



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA**

**RELACIÓN ENTRE LA DESCARGA DEL RÍO JAMAPA Y LAS
ENFERMEDADES CORALINAS EN LOS ARRECIFES LA BLANCA,
CHOPAS E ISLA DE ENMEDIO, SISTEMA ARRECIFAL
VERACRUZANO, GOLFO DE MÉXICO**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE BIOLOGA

P R E S E N T A

JACQUELINE RIVERA ORTEGA

**ASESOR DE TESIS:
DR. GUILLERMO JAVIER HORTA PUGA**

**REVISORES:
BIOL. JOSÉ LUIS TELLO MUSI
M. EN C. AURA A. MORALES
DR. ARTURO ROCHA
M. EN C. RAFAEL CHÁVEZ**



Los Reyes Iztacala, Edo. de México, 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Gracias esto es por, pero sobre todo, dedicado a ustedes (aunque no le entiendan, les juro que está hecha con desvelos y amor jaja):

Al mejor amigo de mi vida, que de verdad sin ti “obvi” nada NADA sería posible, Gibran, hermano, compañero de aventuras, mi ejemplo y razón... TE AMO.

A los número 1, mi mejor team!, Yolanda y Jorge, mamá y papá, mi impulso y motor... mis lastres para tener los pies bien plantados, mis nubes para jamás dejar de soñar tan alto y mi biodiesel para alcanzar cada uno de mis sueños.

Sharon y Shei, Guille y Fer, Manolo, Mamá Pachis... mi familia, gracias.

A los profesores Nicolas Rodríguez y Marco Antonio Escobar, que despertaron en mi el gusto por las ciencias del mar, que me impulsaron y dirigieron ese gusto que jamás imaginé que sería el amor de mi vida académica.

A mi sis Katia Fernanda, que sin ti seguramente hubiera huido sin saber lo hermoso que es la carrera de biología.

A Vikzito, lo logramos!!!! Gracias por compartir conmigo estos casi 5 años y mi amor por el mar, vamos por mas!

A mi clan, mis hermanos guerreros jaguar, André, Miki, Jorge, Yair, Kike, Migue, aquí está la dichosa tesis!!!! Jajajajaja vámonos a festejar!!!

A Gabriela Pantoja, Lorena Gudiño, Hugo López, Alejandro Durán, Abraham Millán, Alberto Medina, Georgina García, Dalia Zenteno, Leticia y Claudia Valladares, Lili y Eleana Vucetich, Claudia Morales, cada uno de ustedes reforzaron mi amor por la vida natural, el medio ambiente y la biología, gracias maestros, scouters, hermanos.

A mis hermanos Andrea Medina y Arturo Ramírez, gracias por estar y ser parte de mi vida.

A mis compañeros de equipo Angel y Sebas... lo logramos, espero encontrarlos de nuevo en el camino.

Al Doctor Guillermo Horta Puga, porque usted me enseñó el mundo de las ciencias y la investigación, porque me enseñó la otra cara de la moneda, que siempre hay cosas que aprender, porque me enseñó que hay formas de luchar por lo que queremos con argumentos y sabiduría, por la confianza y esas charlas papá académico e hija académica favorita :)...

Al profesor Tello, gracias por acercarme a los cnidarios y acercarme a la bodeguita, por la paciencia, las enseñanzas y el tiempo invertido.

A mis profesores Rafa y Arturo Rocha, gracias por los abrazos, el tiempo, la paciencia, los jalones de orejas y las risas, gracias por escucharme y gracias por los consejos, por el tiempo, las enseñanzas, gracias por el cariño.

A la bodeguita arrecifal, Alex y Aura, gracias por acompañarme en el camino de la tesis; Jenny, Jhoan y Dan, los quiero.

Je vous exhorte intéressé dans ces bâtiments sacrés appelés significativement laboratoires. Demandez à être multiplié et complété. Sont les temples de l'avenir, la richesse et le bien-être

Os ruego que os intereséis por esos edificios sagrados llamados significativamente laboratorios. Pedid que sean multiplicados y completados. Son los templos del porvenir, de las riquezas y del bienestar

Louis Pasteur

*-.//---/-/.///.-//--/-/-/.-//---///-//--//.---/---/-//...//-.//---/-/.//.-
//.-//---/-//...//-.////-.//---//---//.---///-/-.-//---/-/-.-//...////...//
-...//.-.*

