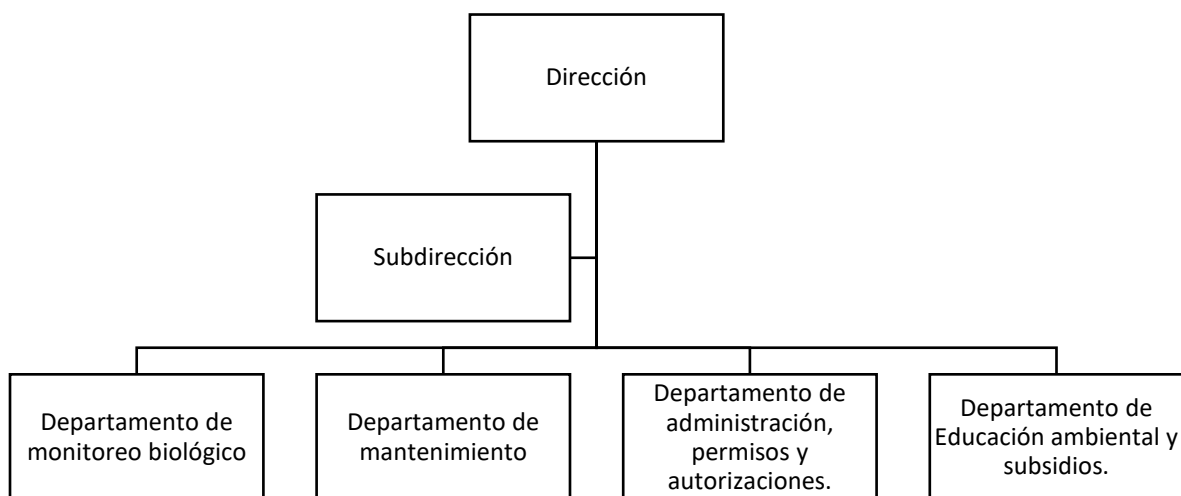
El Parque Nacional Isla Contoy (PNIC) se estableció mediante Decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación el 2 de febrero de 1998, por reunir condiciones naturales excepcionales, ya que es el punto terminal del sistema de arrecifes que bordea la costa oriental de la Península de Yucatán; es una de las pocas islas caribeñas que conserva prácticamente intactos sus ecosistemas terrestres y tiene una excelente representación de vegetación de duna costera y

de manglar en buen estado de conservación: mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle rojo (*Rhizophora mangle*), todas ellas especies amenazadas de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo; es, asimismo, una de las principales zonas de refugio y anidación de aves marinas y en especial, contiene la colonia más importante del llamado pelícano café (*Pelecanus occidentalis*), en la costa atlántica (DOF, 2015).

El PNIC se encuentra en el extremo norponiente del Canal de Yucatán, justo en el límite entre el Golfo de México y el Mar Caribe, en el extremo más septentrional del sistema insular del Caribe en México, con una superficie de 5,126-25-95 hectáreas (DOF, 2015)

Además de las características ambientales de la parte terrestre del PNIC, las aguas marinas que circundan a la Isla Contoy son un punto importante de reproducción de especies acuáticas o subacuáticas en peligro de extinción, como la tortuga marina de carey (*Eretmochelys imbricata*), tortuga marina caguama (*Caretta caretta*) y tortuga marina verde del Atlántico, tortuga blanca (*Chelonia mydas*), catalogadas en peligro de extinción, de conformidad con la Norma Oficial Mexicana antes citada, y cuentan también con valiosos recursos pesqueros como la langosta y el escribano, que aportan beneficios económicos a los habitantes de la región (DOF, 2015).

2.1.1 Organigrama



2.1.2 Misión

La CONANP contribuya a la preservación y sustentabilidad de ecosistemas y ambientes naturales, representativos de la diversidad biológica de México, mediante la planeación, gestión y administración efectiva, equitativa, honesta y transparente del sistema mexicano de Áreas Naturales Protegidas

2.1.3 Visión

Al año 2040, México se consolida como un país megadiverso líder, en el que su sociedad conoce y valora el sistema mexicano de Áreas Naturales Protegidas, por mantener el patrimonio biocultural y los servicios ambientales que son esenciales para el bienestar social y el desarrollo sustentable.

2.2 Estación de campo y departamento de monitoreo biológico

En la isla de Contoy no existen habitantes, únicamente los guardaparques, practicantes, así como voluntarios que trabajan en la estación de campo y los elementos de marina en estación de ENA Contoy en la parte norte de la isla. La estación de campo se encuentra en la subzona de uso público y centro de visitantes, comprende un polígono y abarca una superficie de 18.2145 hectáreas, ubicada en la porción central del Área Natural Protegida, al sur de Isla Contoy. Abarca las playas conocidas como Camping e Ixmapoit, así como el área marina comprendida entre éstas, el muelle, las instalaciones del centro de visitantes, la torre de observación y los senderos interpretativos terrestres. Dentro de las actividades de los practicantes están el mantenimiento general de la estación de campo, vigilancia desde torre, recorridos de vigilancia marina y supervisión de visitación, en las últimas tres lo principal es hacer cumplir las reglas y leyes del ANP.

El departamento de monitoreo biológico se divide en monitoreo de aves, tortugas marinas, control de pez león, control de palma de coco y control de acaro rojo. El monitoreo de aves se realiza una vez al mes, abarcando los siguientes puntos estratégicos de la isla: Laguna puerto viejo, Pajarera central, Laguna Punta sur, Laguna muerta y Cocopatos, en dichos monitoreos se identifican, cuentan y registran todas las aves que se avisten en dichos puntos estratégicos, su etapa de vida y su actividad.

El monitoreo de tortugas marinas, se realiza en las temporadas de anidación de las especies de tortugas Carey (*Eretmochelys imbricata*), Caguama (*Caretta caretta*) y Blanca o verde (*Chelonia mydas*) las cuales anidan en las playas que se distribuyen por toda la isla, estas son: punta sur, ostreros, garzas, Ixmapoit, camping, tortugas, cruces, dunas y el faro, en estos muestreos se cuentan, registran, ubican y se marcan en GPS los nidos de tortuga marina, en caso de encontrar nidos en zona de riesgo, se reubican en una zona más segura de la misma playa. Una vez eclosionados los nidos, se limpian y se realiza un recuento de cascarones vacíos, huevos sin desarrollo, tortugas muertas dentro de nido y tortugas vivas dentro de nido.

El control de Pez león se realiza una vez al mes, en puntos estratégicos dónde generalmente habita esta especie exótica invasora, los cuales son: arrecife los morros, piedras de punta sur, zona de pesca oeste, el “crater” frente a la laguna puerto viejo, fierros frente a CB y bajo el muelle del centro de visitantes. Los peces se pescan mediante hawaianas, con equipo de buceo libre snorkel, cada organismo extraído se le toma la longitud total, la longitud estándar, se pesa, se sexan mediante observación de gónadas y se revisa el contenido estomacal el cual se mide y se trata de identificar. Por último, los peses se filetean y se consume su carne para aprovechamiento de la especie.

En el control de palma de coco se recolectan todas las pencas de palma caídas de dicha palma, al igual que los cocos y se llevan a un punto específico dónde se realiza una quema controlada.

La principal medida para el control de acaro rojo es la constante fumigación con pesticidas poco invasivos que han demostrado su eficacia para eliminar la plaga de la palma de coco y de la palma chit, la cual se encuentra dentro la NOM-059 SEMARNAT 2010.

3. PROBLEMAS A RESOLVER

La principal problemática es la falta de un registro concreto del daño y avance de la enfermedad del síndrome blanco que afecta a los corales masivos del arrecife ixlaché en el Parque Nacional Isla Contoy.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Determinar el impacto del síndrome blanco de los corales masivos del Parque Nacional Isla Contoy mediante una evaluación de la pérdida de cobertura coralina.

4.2 Objetivos específicos

- Realizar una estimación de la proporción de corales masivos que se encuentran infectados con síndrome blanco en el arrecife Ixlaché.
- Evaluar el porcentaje de pérdida de cobertura por síndrome blanco, frente a otras enfermedades.

- Comparar el avance del síndrome blanco mediante el registro fotográfico obtenido en el proyecto realizado en 2019 con fotografías actuales de las mismas colonias.
- Realizar un catálogo fotográfico actualizado, reportando el avance del síndrome blanco en corales masivos del arrecife Ixlaché del Parque Nacional Isla Contoy.

5. JUSTIFICACIÓN

El síndrome blanco es una enfermedad que daña el tejido de los corales; afecta más de 20 especies y principalmente a corales masivos, los cuales son constructores de arrecifes, siendo estos, de los ecosistemas más importantes en cuanto a biodiversidad, productividad y servicios ambientales. En 2018 comenzaron los registros de esa enfermedad en el Caribe mexicano, así, en solo 6 meses ya había acabado con el 30% de los corales de las especies susceptibles a esta enfermedad, afectando la biodiversidad de los ecosistemas y con ella las actividades económicas que sustentan a la sociedad como la pesca y principalmente al turismo. En el Parque Nacional Isla Contoy, se encuentra el arrecife Ixlaché en la parte sur del polígono, qué, a su vez, es el extremo norte del Sistema Arrecifal Mesoamericano, por ende, es un punto de gran importancia para el turismo y la preservación de la biodiversidad, que de igual forma ha sido extremadamente afectada por esta enfermedad. Por lo anterior, es de suma importancia determinar el avance del síndrome blanco de los corales masivos del PNIC y evaluar la pérdida de cobertura coralina, con ello, se podrán implementar

monitoreos permanentes para conocer el impacto real de la enfermedad a través del tiempo y realizar planes de restauración para las áreas más dañadas, así favorecer la resiliencia de los arrecifes de esta ANP.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 Los arrecifes de coral y su importancia

Los arrecifes coralinos son estructuras calcáreas, formadas principalmente por corales escleractinios, las cuales sirven de sustrato para una enorme variedad de plantas y animales (Barnes, 1989). Estos se distribuyen en mares tropicales de todo el mundo, con aguas de alta transparencia, que permiten el paso de la luz del sol, necesaria para las algas simbiotes que viven en conjunto con los corales pétreos (Barnes, 1989).

Existen diferentes tipos o formaciones arrecifales; los arrecifes festonados o arrecifes costeros son los más comunes, se proyectan hacia el mar desde las playas, generalmente localizados en islas, pero también en zonas continentales (Barnes, 1989). Los arrecifes de plataforma son estructuras arrecifales que se encuentran separados de la masa continental por una laguna; los atolones o arrecifes de atolón descansan en la cumbre de volcanes sumergidos, tienen forma circular u ovada, en su centro se encuentra una laguna arrecifal, algunas partes de estos arrecifes puede emerger en forma de islas (Barnes, 1989). Estos tres tipos de arrecifes cuentan con un mismo perfil seccional, este consiste en un frente arrecifal inclinado, ubicado hacia mar abierto, recibiendo la mayor parte de la energía del oleaje, también se le denomina pendiente arrecifal; una cresta

arrecifal a poca profundidad, a veces emergente; y una plataforma arrecifal somera por detrás de la cresta (Barnes, 1989).