ÍNDICE

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	9
Justificación	13
Hipótesis	13
Antecedentes	14
Objetivos.....	15
MATERIALES Y MÉTODOS	16
Área de Estudio	16
Diseño Metodológico	16
Muestreo Ecológico.....	19
Datos de Descarga del Río Jamapa.....	20
Procesamiento de Datos	20
Anexos	21
RESULTADOS	23
Prevalencia	23
Enfermedades	24
Datos de Descarga del Río Jamapa.....	26
Relación Prevalencia-Descarga.....	27
DISCUSIÓN	28
Análisis comparativo de la prevalencia de enfermedades coralinas	28
Análisis comparativo de la prevalencia de enfermedades en corales con diferentes formas de crecimiento.....	30
Variación espacial en la prevalencia de enfermedades coralinas.....	31

Variación temporal en la prevalencia de enfermedades coralinas32

Relación entre la descarga del río Jamapa y la prevalencia de enfermedades coralinas33

CONCLUSIONES35

CONSIDERACIONES FINALES36

BIBLIOGRAFÍA37

APÉNDICE I. GUÍA DE IDENTIFICACIÓN DE ENFERMEDADES CORALINAS DE LOS ARRECIFES LA BLANCA, CHOPAS E ISLA DE ENMEDIO, SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO, GOLFO DE MÉXICO43

APÉNDICE II. DESCRIPCIÓN DE LAS ENFERMEDADES OBSERVADAS EN CORALES HERMATÍPICOS DE LOS ARRECIFES LA BLANCA, CHOPAS E ISLA DE ENMEDIO, SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO47

RESUMEN

Los corales también son susceptibles a enfermarse, estas enfermedades se presentan como bandas o manchas de coloración diferente en la superficie coralina.

El SAV, debido a su cercanía a la población y a la descarga del río Jamapa, es constantemente expuesto a una gran cantidad de patógenos provenientes de estas actividades a lo largo del año, aumentando potencialmente en época de lluvias. Por lo anterior, es necesario determinar si existe una relación entre la cercanía del río Jamapa y la prevalencia de enfermedades coralinas en La Blanca, Chopas e Isla de Enmedio, arrecifes que presentan un gradiente longitudinal entre sí; en dos diferentes estaciones, la época de lluvias, y de secas.

Con los resultados obtenidos dentro del proyecto DM005 de la CONABIO, proyecto del cual se derivó este estudio, se encontró que La Blanca presentó una mayor prevalencia de enfermedades coralinas (9.0%) así, éste presenta diferencias significativas en relación a Chopas (2.3%) e Isla de Enmedio (1.2%).

Por otro lado, con ayuda de los datos proporcionados en la CONAGUA se determinó el gasto medio mensual de la estación más próxima a la desembocadura; también, para determinar la relación entre la descarga y la prevalencia de enfermedades, se realizó un análisis de correlación ($r= 0.57$), donde el coeficiente de correlación presenta un grado de asociación que va de moderado a fuerte. Con lo anterior se demostró que, durante los periodos de mayor descarga fluvial, la prevalencia aumenta, mientras que los arrecifes más cercanos a la desembocadura presentan una prevalencia mayor que los que se encuentran más alejados a ella.

Finalmente, en este estudio se encontraron 7 enfermedades siendo Lunares Blancos la enfermedad más frecuente (52.6%), Por otro lado, La Blanca, presentó una mayor prevalencia de enfermedades coralinas y a su vez, en los 3 arrecifes se detectó una mayor proporción de corales enfermos en época de mayor descarga, por tanto

podemos concluir que el río Jamapa influencia directamente a los corales enfermos en La Blanca, presentando un menor impacto en Chopas e Isla de Enmedio y también esta descarga, afecta directamente a la prevalencia de enfermedades lo largo del año, aumentando la prevalencia en época de mayor descarga y disminuyendo en época de secas en los tres arrecifes muestreados, a lo largo de las campañas 2009 a 2014.

INTRODUCCIÓN

Enfermedades coralinas

Los corales, al igual que cualquier ser vivo, son susceptibles a enfermarse; se entiende por enfermedad a la discapacidad, interrupción, cese, proliferación u otro desorden, en las funciones vitales de un individuo (Stedman 2000). Así, las enfermedades en los corales se caracterizan por provocar alteraciones en la superficie coralina, detectadas a simple vista, tales como la pérdida de tejido asociada a bandas con coloración diferente o manchas aisladas, delimitadas por una interfaz entre el tejido saludable y no saludable, que va de unos cuantos milímetros a varios centímetros de ancho (Richardson 1998, Raymundo y Harvell 2008). Los primeros datos de enfermedades coralinas datan de 1965, momento en que se registra la neoplasia como un crecimiento anómalo en el tejido coralino (Squires 1965). Antonius reportó la enfermedad de la Banda Negra como la primera enfermedad microbiana, así como la reacción de muerte súbita en corales de los arrecifes de Belice (Antonius 1977). Dustan registró la enfermedad de la Plaga Blanca en los arrecifes de Florida (Dustan 1977); mientras que Gladefelter (1982) reportó la enfermedad de la Banda Blanca en *Acropora palmata*. Tan sólo en la última década del SIGLO XX y la primera década del SIGLO XXI, se registraron 8 enfermedades que afectan a corales escleractinios en todo el mundo, entre las que se encuentran: *Banda Amarilla* (Reeves 1994), Serriatosis en *Acropora* (Bruckner y Bruckner 1997), Blanqueamiento Bacteriano (Kushmaro et al. 1997) Banda Erosionadora del Esqueleto (Antonius 1999), Mancha Negra (Gil-Agudelo y Garzón-Ferreira 2001), Síndrome de la Línea Rosa (Ravindran y Raghukumar 2002), Manchas Blancas Ulcerativas en Porites (Raymundo et al. 2003) y Banda Café (Willis et al. 2004), entre otras; de manera que actualmente existen 27 enfermedades diferentes tanto en el Atlántico como en el Indopacífico (Sutherland 2004). En el Indopacífico las enfermedades reportadas son blanqueamiento inducido por *Vibrio sp.*, Banda Erosionadora del Esqueleto, Síndrome de la Línea Rosa, Banda Amarilla y Síndrome Fúngico-Protozoo; mientras que para el Atlántico, provincia biogeográfica donde se

encuentran el Caribe y Golfo de México (Horta-Puga 2007), las enfermedades reportadas son Anomalías del Esqueleto (Hiperplasma y Neoplasma), Banda Negra, Plaga Blanca tipos I y II, Reacción de Muerte Súbita, Banda Blanca tipos I y II, Serriatosis, Blanqueamiento Bacteriano, Banda Amarilla y Mancha Negra (Weil 2004, Sutherland 2004, Gil-Agudelo et al. 2009). Todas estas enfermedades son causadas en su mayoría por microorganismos patógenos como bacterias, hongos, virus y protistas que se pueden propagar entre los corales e impactarlos negativamente, muchos de los cuales no han sido identificados (Kinne 1980, Peters 1997, Pollock 2011). Entre los organismos patógenos causantes de diversas enfermedades coralinas se encuentran: (1) *Vibrio* spp. causantes de enfermedades como Banda Blanca tipo II (Ritchie y Smith 1995a) y Banda Amarilla (Cervino 2004); (2) *Aurantimonas coralicida* causante de Plaga Blanca tipo II (Richardson et al. 1998, Denner et al. 2003); (3) *Serratia marsescens*, enterobacteria causante de serriatosis de acroporas (Patterson et al. 2002); (4) *Geitlerinema* sp., antes *Phormidium coralliticum*, bacteria que en conjunto con un consorcio bacteriano, conformado también por *Desulfovibrio* sp., *Beggiatoa* sp. y otras bacterias heterotróficas, son causantes de la enfermedad de Banda Negra (Garrett y Ducklow 1975, Ducklow y Mitchell 1979b, Rützler y Santavy 1983, Schnell et al. 1996, Cooney et al. 2002, Frías-López et al. 2002, Glas et al. 2010). En conjunto, todas estas enfermedades disminuyen la capacidad de respuesta del coral, ocasionando así que éste se vea fisiológicamente debilitado (Jordán-Dahlgren 2004).

Prevalencia de enfermedades coralinas

A través de los años, el planeta se ha ido deteriorando, provocando grandes y súbitos cambios en el medio marino que ponen en riesgo la supervivencia de los corales y los arrecifes coralinos (Gil-Agudelo et al. 2009, Muller y Van Woesik 2012). Uno de los riesgos que corren los corales al verse impactados por dichos cambios, es el enfermarse, lo cual contribuye a la pérdida de cobertura coralina y a la disminución de las poblaciones de los corales, lo que provoca un gran deterioro en los arrecifes de coral y por consecuencia un cambio en la estructura de la comunidad (Carricart-Ganivet et al.