Los arrecifes de coral son los ecosistemas más productivos y con la mayor biodiversidad en el mundo (Ferrer, et al, 2016; Moberg & Folke, 1999). En estos ecosistemas se encuentra alrededor del 35% de toda la biodiversidad marina como poríferos, moluscos, equinodermos y algas marinas (Garza, S.f.). De igual manera, el 25% de todas las especies de peces marinos en el mundo viven en los arrecifes de coral, sin embargo, dichos ecosistemas solo ocupan el 1% de toda la superficie de la Tierra (Jameson, McManus, & Spalding, 1995; Ferrer, et al, 2016; Pizarro, Carrillo, & García-Rueda, 2014; Laurie, Courtney, & Harvell, 2008; Gill-Agudelo, y otros, 2009).

Los arrecifes de coral son famosos por su gran belleza, por esta razón existe una alta demanda turística, generando grandes recursos económicos a las poblaciones que dependen del turismo, también aportan otros beneficios económicos como la pesca, maricultura y la creación de grandes acuarios, esto debido a que las especies de peces importantes para cada una de estas actividades mantienen su ciclo de vida o al menos una parte de él dentro de los arrecifes coralinos (Duly, 1985; Ferrer, et al, 2016; Jameson, McManus, & Spalding, 1995; Edwards, 2007).

Se estima que los arrecifes generan alrededor de USD\$ 375 billones por año siendo de los ecosistemas más productivos (Romeu, 1995). Además, los arrecifes de coral brindan innumerables beneficios para el bienestar de las sociedades costeras en diferentes tiempos: a corto plazo brinda protección a la

línea de costa de marejadas y huracanes, fijan gran parte del CO₂ del ambiente liberando oxígeno y brindan alimento; a largo plazo principalmente detienen el ciclo de la erosión del suelo y ayudan a la formación de islas costeras (Ferrer, et al, 2016).

6.1.1 Corales pétreos o escleractinios

Los corales duros o escleractínicos se identifican debido a la capacidad de generar estructuras o esqueletos de carbonato de calcio (Barnes, 1989; Storer, Usinger, Stebbins, & Nybakken, 1986). Están formados por decenas de miles de pequeños organismos llamados pólipos, estos organismos llegan a medir de 1 a 3 mm de diámetro y son morfológicamente similares a una anémona: suaves y tubulares, con una abertura oral en la parte superior rodeada de pequeños tentáculos que normalmente están dispuestos en múltiplos de seis (Storer, Usinger, Stebbins, & Nybakken, 1986). Los pólipos secretan por su epidermis carbonato de calcio para formar una cubierta dura que los envuelve, llamada coralitos, esta estructura ofrece protección a los delicados cuerpos de los pólipos (Barnes, 1989; Storer, Usinger, Stebbins, & Nybakken, 1986).

Al ser organismos coloniales, los pólipos pueden reproducirse a sí mismos por gemación, los nuevos pólipos se fijan en la base de los progenitores, dando forma a la estructura coralina (Barnes, 1989). Cada pólipo se conecta internamente con la colonia mediante un tejido membranoso denominado coenosarco, de igual manera, la cavidad gastrointestinal de cada pólipo se conecta con la de los demás, formando un sistema común de canales gastrointestinales unido al

coenosarco, esto genera que la nutrición sea mejor y ayuda al crecimiento del coral (Barnes, 1989; Humann & DeLoach, 1992; Kayanne, 2016).

Los corales y las anemonas se alimentan de la misma forma, sus presas van desde pequeñas partículas que capturan por medio de películas mucosas que luego son empujadas a la boca por medio de cilios, por la noche, los tentáculos de todos los pólipos se extienden formando una red continua en donde desde el zooplancton hasta pequeños peces pueden hacer contacto, dependiendo del tamaño de los pólipos (Barnes, 1989).

Más del 60 géneros de corales escleractinios mantienen una relación simbiótica con una microalga denominada zooxantela, estas se encuentran en el interior de sus células gastrodérmicas, además de brindarle el color al coral, las algas simbiotas aportan diversos compuestos que ayudan a la nutrición de los pólipos, como el carbono en forma de glicerol, así como glucosa y alanina, todo producto de la fotosíntesis de las zooxantelas; estos compuestos también ayudan a la producción del carbonato de calcio (Barnes, 1989). Sin embargo, a pesar de que los fotosintatos producidos por las zooxantelas, satisfacen ciertas necesidades energéticas de los pólipos, no pueden depender de ello, ya que el zooplancton capturado aporta nitrógeno necesario que se recicla en la fotosíntesis; de esta forma, la zooxantela recibe protección y nutrientes que necesita para sobrevivir (Barnes, 1989).

6.1.2 Corales masivos

Los corales masivos se nombran de esta manera debido a su tipo de crecimiento y forma que adquiere la colonia, se caracterizan por cubrir la superficie dónde se asientan, con un crecimiento uniforme hasta envolver por completo dicha superficie (Krueger & Zangroniz, 2019; Humann & DeLoach, 1992). Dentro de esta clasificación del crecimiento también existen diferentes formas en las colonias, por ejemplo: colonias con crecimiento columnar, con forma de pilares o torres; con crecimiento foliáceo, con forma de hojas incrustadas en el sustrato; crecimiento nodular, con forma de dedos; también tienen crecimiento masivo, con forma de grandes domos o formas montañosas; por último, se encuentra el crecimiento de los corales cerebro, con formas semi esféricas o de grandes domos de hasta 4 m (Rodríguez-Troncoso & Tortolero-Langarica, 2014; Human, Reef Coral Identification Florida Caribbean and Bahamas., 1993). Debido a sus diferentes tipo de crecimiento y formas, estos corales formadores de arrecifes le dan una estructura compleja al mismo, lo que genera un hogar ideal para muchas especies de peces e invertebrados marinos, apoyando a la gran biodiversidad de estos ecosistemas (Krueger & Zangroniz, 2019).

6.2 Enfermedades coralinas

En las últimas décadas, las condiciones y las funciones de los arrecifes de coral han sufrido un declive debido a las enfermedades coralinas, sobrepesca y pérdida de herbívoros, eutroficación, sedimentación y cambio climático, el efecto de este, con el incremento gradual de las temperaturas, ha demostrado tener relación con la presencia de bacterias y otros agentes infecciosos que causan

enfermedades, afectando a las principales especies de corales escleractinios constructores de arrecifes, causando daños a la relación pólipo-simbionte-esqueleto, lo cual, ocasiona una serie de cambios en cadena del sistema natural, disminuyendo su resistencia y resiliencia (Alvarez-Filip, Estrada-Saldívar, Pérez-Cervantes, & Molina-Hernández, 2019; Castañeda-Chávez, Lango-Reynoso, & García-Fuentes, 2018; Cróquer & Bone, 2003; Mata, 2012; Wel, y otros, 2019).

Una enfermedad se entiende como cualquier discapacidad de interfiera o modifique con el desempeño normal de alguna función, como la respuesta al estrés ambiental, esto incluye nutrición, clima, agentes infecciosos o defectos congénitos; las enfermedades reaccionan mediante una relación entre el hospedero, el agente infeccioso y el ambiente, (Rodríguez, 2016; Laurie, Courtney, & Harvell, 2008). Las enfermedades coralinas se han incrementado significativamente, causando daños severos, principalmente en las comunidades arrecifales del Caribe (Alvarez-Filip, Estrada-Saldívar, Pérez-Cervantes, & Molina-Hernández, 2019). A nivel global, el Caribe es considerado como el “hot spot” de las enfermedades coralinas, cargando con el 66% de las afectaciones por las mismas, incluso, ha soportado 4 eventos epidémicos; a pesar de que solo cuenta con el 8% de la cobertura arrecifal en el mundo. (Alvarez-Filip, Estrada-Saldívar, Pérez-Cervantes, & Molina-Hernández, 2019; Cróquer & Bone, 2003; Ferrer, y otros, 2016; Laurie, Courtney, & Harvell, 2008; Rodríguez, 2016; Mata, 2012; Wel, y otros, 2019).

6.2.1 Síndrome blanco

El síndrome blanco, o Stony Coral Tissue Loss Disease (SCTLD) por su nombre en inglés, es una enfermedad prácticamente reciente, se reportaron los primeros casos en los arrecifes de Florida en 2014 justo después de un fuerte evento de blanqueamiento en el verano de ese mismo año, afectando a más de 20 especies de corales masivos, principales constructores de arrecifes (SOMAC, S.f.). Fue hasta el 2018 dónde se reportaron casos de dicha enfermedad para el caribe mexicano y su distribución actual va desde la península de Florida, hasta las Antillas menores; pasando por el caribe mexicano, incluyendo el Golfo de México y el arrecife de Alacranes (Alvarez-Filip, Estrada-Saldívar, Pérez-Cervantes, & Molina-Hernández, 2019; CONANP, 2019; Weli, y otros, 2019).

El síndrome blanco es una enfermedad extremadamente infecciosa, a la fecha no se sabe con certeza, quién o que causa esta enfermedad; se tienen reportes bacteriológicos dónde se ha visto organismos del género *Vibrio*, sin embargo, su sola presencia no es un factor que determine eficazmente que dichas bacterias la causa, también existe la posibilidad que sea una enfermedad viral o hasta eucarionte (Castañeda-Chávez, Lango-Reynoso, & García-Fuentes, 2018). Se transmite de un coral enfermo a uno sano en muy poco tiempo, pero no es la única vía de contagio ya que también se transmite por medio del agua y/o algún otro factor desconocido (Alvarez-Filip, Estrada-Saldívar, Pérez-Cervantes, & Molina-Hernández, 2019; Laurie, Courtney, & Harvell, 2008).

La principal característica son múltiples lesiones por pérdida de tejido de manera rápida (de 3 a 4 cm al día), dejando expuesto el esqueleto blanco de carbonato

de calcio, sin ningún tipo de pigmentación en el avance de las lesiones, el cual puede ser de forma lineal, circular o irregular (Fig. 1), tanto la circular como en la irregular no hay un punto específico de avance ya que pueden haber diferentes lesiones afectando a la misma colonia (Alvarez-Filip, Estrada-Saldívar, Pérez-Cervantes, & Molina-Hernández, 2019; Bruckner, 2009; Doyle, O'Sullivan, & CFI, 2019; Laurie, Courtney, & Harvell, 2008; Krueger & Zangroniz, 2019; SOMAC, S.f.; Weli, y otros, 2019).