2011). Es por ello que, se realizan constantemente estudios, en los que se pretende conocer la prevalencia de estas enfermedades (Tabla 1)

Tabla 1.
Estudios de prevalencia de Enfermedades Coralinas

Autor	Lugar	Prevalencia	Especies
Francini-Filho et al. (2010)	Banco Albrohlos, Brasil	Plaga Blanca (4.5%)	<i>Mussismilia braziliensis</i>
Hobbs y Frisch (2010)	Isla de Cocos, India	Síndromes Blancos (1.4%)	<i>Acropora</i> spp, <i>Pocillopora</i> spp., <i>Montipora</i> spp. y <i>Porites</i> spp.
Kaczmarzsky y Richardson (2011)	Filipinas	Anomalías del esqueleto y Mancha Blanca (24.2%)	<i>Porites</i> spp.
Carricart-Ganivet et al. (2011)	Sistema Arrecifal Veracruzano, México	Mancha Negra, Plaga Blanca, Necrosis Rápida, Mancha Blanca, Hiperplasma, Banda Negra y Banda Amarilla (4.8%)	<i>Acropora</i> spp., <i>Agaricia</i> spp. <i>Colpophyllia natans</i> , <i>Diploria strigosa</i> , <i>D. clivosa</i> ; <i>Leptoseris cucullata</i> ; <i>Madracis decactis</i> , <i>Manicina areolata</i> , <i>Millepora alcicornis</i> <i>Montastraea annularis</i> , <i>Orbicella</i> spp., <i>Mussa angulosa</i> , <i>Mycetophyllia</i> spp., <i>Oculina difusa</i> , <i>Porites</i> spp. <i>Scolymia cubensis</i> <i>Siderastrea siderea</i> , <i>S. radians</i> , <i>Stephanocoenia intersepta</i>
Porter et al. (2011)	Florida, EUA	Mancha Negra (71.2%)	<i>Montastrea annularis</i> , <i>Siderastrea siderea</i> , <i>Stephanocoenia michelinii</i>

Thurber et al. (2013)	Cayos de Florida, EUA	Mancha Negra (89%)	<i>Siderastrea sidereal</i> , <i>S. radians</i> , <i>Stephanocoenia intersepta</i> y <i>Agaricia</i> spp
Casey et al. (2014)	Gran Barrera de Coral, Australia	Banda Negra (3.17%)	<i>Acropora muricata</i>

En términos generales, en el Atlántico, una de las enfermedades que presenta una mayor prevalencia, es la enfermedad de Mancha Negra, mientras que en todo el mundo, los “Síndromes Blancos”, (Plaga Blanca, Banda Blanca, Mancha Blanca, Blanqueamiento bacteriano, etc.) son enfermedades que por su presencia cosmopolita, existe la necesidad de realizar más estudios al respecto.

Influencia continental y su relación con las enfermedades coralinas

Debido a que las principales enfermedades coralinas son causadas por microorganismos patógenos, entre más cercana esté la fuente que acarrea dichos organismos, mayor será el impacto derivado de ella (Horta-Puga 2007). La influencia continental proveniente de la descarga de los grandes sistemas fluviales, por su parte, puede considerarse también como una potencial fuente directa de patógenos y de diversos tipos de contaminantes urbanos, agrícolas e industriales que son liberados en la cuenca de captación de estos sistemas fluviales y finalmente en las aguas oceánicas (Jordan-Dahlgren 2004; Horta-Puga 2007). En el caso del Sistema Arrecifal Veracruzano, toda la cuenca hidrológica, se ve impactada por actividades agrícolas y ganaderas (Carriquiry y Horta-Puga 2010), esto propicia que, al ser arrojados directamente los desechos provenientes de dichas actividades, en la columna de agua exista una gran cantidad de patógenos disponibles en todo el año (Calderón 1991), la

cual aumentará en temporada de lluvias, debido a que la descarga fluvial aumenta también (Larsen y Webb 2009).