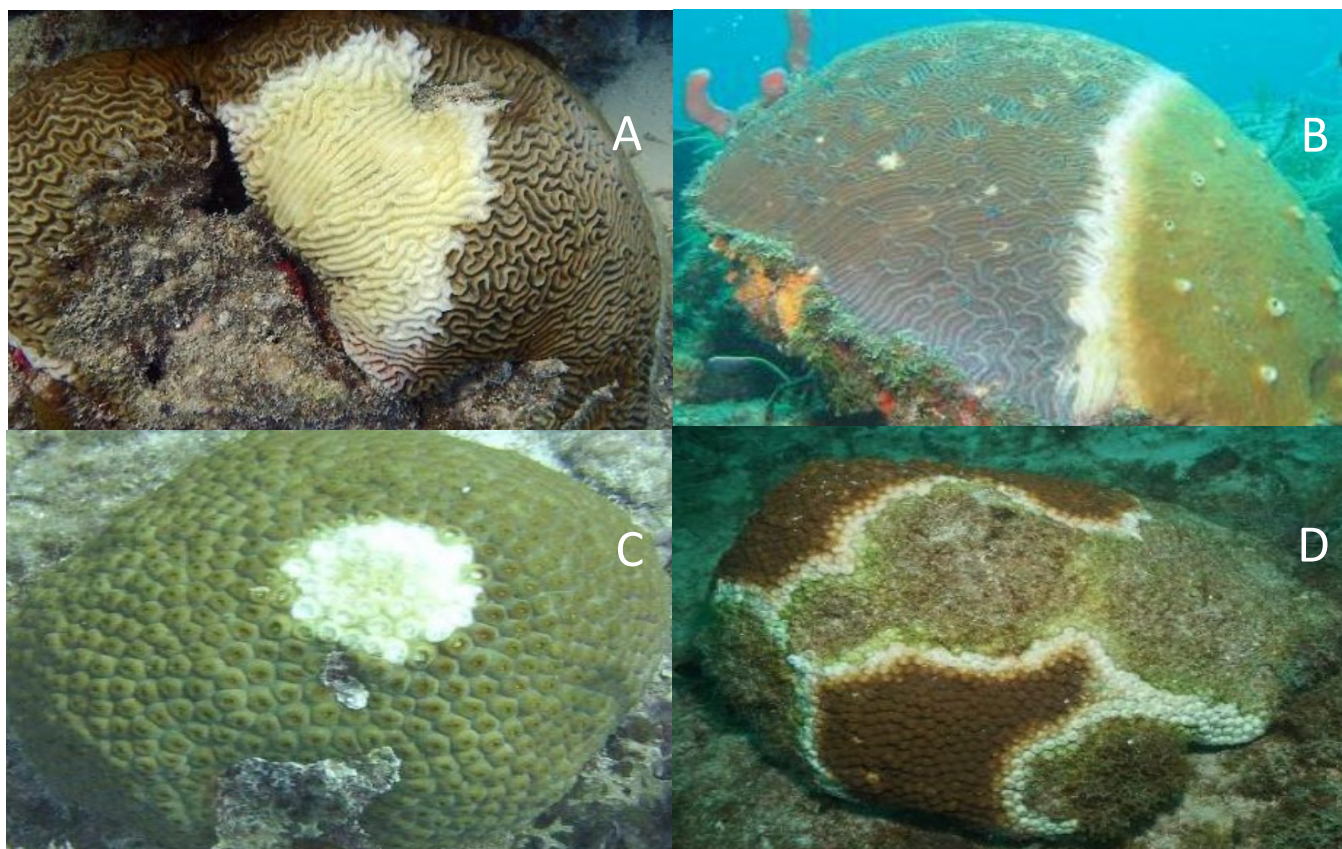


Fig. 1 Corales infectados por síndrome blanco o SCLTD. A: PSTR (*Pseudodiploria strigosa*) infectado por síndrome blanco. B: Síndrome blanco en DLAB (*Diploria labyrinthiformis*) con avance lineal. C: Síndrome blanco con avance circular en MCAV (*Montastraea cavernosa*). D: MCAV (*Montastraea cavernosa*) infectado por síndrome blanco con avance irregular. Fotografías tomadas de Krueger & Zangroniz, 2019

6.2.2 Blanqueamiento

El blanqueamiento de coral es una de las enfermedades que más mortalidad ha ocasionado en colonias de todo el mundo (Padilla, Alfita-Vázquez, & Andreu-Montalvo, 2009). Los reportes de blanqueamiento se remontan a 1870, pero desde 1980 las incidencias se han vuelto más frecuentes y severas, demostrando que no es un fenómeno totalmente natural y tiene que ver con el incremento en la temperatura global que desde entonces se ha incrementado (Westmacott, Teleki, Wells, & West, 2019; Ferrer, y otros, 2016).

Los corales se 'blanquean' (se ponen pálidos o pierden su color) debido a la pérdida o degradación de las zoxantellas, algas simbiotes que viven dentro de los pólipos del coral, las cuales, le dan el color a los mismos; durante el blanqueamiento los corales pueden perder hasta el 90 % de sus zoxantellas y las restantes pueden perder el 80% de sus pigmentos fotosintéticos (Gómez-Campo, y otros, 2011; Westmacott, Teleki, Wells, & West, 2019). Esto sucede como respuesta a un factor de estrés que experimenta el organismo, estas tensiones pueden ser tanto naturales como antrópicas (Padilla, Alfita-Vázquez, & Andreu-Montalvo, 2009). Numerosas evidencias indican que los grandes eventos de blanqueamiento en el mundo están relacionados principalmente con el incremento en la temperatura superficial del mar, pero también con niveles altos de radiación UV, bajas o altas condiciones de luz, turbidez, sedimentación, enfermedades bacterianas o virales, salinidad anormal y contaminación (Padilla, Alfita-Vázquez, & Andreu-Montalvo, 2009). Un incremento de la temperatura local de 1° C. durante un tiempo prolongado pueden provocar eventos de

blanqueamiento masivo debido a que los corales viven en el límite térmico máximo tolerable (Gómez-Campo, y otros, 2011; Westmacott, Teleki, Wells, & West, 2019).



Fig. 2 SSID (*Siderastrea siderea*) blanqueado con avance multifocal. Fotografía tomada de

El blanqueamiento se puede identificar con lesiones focales o multifocales de tejido pálido o totalmente blanco (Fig. 2), el tejido está presente, pero con pigmentación reducido o ausente, esta enfermedad puede afectar a toda la colonia, la parte superior, la base e incluso con parches discretos y dispersos, los cuales pueden ser confundidos con lesiones de síndrome blanco (Bruckner, 2009; Laurie, Courtney, & Harvell, 2008).

6.2.3 Banda blanca

Esta enfermedad fue descrita en un inicio por Gladfelter (1982). Es similar al síndrome blanco, sin embargo, afecta únicamente a corales Acroporideos (*Acropora palmata* y *Acropora cervicornis*) en el mar Caribe, con un único registro fuera de la zona, por Antonius (1988) en el mar Rojo (Bruckner, 2009; Gill-

Agudelo, y otros, 2009). La característica principal de esta enfermedad es una banda con avance lineal o multifocal de reciente pérdida de tejido con esqueleto expuesto de 2 a 10 cm la cual avanza de la base a la punta de las ramificaciones (Fig. 3), causando eventualmente la muerte del coral; dicha banda separa el tejido sano del coral muerto, colonizado por principalmente por algas (Bruckner, 2009; Laurie, Courtney, & Harvell, 2008; Gill-Agudelo, y otros, 2009; Rodríguez, 2016).



Fig. 3 APAL (*Acropora palmata*) afectado por Banda blanca de avance multifocal. Fotografía tomada de Bruckner, 2009.

6.3 Antecedentes de las afectaciones por síndrome blanco

Neely, 2020 reporta que, en Florida, se monitorearon 7,304 colonias afectadas por SCTLD en 19 puntos a lo largo de la península, el diámetro promedio fue de 110 cm. Dichas colonias fueron sometidas a tratamientos para frenar y mitigar la enfermedad las especies más tratadas fueron *Orbecella faveolata* (35%), *Montastraea cavernosa* (22%) y *Colpophyllia natans* (15%). En cuanto al resultado de los tratamientos reportan que el tratamiento por Resina clorificada fue ineficaz, las lesiones no frenaron. De igual forma, con productos no-

antibióticos experimentales las colonias no sanaron la enfermedad. Mientras que el tratamiento de pasta de amoxicilina probó ser efectivo para sanar la enfermedad.

Wil, et al. 2019 reportan en diversos puntos de Puerto rico que entre marzo y noviembre del 2019 se observaron avances significativos de SCTLD en colonias de corales masivos, de igual forma, determinaron que, dependiendo del clima y la temperatura del agua, el avance de la enfermedad puede variar de focal y lineal a multifocal en algunas especies.

Alvarez-Filip, Estrada-Saldívar, Pérez-Cervantes, & Molina-Hernández, 2019 reportaron que al menos en 82 arrecifes del Caribe mexicano, el 40% tiene SCTLD con una prevalencia del 10% o mayor. El SCTLD tiene un alto rango de hospederos, Alvarez-Filip, et al. Mencionan que 24 de 46 especies registradas presentan síntomas de SCTLD con una alta prevalencia en la enfermedad.

González-González, et al. 2019 reporta que, en entrevistas a prestadores de servicios turísticos, de 3 ANP del Caribe Mexicano (Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc) y el 39.3% manifestó haber visto de 1 a 3 colonias afectadas por SCTLD. Las 3 especies con daños más significativos fueron *Pseudodiploria strigosa*, *Orbicella annularis* y *Orbicella carvernosa*. Se reportó una pérdida importante de cobertura coralina y una colonización principalmente por esponjas *Siphonodictyon coralliphagum*. De igual forma, observaron una correlación entre las afectaciones del arrecife y la deficiencia en pesca de langosta y camarón en diversas zonas de Quintana Roo.

6.4 Subzona de uso público Ixlaché

Es una zona con una superficie de 8.3927 hectáreas, localizado al sur del PNIC, abarca una porción de arenales de la laguna arrecifal y la cara posterior del arrecife Ixlaché, el cual es parte del Sistema Arrecifal Mesoamericano (SAM); la diversidad de corales duros y blandos es mayor en esta subzona comparado con el resto de la isla (SEMARNAT & CONANP, 2015). La mayor abundancia de corales blandos son del género *Eunicea*, mientras la mayor abundancia y cobertura de corales duros es de coral estrella (*Siderastrea siderea*) y el coral mostaza (*Porites astroides*) (SEMARNAT & CONANP, 2015).

Debido a las características anteriormente mencionadas, esta subzona representa un atractivo para las y los visitantes, en la que actualmente se realiza el nado con equipo de flotación y el tránsito, así como fondeo de embarcaciones en los sitios señalados para tal efecto (SEMARNAT & CONANP, 2015).

7. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

7.1 Muestreos de bentos y de enfermedades

Se realizaron 7 muestreos como parte de los monitoreos del personal del ANP, se llevarán a cabo en la zona del arrecife Ixlaché, del Parque Nacional Isla Contoy (fig. 4). Se aplicó metodología de AGRRA para estudio de bentos, así como para blanqueamiento de coral descritos en el Protocolo de monitoreo de biodiversidad

marina en Áreas Naturales Protegidas del Caribe mexicano (Perera-Valderrama, Cardeira-Estrada, Martell-Dubois, Rosique, & Caballero-Aragón, 2020).