Justificación del presente estudio

Este estudio se realizó en el Sistema Arrecifal Veracruzano, ubicado frente a la ciudad de Veracruz y frente al puerto más grande del sur del Golfo de México, es el sistema arrecifal más extenso del Golfo de México y se encuentra bajo la influencia de los ríos Actopan, Papaloapan y el Jamapa principalmente (Carrillo et al. 2007); por lo anterior, resultado de su cercanía a la población y a los escurrimientos continentales, los arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), muestran daños moderados a severos (Horta-Puga 2007), lo que sugiere una alarmante necesidad de llevar a cabo estudios que determinen, en general, la influencia de las descargas de los grandes afluentes de los ríos que desembocan en el SAV y en particular, su relación con las enfermedades coralinas.

Por tanto, las preguntas a responder en este estudio son:

- ¿Un aumento en el volumen de la descarga proveniente del río Jamapa, afectará directamente a la prevalencia de enfermedades coralinas en los arrecifes La Blanca, Chopas e Isla de Enmedio?
- ¿El arrecife La Blanca, arrecife más cercano al río Jamapa, principal fuente de patógenos, se verá mayormente afectado que los arrecifes que se encuentran más alejados del mismo (Chopas e Isla de Enmedio)?

Así, se planteó la siguiente hipótesis:

Si, en consecuencia a una descarga mayor del Río Jamapa en época de lluvias, aumenta la cantidad de patógenos disponibles en el medio; entonces habrá una mayor

prevalencia de enfermedades, la cual a su vez, se verá mayormente reflejada en los arrecifes más cercanos a la desembocadura del mismo.

Antecedentes

En el Sistema Arrecifal Veracruzano, ya existen estudios sobre las enfermedades en corales hermatípicos, los cuales son, básicamente de índole ecológico. Horta-Puga y Tello-Musi (2009), realizaron un diagnóstico (Proyecto CONABIO DM005), en donde reportan las enfermedades presentes en 10 arrecifes del SAV, entre los que se encuentran los arrecifes La Blanca, Chopas e Isla de Enmedio; en las zonas de talúd de barlovento, talúd de sotavento y planicie. En este estudio reportaron que las enfermedades coralinas afectaron al 4.2% de los corales y las enfermedades más frecuentes fueron mancha negra (41.9%), plaga blanca (38.1%) y banda negra (7.7%). Con los datos anteriores, Carricart-Ganivet et al. (2011), reportaron una prevalencia de enfermedades coralinas del 4.8%, así como 7 enfermedades que afectan a 6 géneros de corales (de las cuales, 4 son las más abundantes), observadas en el 85.2% de los sitios evaluados. Por último, Gutierrez-Ruiz et al. (2011), evaluaron la prevalencia de enfermedades coralinas en los arrecifes Sacrificios y Santiaguillo, encontrando así que Sacrificios, presentaba una mayor prevalencia de las enfermedades plaga blanca, mancha negra y tumores (hiperplasia y neoplasia).

Sin embargo, podemos darnos cuenta que en los estudios anteriores no se relacionó la descarga del río Jamapa con la prevalencia de las enfermedades coralinas, por lo tanto, este trabajo pretende determinar con ayuda de los datos obtenidos dentro del proyecto GM005 de la CONABIO “Sistema Arrecifal Veracruzano, condición actual y monitoreo permanente”, si existe o no una relación entre el aumento en la descarga del río Jamapa y la prevalencia de las enfermedades coralinas presentes en tres arrecifes, los cuales entre sí, presentan un gradiente longitudinal, para ello, se plantearon los siguientes objetivos.

Objetivo general

Determinar la relación entre la descarga del Río Jamapa y la incidencia de enfermedades coralinas presentes en los arrecifes La Blanca, Chopas e Isla de Enmedio en los años 2009 a 2014.