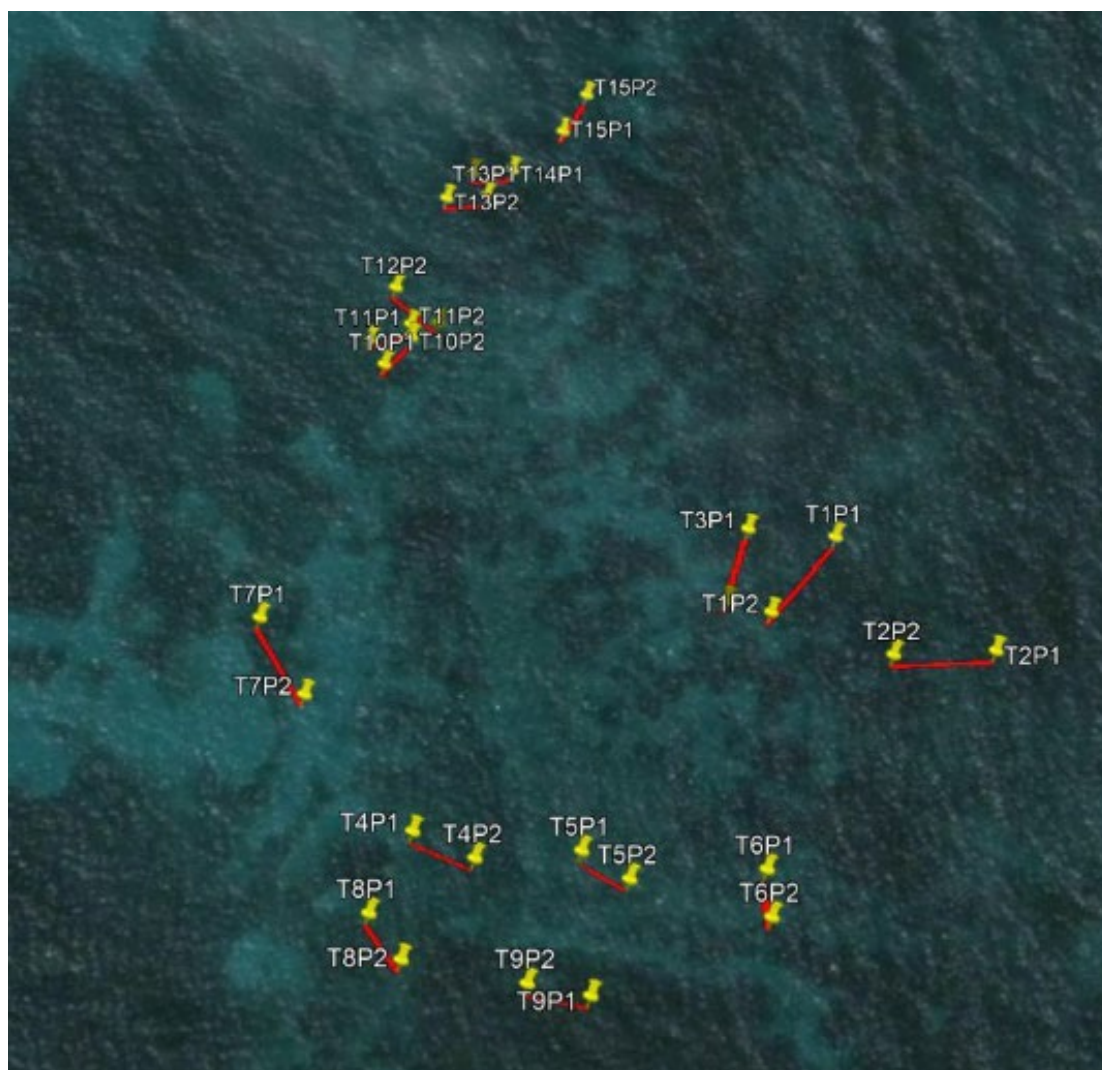


Fig. 4 Subzona de uso público Ixlaché, dónde se realizaron 15 transectos por intercepto de puntos.

Se utilizó el método de transecto de intercepto de puntos (fig. 5), siguiendo el protocolo AGRRA para cobertura de coral vivo. Por cada monitoreo, se lanzaron de 1 a 3 transectos lineales de 10 m de largo sin cruzarlos, evitando grandes parches de arena, en total se lanzaron 15 transectos marcado cada 10 cm, y el

sustrato que se encuentre debajo de la línea se registró mediante un videotransecto tomado con una cámara GoPro Hero 7 Black.

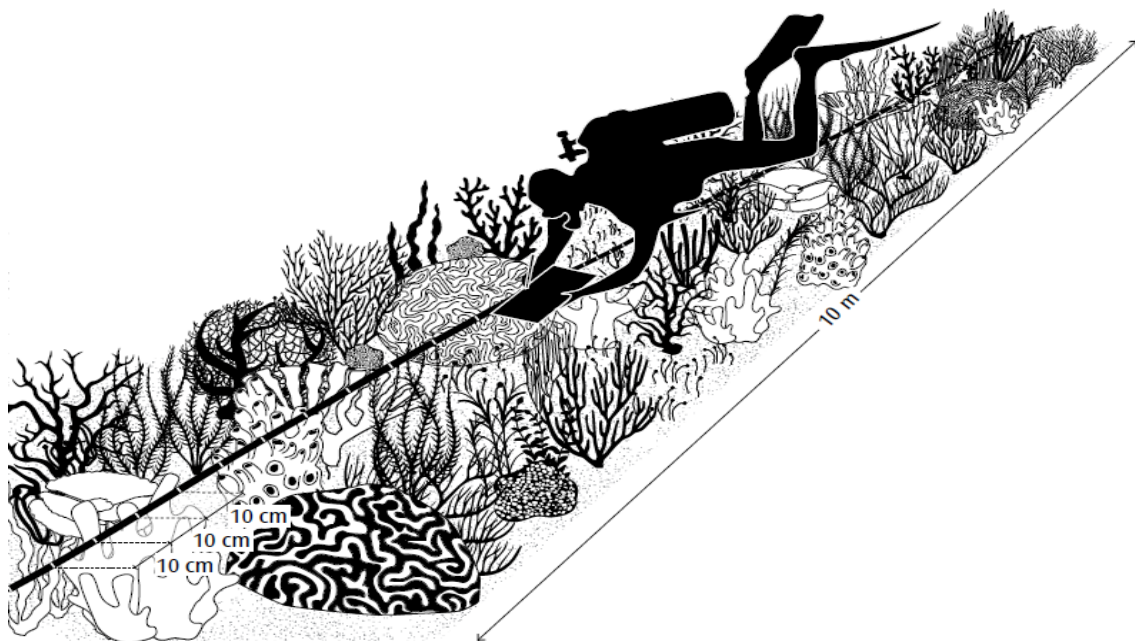


Fig. 5 Transecto por intercepto de puntos para estudio AGRRA de bentos. Ilustración tomada de Perera-Valderrama, Cardeira-Estrada, Martell-Dubois, Rosique, & Caballero-Aragón, 2020.

Para el método de enfermedades en coralinas de AGRRA, se utilizaron los mismos transectos anteriormente mencionados, ambos muestreos se realizarán simultáneamente. Se anotaron en tablas de acrílico todas las colonias >5 cm que aparezca debajo del transecto, con una amplitud de 1 m hacia cada lado; se tomaron datos como especie; el tipo de enfermedad de tenga el coral, enfocándose principalmente en el síndrome blanco; diámetro máximo; diámetro

perpendicular; altura; porcentaje estimado de muerte reciente por síndrome blanco; porcentaje estimado de muerte antigua (Tabla 1.).

Tabla 1. Cuadro de datos para estudio AGRRA de enfermedades coralinas

Ubicación transecto	Especie	Enfermedad	Profundidad	Diámetro Máximo	Diámetro perpendicular	Altura	% Muerte antigua	% Muerte reciente

Este cuadro de datos se anotó en tablas de acrílico para llenarse con los datos de los muestreos bajo el agua. Tabla obtenida de Perera-Valderrama, Carreira-Estrada, Martell-Dubois, Rosique, & Caballero-Aragón, 2020.

En los muestreos, se observó detenidamente a cada colonia para identificar la especie, las que no fuera posible identificarlas, se les tomó fotografías para realizar fotoidentificación más tarde; se identificó la enfermedad de cada colonia y se midió el diámetro máximo, diámetro perpendicular y la altura (fig. 6) con una cinta métrica de 1.5 m. Por último, se sacó un estimado del % de muerte antigua (con algas u otros organismos asentados en el esqueleto) y de muerte reciente (esqueleto calcáreo expuesto).

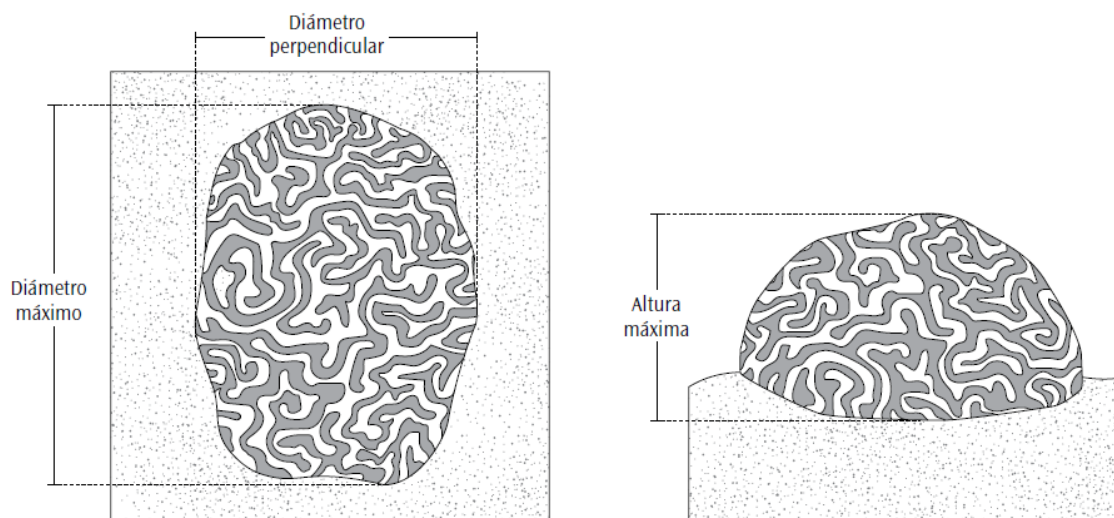


Fig. 6 Ejemplo de cómo se debe medir el diámetro máximo, perpendicular y la altura de las colonias coralinas para estudio ARRA de enfermedades. Ilustración tomada de Perera-Valderrama, Cardeira-Estrada, Martell-Dubois, Rosique, & Caballero-Aragón, 2020.

7.2 Análisis de datos

Una vez realizados los muestreos, toda la información anotada en las tablas de acrílico de los muestreos de enfermedades coralinas se capturó en una matriz realizada en una hoja de cálculo en Microsoft Excel. Una vez teniendo la base de datos completa, se procedió a determinar la proporción de corales infectados por síndrome blanco en todo el arrecife Ixlaché con un intervalo de confianza del 95%. También se calculó el porcentaje de prevalencia del síndrome blanco, este se obtuvo con el total de colonias con síndrome blanco divididas entre el número total de colonias contadas multiplicado por 100.

Mientras que para el muestreo de bentos, se analizaron los videotransectos y con ayuda de guías ilustradas como *Marine Plants of the Caribbean* (Littler, Littler, Bucher, & Norris, 1989), *Reef Coral Identification* (Human, Reef Coral

Identification Florida Caribbean and Bahamas., 1993) y *Reef Creature Identification* (Human, 1994) se identificaron todas las especies de flora y fauna del bentos; los datos obtenidos de los videotransectos se capturaron en una matriz de Microsoft Excel y se obtuvo el porcentaje total de cada grupo funcional encontrado para conocer la abundancia en el bentos y extrapolarlo a todo el arrecife.