Objetivos particulares

1. Determinar la proporción de corales enfermos en los arrecifes La Blanca, Chopas e Isla de Enmedio.
2. Determinar las enfermedades presentes en los corales de los arrecifes La Blanca, Chopas e Isla de Enmedio.
3. Determinar si existe una relación entre los volúmenes de descarga del río Jamapa y la proporción de corales con síntomas de enfermedad coralinas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), perteneciente a la provincia biogeográfica del Caribe, es un complejo arrecifal de tipo plataforma, principalmente; formado por 2 grupos de arrecifes, norte y sur, divididos por la desembocadura del Río Jamapa (Carricart-Ganivet et al. 2011, Carricart-Ganivet y Horta Puga 1993 y Tunnell 2007). Este sistema arrecifal, es el más extenso del Golfo de México y se ubica frente a la ciudad de Veracruz y frente al puerto más grande del sur del Golfo de México; se encuentra bajo la influencia de los ríos Actopan, Papaloapan y el Jamapa principalmente (Carrillo et al. 2007), provocando así que el SAV esté en contacto constante con fuentes de estrés de origen antropogénico, derivado de las principales actividades portuarias y el crecimiento de la población humana; y ambiental derivado del afluente del Río Jamapa (Carricart-Ganivet et al. 2011). Resultado de su cercanía a la población y a los escurrimientos continentales, los arrecifes de esta zona muestran daños moderados a severos (Horta-Puga 2007). A su vez, el Río Jamapa cubre una cuenca de 4,061 km² y una longitud de 368 km. Se origina en el flanco oriental del Pico de Orizaba y desemboca en la barra de Boca del Río. Sus principales afluentes son los ríos Xicuintla, Barranca del Jodo, Coaxtla, Ixhuatlán del Café, Tepatlaxco, Medellín y Soledad del Doblado; con un escurrimiento anual de 2.563x10⁶ m³ (CONAGUA 2011).

Diseño metodológico

Las estaciones de muestreo seleccionadas para este estudio fueron los arrecifes La Blanca, Chopas e Isla de Enmedio, los cuales se encuentran dentro del grupo sur (Figura 1), grupo con un mejor estado de conservación con respecto al grupo norte (Horta-Puga y Tello-Musi 2009). A su vez, éstos se escogieron de acuerdo al gradiente longitudinal que presentan con respecto a la desembocadura del Río Jamapa (Figura

2); donde el arrecife La Blanca (19°05'06" N, 95°59'57" W) es el arrecife más cercano (10.6 km); Chopas (19°04'37" N, 95°57'15" W), es el arrecife que se encuentra a una distancia intermedia (15.4 km); e Isla de Enmedio (19°16'00" N, 95°56'19" W), es el arrecife más alejado a la desembocadura (18.1 km) (Horta-Puga y Tello-Musi 2009). A sí mismo, las estaciones de muestreo se ubicaron entre los 9 y 12 metros de profundidad, profundidad con mayor diversidad y cobertura coralina en el sistema (Horta-Puga 2003).

Con base en el promedio para las áreas arrecifales del Sur del Golfo de México, la temporada de lluvias se extiende de junio a octubre y alcanza el nivel máximo en septiembre. Debido a lo anterior, se realizaron 2 muestreos por año. Los muestreos se realizaron preferentemente con una periodicidad semestral, realizando los muestreos en época de secas y a finales de la época de lluvias (donde existe una mayor descarga del Río Jamapa), excepto en el 2012, donde se realizó un solo muestreo en el mes de Octubre.

Tabla 1
Fechas de muestreo

Temporada de lluvias		Temporada de secas	
Campaña	Fecha de muestreo	Campaña	Fecha de muestreo
C-01	Oct/2009	C-02	Abr/2010
C-03	Oct/2010	C-04	Jun/2011
C-05	Oct/2011	C-07	Mar/2013
C-06	Oct/2012	C-09	Abr/2014
C-08	Sept/2013		

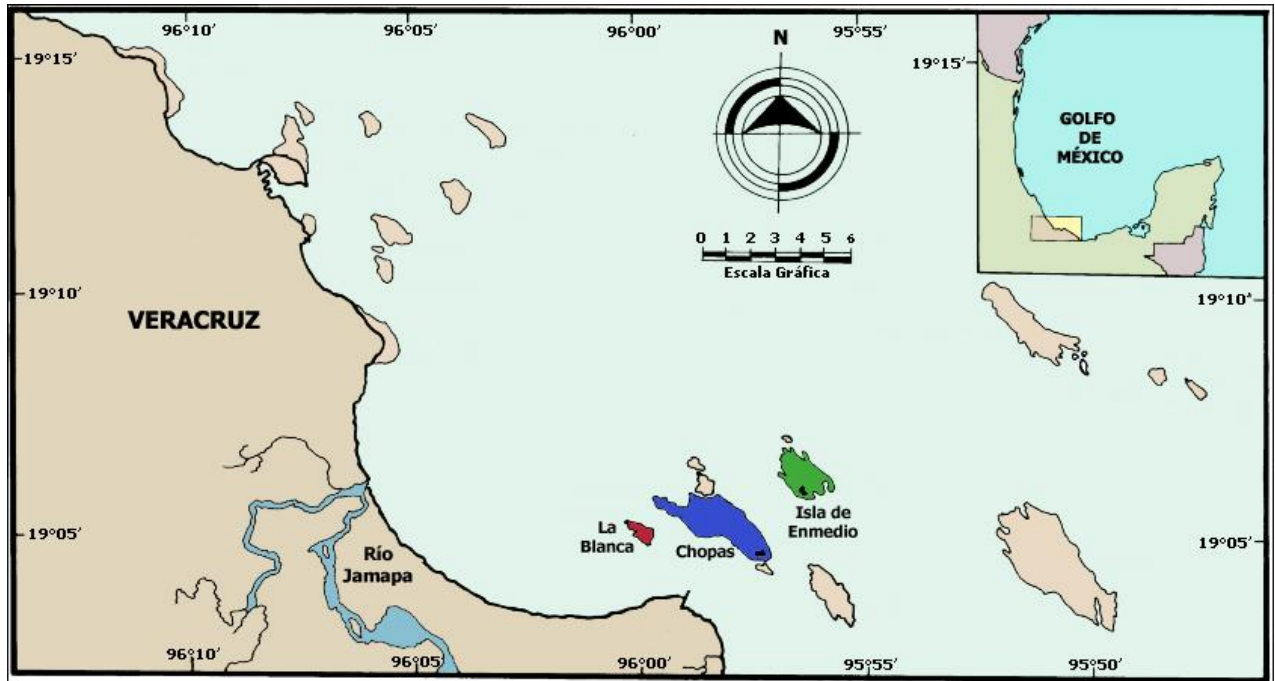


Figura 1. Arrecifes La Blanca, Chopas e Isla de Enmedio, Sistema Arrecifal Veracruzano

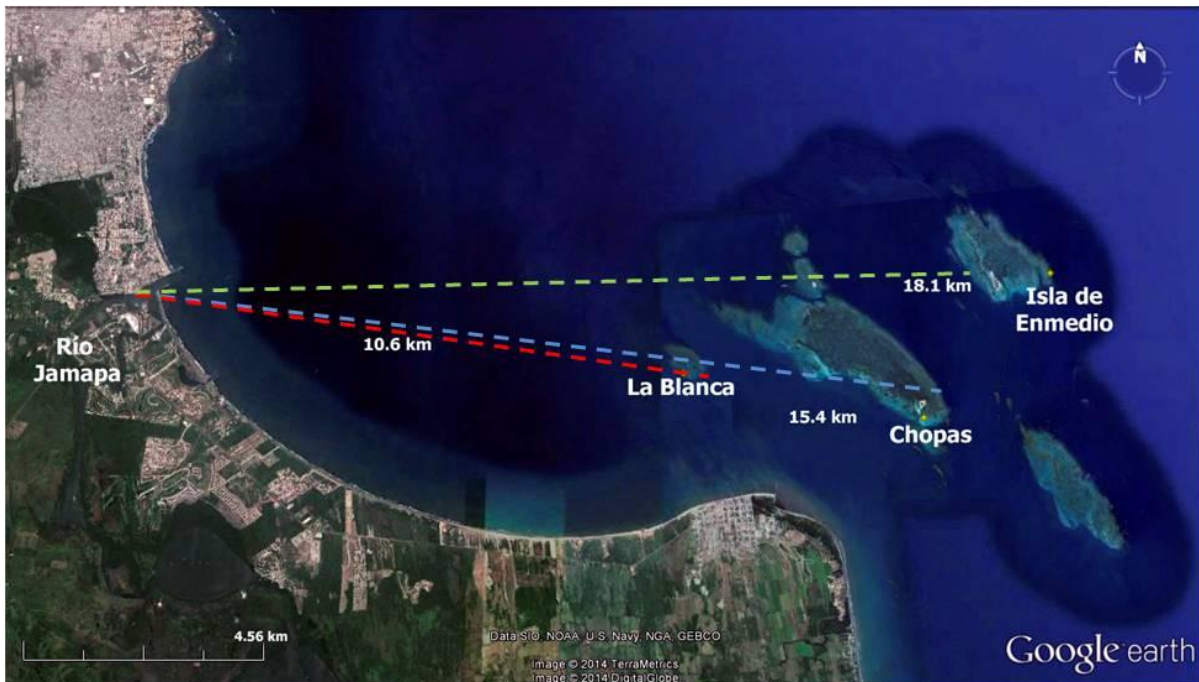


Figura 2. Arrecifes La Blanca, Chopas e Isla de Enmedio en relación al Río Jamapa