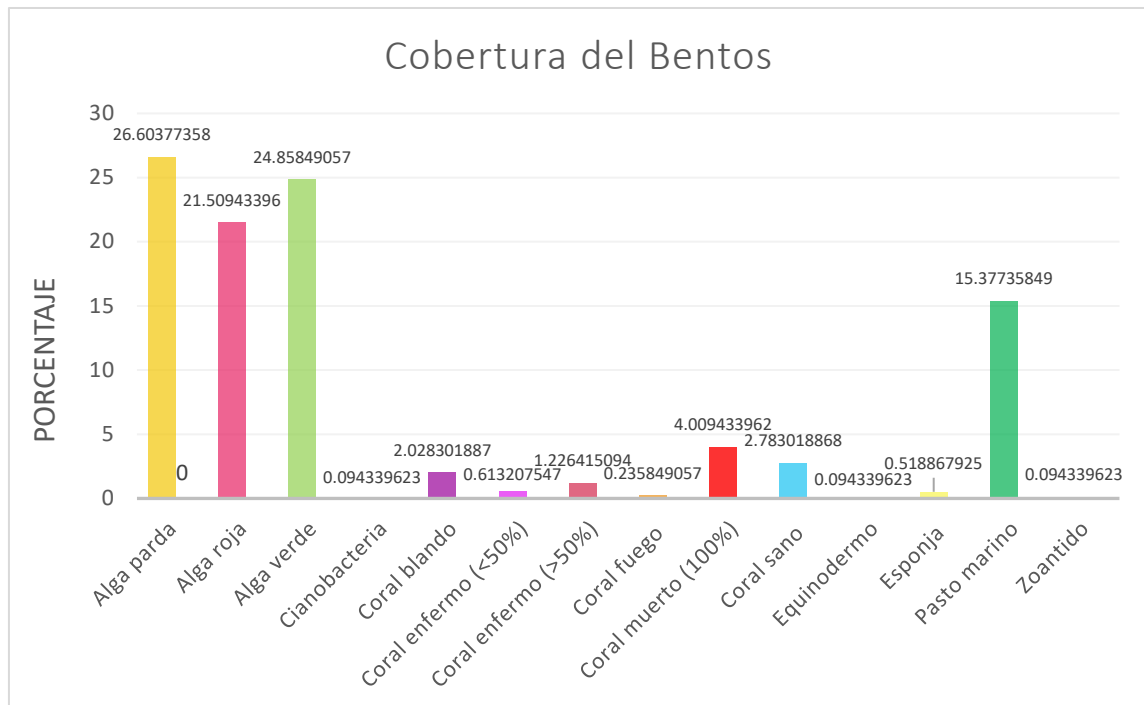
7.3 Catálogo fotográfico

Se tomaron fotografías a los corales con enfermedad más evidente de cada transecto (ANEXO A). De igual forma, se le tomaron fotografías a los mismos corales que se estudiaron según lo reportan en "MONITOREO DE SINDROME BLANCO EN EL ARRECIFE IXLACHÉ DEL PARQUE NACIONAL ISLA CONTOY" por Juárez & Fuentes, 2019 para comparar el avance del síndrome blanco en dichas colonias (ANEXO B).

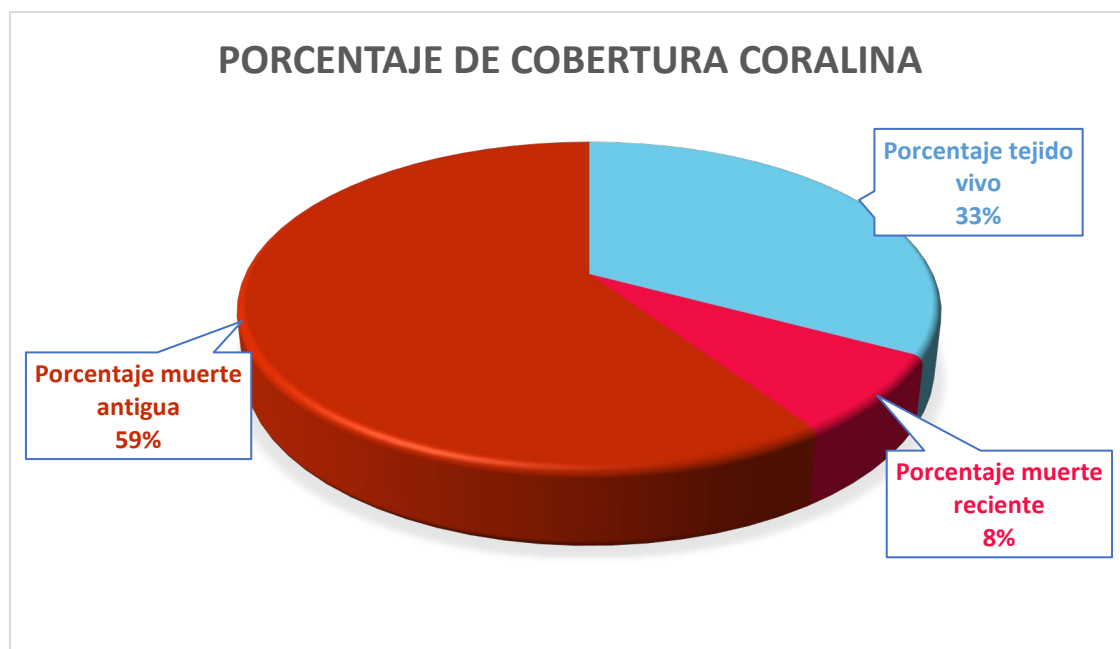
8. RESULTADOS

En el estudio de cobertura coralina se encontraron 83 especies pertenecientes a diferentes grupos funcionales. La cobertura del arrecife está mayormente cubierta por algas, y plantas marinas (Grafica 1). En cuanto a los corales se cuentan con 4% de coral muerto, 0.6% de coral enfermo con tejido vivo mayor al 50% y 1.2% de corales enfermos con tejido vivo menor al 50% y de coral sano se encontró solo 2.7% (Grafica 1) en total, el porcentaje de cobertura coralina fue

de **8.63%**, del cual, únicamente el **32.52%** es tejido vivo, el otro **67.48%** de cobertura se divide en muerte antigua y muerte reciente por síndrome blanco (Grafica 2).

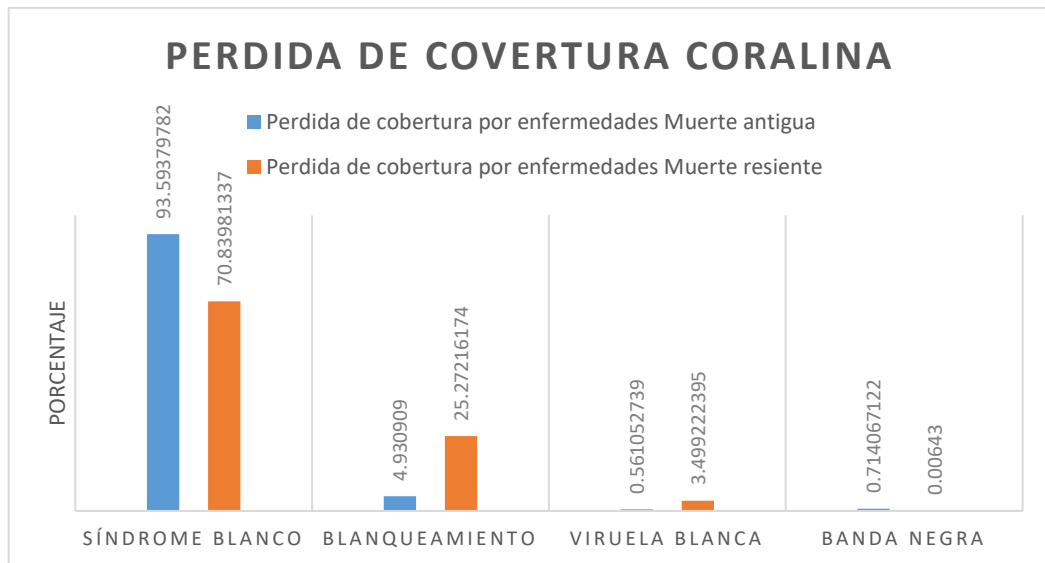


Grafica 1. Porcentaje de cobertura del bentos por grupos funcionales.

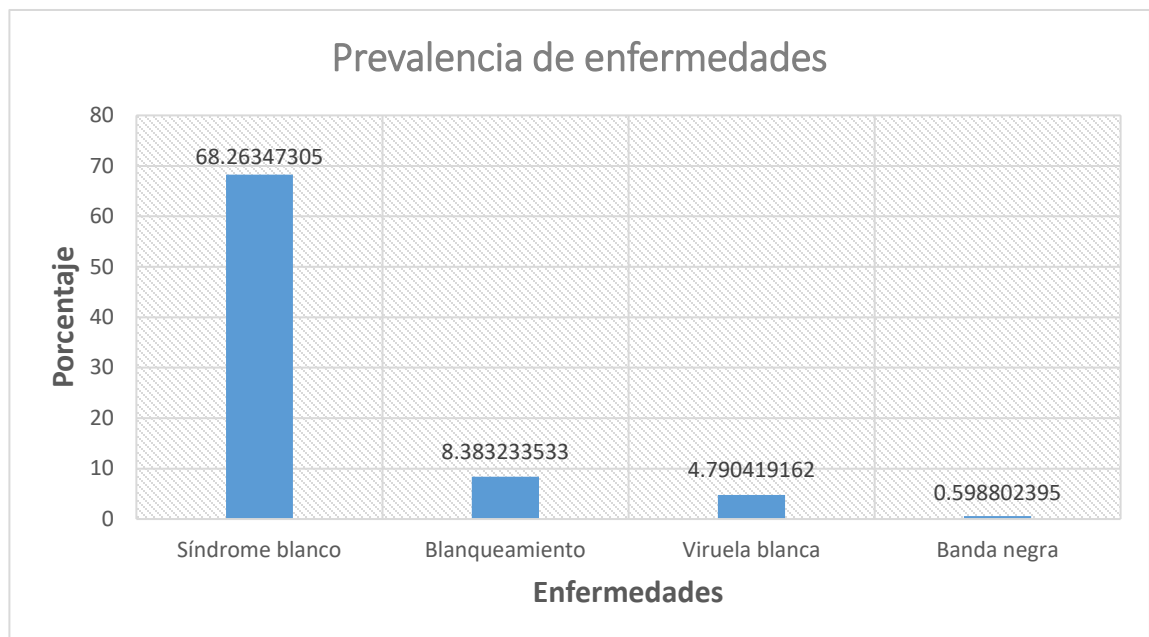


Grafica 2. Porcentaje del estado de la cobertura coralina.

Mediante el análisis de los porcentajes de muerte antigua y muerte reciente de los corales se comprobó que del 59% de cobertura coralina que equivale a la muerte antigua, el 93% es a causa del síndrome blanco, el 4.9% por blanqueamiento, el 0.7% por banda negra y el 0.6% por viruela blanca; mientras que del 8% de pérdida de cobertura por muerte reciente, el 70.8% es por síndrome blanco, el 25% por blanqueamiento el 3% por viruela blanca y poco mas del 0% por banda negra (Grafica 3). Mediante el calculo de prevalencia de las enfermedades se demostro que el síndrome blanco tiene el 68%, el blanqueamiento tiene el 8% , la viruela blanca el 4% y la banda negra el 0.6% (Grafica 4) esto nos indica el porcentaje para que una enfermedad perdure y continúe presente en una población.



Grafica 3. Porcentaje de la perdida de cobertura coralina por enfermedades. Se puede observar que los mayores porcentajes de pérdida coralina son causados por el síndrome blanco.



Grafica 4. Nos muestra que hay una probabilidad del 68% de que el síndrome blanco perdure más tiempo en el arrecife Ixlaché.

Para conocer el estado del arrecife en cuanto a corales infectados por síndrome blanco, se realizó una estimación de la proporción, con la fórmula:

$$\pi = p \pm z\sqrt{\frac{pq}{n}} \quad \text{donde:}$$

π = Estimación de la proporción de una población

$$p = \text{Fragmento de la muestra} = \frac{114}{167} = 0.6826$$

$$z = \text{Función de distribución normal por intervalo de confianza} = z(0.95) = 1.96$$

$$q = \text{Margen de error} = 1 - 0.6826 = 0.3173$$

$$n = \text{Número total de la muestra} = 167$$

$$\text{Sustituyendo los valores: } \pi = 0.6826 \pm 1.96\sqrt{\frac{(0.6826)(0.3173)}{167}}$$

$$\pi = 0.6826 \pm 0.0705$$

$$0.6120 << \pi >> 0.7532$$

Por lo tanto, podemos asegurar con un 95% de confianza que entre el **61.20%** y el **75.32%** de los corales masivos del arrecife Ixlaché están infectados con síndrome blanco.

Mediante la comparación visual de las colonias muestreadas por Juárez & Fuentes, 2019 (ANEXO B) del arrecife Ixlaché se demostró que el 98% de dichos corales infectados por síndrome blanco murieron hace tiempo, todos presentando rasgos de muerte antigua como asentamiento de algas y otros organismos

9. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

Se demostró que la cobertura coralina de los corales masivos del arrecife Ixlaché está muy deteriorada, con solo el 33% de tejido vivo, esto ocasionado por diversas enfermedades, como blanqueamiento, viruela blanda, banda negra

pero principalmente por el síndrome blanco, dicha enfermedad, con una alta prevalencia dentro del arrecife y un alto nivel de contagio, ha afectado a 12 especies de corales masivos e infectado a más del 50% de las colonias susceptibles a esa enfermedad en el arrecife.

Con la observación de los corales registrados y marcados por Juárez & Fuentes, 2019 se demostró que la aplicación de medicamento para síndrome blanco de amoxicilina no fue efectivo ya que, en sólo 2 años, el 98% de dichas colonias de más de 1 m de diámetro máximo están totalmente muertas. Esto nos dice que las colonias de ixaché están siendo sometidas a un estrés ambiental que disminuye considerablemente la resistencia y resiliencia de las comunidades de corales masivos en el arrecife.

Sin embargo, sólo realizando un estudio de cobertura no se puede saber el estado real y el verdadero impacto que tiene el síndrome blanco en el arrecife, por lo que es necesario implementar un monitoreo sistemático, integral y permanente en el PNIC que incluya cobertura del bentos, enfermedades de arrecife y monitoreo de peces, todo con base en métodos de AGRRA para obtener datos a través del tiempo, también se pueden colocar trampas de sedimento en sitios estratégicos como el área de uso público para conocer el impacto que tiene el paso de embarcaciones y turistas. Dichos muestreos se podrían hacer de manera trimestral en los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre, de esta forma se pueden abarcar diferentes estaciones del año con diferentes climas y diferente dinámica oceánica.

Con lo anterior se podrán plantear mejores metodologías para restauración arrecifal en conjunto con el personal del Centro Regional de Investigación Acuícola y Pesquera, INAPESCA, de Puerto Morelos. Diversificando las especies restauradas, aumentando los genotipos de las especies que actualmente se están restaurando, realizando colecta de gametos para reclutas sexuales e implementando un plan de rescate para colonias infectadas con síndrome blanco.

10. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS

Durante las residencias profesionales se aplicaron competencias obtenidas a lo largo de la carrera como conocimientos generales de biología, anatomía, ecología, etología, manejo y biometrías de diversas especies animales y vegetales que habitan la isla, también la dinámica oceánica y diversas competencias de oficina como Excel, Word y otras funciones de cómputo; así como las obtenidas durante servicio social como la ubicación, marcaje y rescate de nidos de tortuga marina. También se aplicaron competencias obtenidas de manera personal como el nado con snorkel, abneas, fileteo de pez león y buceo con equipo scuba y manejo de grupos de turistas.

Mientras que se obtuvieron competencias sobre vigilancia de un ANP, desalojos de embarcaciones particulares y de pesca furtiva, así como decomiso de arte de pesca ilegales, pesca de pez león, actividades de marinería, manejo de embarcaciones menores con motor fuera de borda y nudos empleados en estas prácticas, identificación y avistamientos de aves marinas, identificación visual, medición de corales pétreos y sus enfermedades. De igual forma se obtuvieron

competencias de supervivencia, manejo de actividades de campo como caminatas largas, noches al aire libre y estancia en lugares aislados sin electricidad, señal y agua potable.

11. FUENTES DE INFORMACIÓN

- Alvarez-Filip, L., Estrada-Saldívar, N., Pérez-Cervantes, E., & Molina-Hernández, A. &.-B. (2019). *A rapid spread of the stony coral tissue loss disease outbreak in the Mexican Caribbean*. Puerto Morelos, Quintana Roo, México: Unidad Académica de Sistemas Arrecifales, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Barnes, R. (1989). *Zoología de los Invertebrados*. Pennsylvania: Interamericana McGraw-Hill.
- Bruckner, A. (2009). *Field Guide to western atlantic coral diseases*. USA: NOAA Coral reef conservation program.
- Castañeda-Chávez, M., Lango-Reynoso, F., & García-Fuentes, J. &.-A. (2018). *Bacteria that affects coral health with an emphasis on the Gulf of Mexico and Caribbean Sea*. Boca del Río, Veracruz, México: Instituto Tecnológico de Boca del Río.
- CONANP. (2019). *Plan de Acción del Síndrome Blanco en Arrecifes del Caribe Mexicano*. México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- Cróquer, A., & Bone, D. (2003). *Las enfermedades en corales escleractínidos: ¿Un nuevo problema en el arrecife de Cayo Sombrero, Parque Nacional Morrocoy, Venezuela?* Venezuela: Universidad Simón Bolívar.
- DOF. (09 de julio de 2015). *Acuerdo por el que se da a conocer el resumen del Programa de Manejo del Parque Nacional Isla Contoy*. Obtenido de dof: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5399984&fecha=09/07/2015
- Doyle, E., O'Sullivan, C., & CFI. (2019). *Stony coral tissue loss disease template monitoring and response action plan for caribbean marine natural resource managers (version 2)*. Key West, Florida, USA.: NOAA Coral reef conservation program.
- Duly, F. (1985). *ATLAS OF THE LIVING REEFS*. Amsterdam: UNitGAVEN NATUURWETENSCHAPPELIJKE STUDTEKRING VOOR SURINAME EN DE NEDERLANDSE ANTILLEN.
- Eakin, C., McManus, J., Spalding, M., & Jameson, S. (1997). *Coral reef status around the world: Where are we and where do we go from here?* USA: NOAA.
- Edwards, A. G. (2007). *Reef Restoration Concepts and Guidelines: making sensible management choices in the face of uncertainty*. St Lucia : Australia: Coral Reef Targeted Research & Capacity Building for Management Programme.

- Ferrer, V., González-Díaz, S., Hernández, L., Siciliano, D., Bretos, F., Appril, A., . . . Santoro, A. (2016). *Salud de las comunidades de corales en arrecifes de Jardines de la Reina - Golfo de María, región sur-central de Cuba*. Cuba: Revista Investigaciones Marinas.
- Forero-Mejía, A. (S.f.). *Estado actual de salud coralina en las comunidades arrecifales en Chengue y Gayraca, dos bahías del Parque Nacional Natural Tayrona, Caribe Colombiano*. Colombia: Universidad Jorge Tadeo.
- Garza, J. (S.f.). *Evaluación de Comunidades Bentónicas Arrecifales*. Sisal, Yucatan, México: UMDI-Sisal, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gill-Agudelo, D., Navas-Camacho, R., Rodríguez-Ramírez, A., Reyes-Nivia, M., Bejarno, S., Garzón-Ferreira, J., & Smith, G. (2009). *Enfermedades coralinas y su investigación en los arrecifes colombianos*. Santa Marta, Colombia: Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR.
- Gómez-Campo, K., López-Londoño, T., Gil-Agudelo, D., Navas-Camacho, R., Rojas, J., & Garzón-Ferreira, J. (2011). *Blanqueamiento coralino, amenaza para el futuro de los arrecifes de coral de los archipiélagos Nuestra Señora del Rosario y San Bernardo*. Colombia : INVEMAR.
- González-González, A., Alva-Basurto, C., Canul-Díaz, D., Xaamal-Madrigal, E., Aguilar-Salazar, F., Olivares-Escobedo, J., . . . Ibarra-Navarro, R. (2019). *Detección temprana de afectaciones por pérdida de tejido en corales del Área Natural Protegida con influencia en Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc, Quintana Roo, México*. Quintana Roo, México: Comisión Nacional De Areas Naturales Protegidas.
- Human, P. (1993). *Reef Coral Identification Florida Caribbean and Bahamas*. Jacksonville, Florida.: Paramount Miller Graphics, Inc.
- Human, P. (1994). *Reef Creature Identification Florida, Caribbean and Bahamas*. Jacksonville, Florida.: Paramount Miller Graphics, Inc. .
- Humann, P., & DeLoach, N. (1992). *Reef Coral Identification: Florida, Caribbean y Bahamas*. Jacksonville, Florida, USA: New Word Publications, Inc.
- Jameson, S. C., McManus, J. W., & Spalding, M. D. (1995). *State of the reefs: Regional and Global Perspectives*. USA: International Coral Reef Initiative Ececutive Secretariat.
- Kayanne, H. (2016). *Coral Reef Science: Strategy for Ecosystem Symbiosis and Coexistence with Humans under Multiple Stresses*. Tokio, Japan: Springer.
- Krueger, S., & Zangroniz, A. (2019). *Florida Reef Tract Stony Coral Tissue Loss Disease*. Florida: University of Florida.
- Laurie, J., Courtney, S., & Harvell, C. (2008). *Coral Disease Handbook: Guidelines for Assessment, Monitoring & Management*. Australia: Currie Communications.
- Littler, D., Littler, M., Bucher, K., & Norris, J. (1989). *Maine Plants of the Caribbean a field guide from Florida to Brazil*. Washington D. C.: Smithsonian Institution.

- Mata, M. (2012). *Evaluación de estrategias de manejo arrecifal en Akumal, Q. Roo: Disturbios antropogénicos y enfermedades coralinas*. Sisal, Yucatán, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Medillin-Maldonado, F., Cabral-Tena, R., López-Pérez, A., Calderón-Aguilera, I., Norzagaray-López, C., Chapa-Balcorta, C., & Zepta-Vilchis, R. (2016). *Calcificación de las principales especies de corales constructuras de arrecifes en la costa del Pacífico del sur de México*. Oaxaca, México: Ciencias Marinas.
- Moberg, F., & Folke, C. (1999). *Ecological goods and services of coral reef ecosystems*. Stockholm, Sweden: Department of Systems Ecology, Stockholm University.
- Muzaki, F., Saptarini, D., & Riznawati, A. (2017). *White Syndrome on Massive Corals: a case study in Paiton Power Plant, East Java*. In Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh.
- Neely, K. (2020). *Florida Keys Coral Disease Strike Team: Fy 2019/2020 final report*. Florida: Nova Southeastern University.
- Padilla, C., Alfita-Vázquez, H., & Andreu-Montalvo, E. (2009). *Factores de riesgo para los arrecifes coralinos y sus mecanismos de respuesta ante los efectos del cambio climático global*. Campeche: Universidad Autónoma de Campeche.
- Perera-Valderrama, S., Cardeira-Estrada, S., Martell-Dubois, R., Rosique, L., & Caballero-Aragón, H. &. (2020). *Protocolos de Monitoreo de la biodiversidad marina en Áreas Naturales Protegidas del Caribe mexicano*. Ciudad de México: Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Pizarro, V., Carrillo, V., & García-Rueda, A. (2014). *Revisión y estado del arte de la estuarización ecológica de arrecifes coralinos*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Rodríguez, J. (2016). *Estado de salud de colonias de Pocillopora en el Pacífico mexicano*. Ensenada, Baja California, México: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.
- Rodríguez-Troncoso, A., & Tortolero-Langarica, J. (2014). *Corales: organismos base constructores de los ecosistemas arrecifales*. Jalisco: Universidad de Guadalajara.
- Romeu, E. (1995). *El Arrecife como Recurso*. CONABIO: Biodiversitas.
- SEMARNAT, & CONANP. (2015). *Programa de Manejo del Parque Nacional Isla Contoy*. México D. F.: SEMARNAT.
- SOMAC. (S.f.). *El Síndrome Blanco en el Caribe Mexicano*. Quintana Roo: Sociedad Mexicana de Arrecifes Coralinos.
- Storer, T., Usinger, R., Stebbins, R., & Nybakken, J. (1986). *Zoología General*. Barcelona, España.: Ediciones Omega, S. A.
- Weli, E., Hernández-Delgado, E., González, M., Williams, S., Suleimán-Ramos, S., Figuerola, M., & Metz-Estrella, T. (2019). *Spread of the new coral disease "SCTLD" into the Caribbean:*

implications for Puerto Rico. Puerto Rico: The News Magazine of the International Coral Reef Society.

Westmacott, S., Teleki, K., Wells, S., & West, J. (2019). *Manejo de Arrecifes de Coral Blanqueados o Severamente Dañados*. Cambridge, UK: IUCN Publications Services Unit.

12. ANEXOS

ANEXO A Catálogo fotográfico de colonias masivas infectadas con síndrome blanco más significativas de cada transecto.



Fig. 7 PSTR muerto por síndrome blanco, transecto 1 9x90



Fig. 8 MCAV muerto por síndrome blanco, transecto 2 9x90



Fig. 9 PSTR infectado con síndrome blanco con 7% de tejido vivo,
transecto 3, 9x40



Fig. 10 MCAV infectado con síndrome blanco con 5% de tejido vivo, transecto 4, 7x30



Fig. 11 PSTR muerto por síndrome blanco, transecto 5, 0x0



Fig. 12 PCL infectado por síndrome blanco, con 85% de tejido vivo
transecto 6, 8x70



Fig. 13 OANN infectado por síndrome blanco, con 35% de tejido vivo
transecto 8, 5x10



Fig. 14 OANN infectado por síndrome blanco, con 10% de tejido vivo
transecto 9, 0x40



Fig. 15 PSTR infectado por síndrome blanco, con 46% de tejido vivo
transecto 10, 9x90

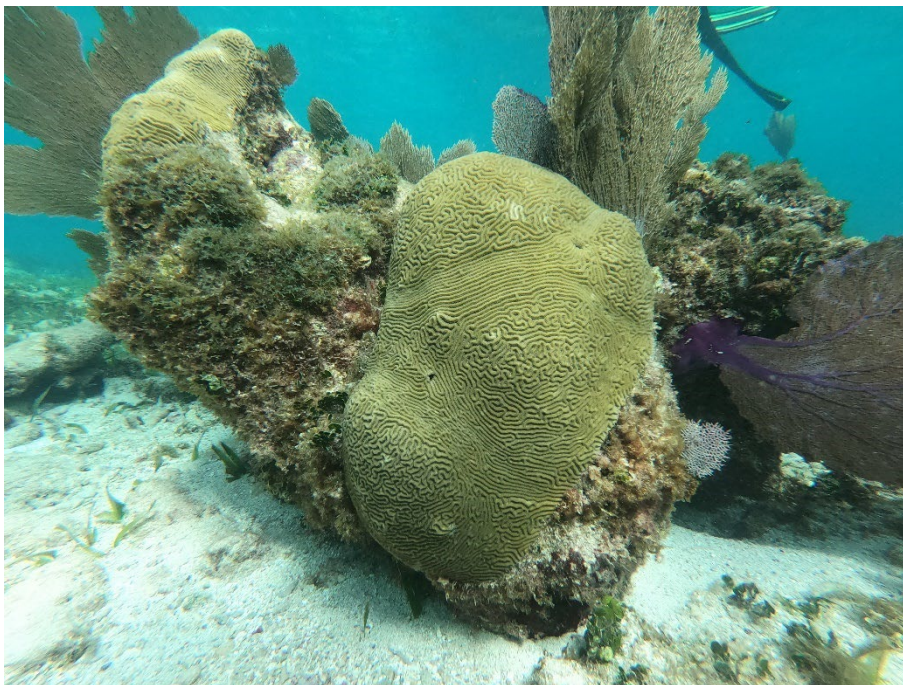


Fig. 16 PSTR sano, sobre cadáver de SCLI, transecto 11, 9x80



Fig. 17 SSID infectado con síndrome blanco, con 2% de tejido vivo, transecto 12, 5x0

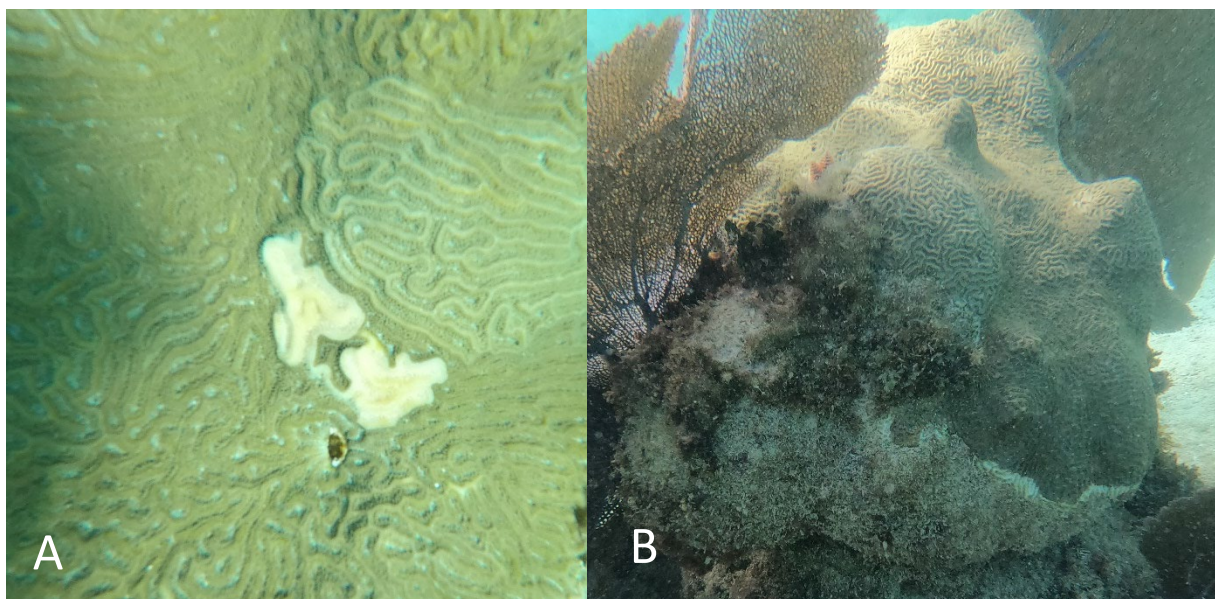


Fig. 18 PCLI infectado con blanqueamiento (A) y síndrome blanco (B), con 25% de tejido vivo, transecto 13, 0x0



Fig. 19 SSID infectado con síndrome blanco, con 2% de tejido vivo, transecto 13, 0x0

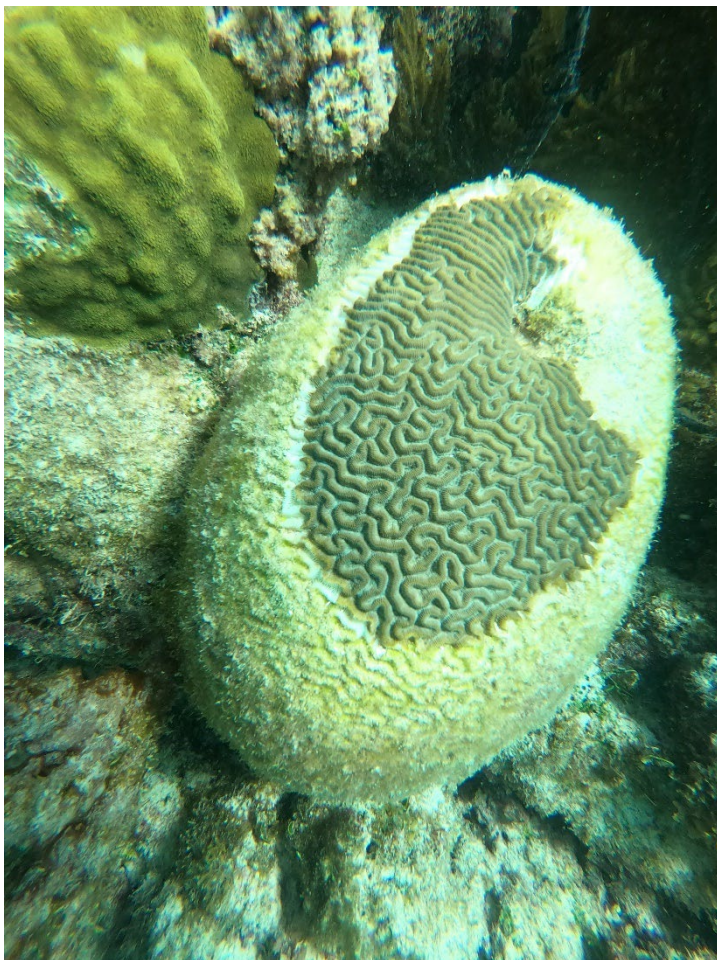


Fig. 20 PSTR infectado con síndrome blanco, con 15% de tejido vivo, transecto 15, 0x0

ANEXO B Comparación fotográfica de algunas de las colonias muestreadas por Juárez & Fuentes en 2019 para conocer el avance del síndrome blanco hasta 2021.

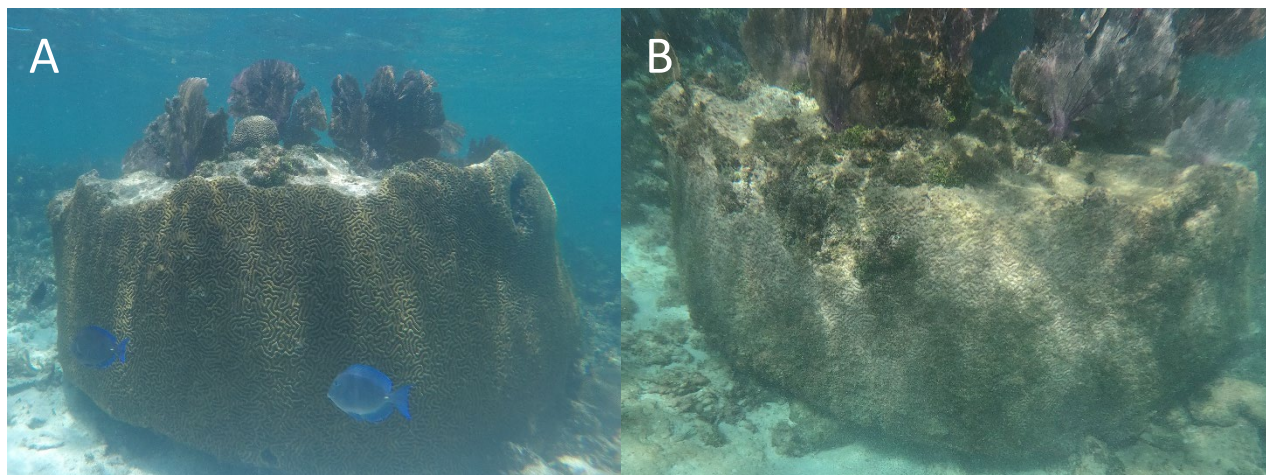


Fig. 21 PSTR, No. SB00 A: colonia viva, infectada por síndrome blanco con 98% de tejido vivo (foto 2019). B: colonia muerta por síndrome blanco sin tejido vivo, con fauna y flora asentada en el (foto 2021).

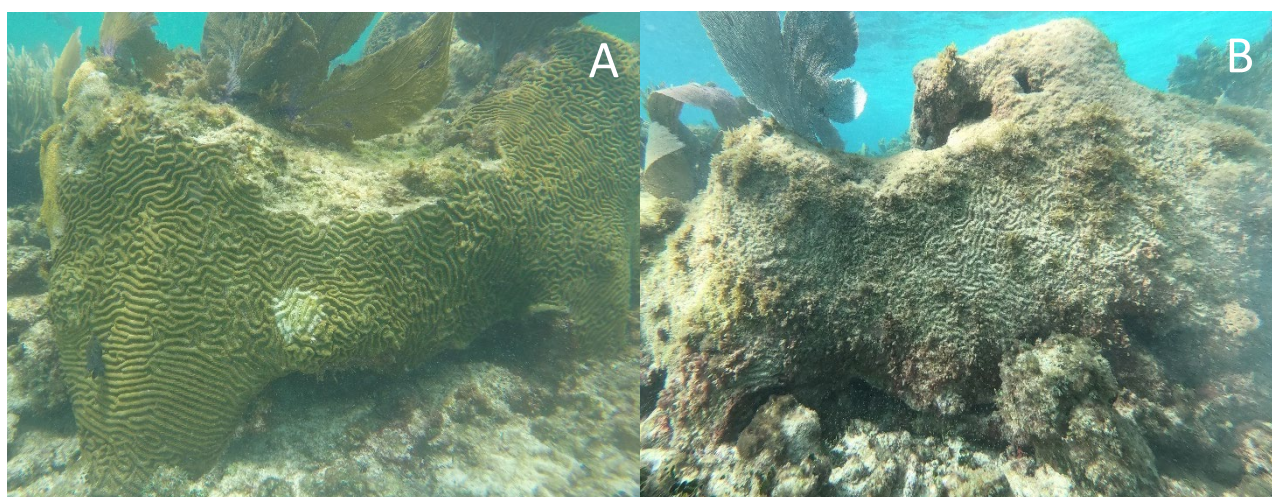


Fig. 22 PSTR, No. SB02 A: colonia viva, infectada por síndrome blanco con 95% de tejido vivo (foto 2019). B: colonia muerta por síndrome blanco sin tejido vivo, con fauna y flora asentada en el (foto 2021).

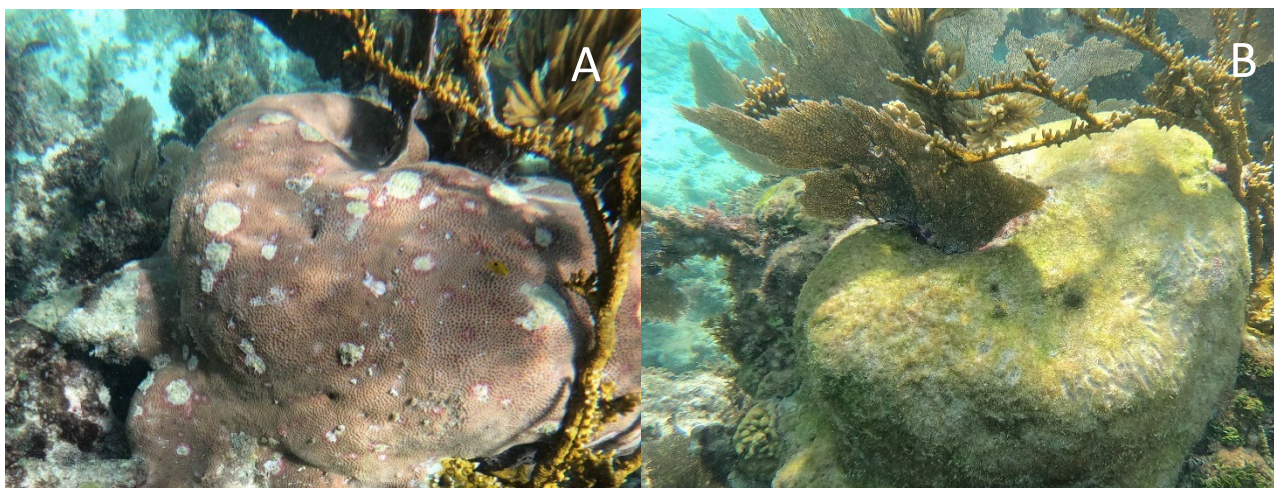


Fig. 23 SSID, No. SB04 A: colonia viva, infectada por síndrome blanco con 89% de tejido vivo (foto 2019). B: colonia muerta por síndrome blanco sin tejido vivo, (foto 2021). Cabe destacar que el coral de fuego *Millepora cervicornis* sigue vivo y más grande.

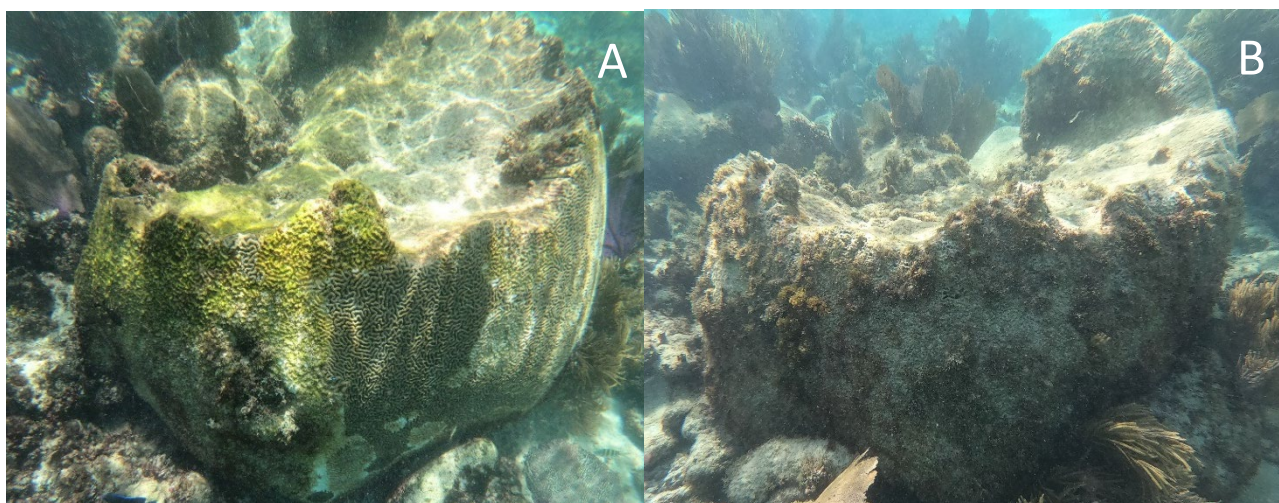


Fig. 24 PSTR, No. SB13 A: colonia viva, infectada por síndrome blanco con 10% de tejido vivo (foto 2019). B: colonia muerta por síndrome blanco sin tejido vivo, (foto 2021).

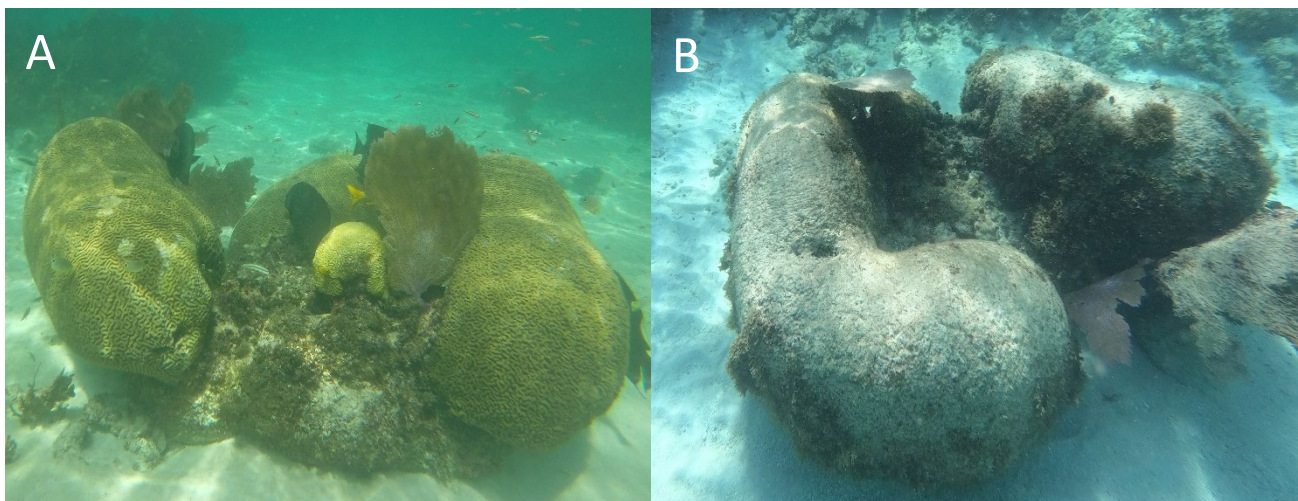


Fig. 25 PSTR, No. SB20 A: colonia viva, infectada por síndrome blanco con 85% de tejido vivo (foto 2019). B: colonia muerta por síndrome blanco sin tejido vivo, (foto 2021). Cabe destacar que, tras la muerte del coral, los peses ángel francés *Pomacanthus paru* abandonaron el sitio.

ANEXO C Evidencias de actividades del proyecto.



Fig. 26 Identificación visual de especie y de enfermedad.



Fig. 27 Toma de las medidas diámetro máximo, diámetro perpendicular y altura de colonias enfermas. Apoyo del voluntario Sebastián Benito.



Fig. 28 Captura de puntos de inicio y final de transectos en GPS, mediante kayak. Apoyo de la voluntaria Regina Páramo.