Muestreo ecológico

El muestreo ecológico se realizó con los resultados obtenidos dentro del Proyecto GM005 “Sistema Arrecifal Veracruzano, condición actual y monitoreo permanente” de la CONABIO; donde, para determinar la proporción de corales enfermos, se determinó el lugar de muestreo con ayuda de un geoposicionador satelital, sitio en el cual se utilizó el método de transecto, los cuales se trazaron paralelos a la línea de cresta y/o al contorno del talud arrecifal, en el área de barlovento en los arrecifes La Blanca y Chopas y en la zona de sotavento en el arrecife Isla de Enmedio, esto debido a que los arrecifes Blanca y Chopas no presentan Talud de Sotavento, debido posiblemente, a las altas tasas de sedimentación terrígena derivadas de la descarga fluvial del Río Jamapa, que inhiben el crecimiento coralino en esta área (Horta Puga y Tello Musi 2009). Cada transecto presentaba una longitud de 10 m y se realizaron tantos transectos por estación como fuese necesario para muestrear al menos 100 colonias coralinas, esto debido a que 100 colonias coralinas es el número mínimo considerado representativo para estudios de comunidades coralinas.

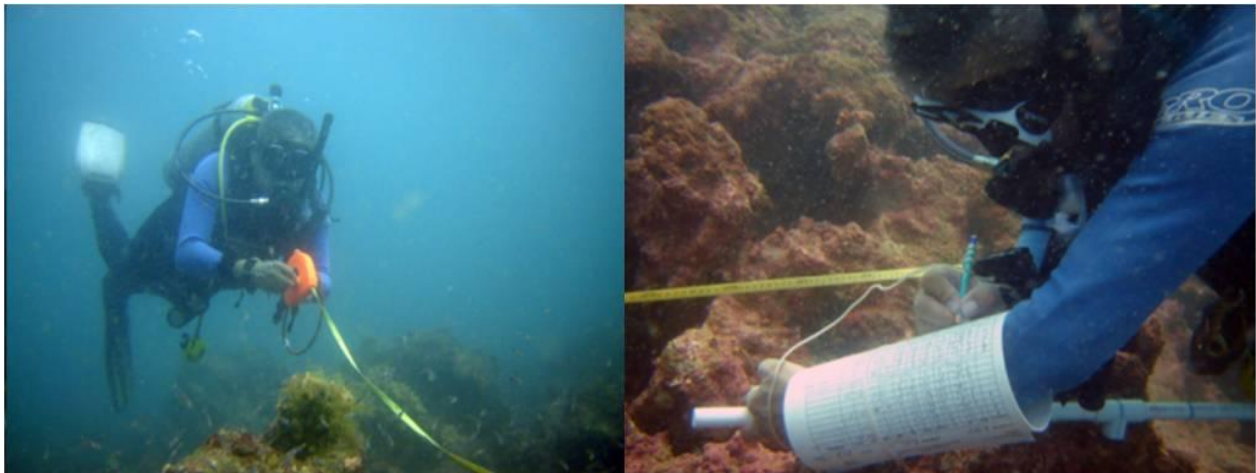


Figura 3. Realización de transectos

En cada transecto en línea, se procedió a detectar manualmente el número de colonias sanas y enfermas; así mismo, se determinó la enfermedad que lo afecta, con ayuda de guías de identificación de enfermedades coralinas (Apéndices 1 y 2); y el porcentaje de afectación por colonia por estimación visual (Horta-Puga y Tello-Musi 2009); finalmente, los datos se registraron *in situ* en una hoja de datos, previamente foliada.

Datos de descarga del río Jamapa

Para conocer el comportamiento mensual y delimitar las temporadas de lluvias y secas en los sitios de muestreo, se solicitaron a la CONAGUA los datos hidrométricos del gasto diario (m^3/s) de la estación hidrométrica Paso del Toro, estación más próxima a la desembocadura del Río Jamapa. Con los datos tomados manualmente durante una hora diaria del área (m^2) y la velocidad media (m/s) en la estación hidrométrica Paso del Toro, se determinó el gasto total diario (m^3/s). Con el cual posteriormente se calculó el promedio mensual durante el periodo 2009-2013; los datos del año 2014 no fueron agregados a este estudio debido a que la base de datos de la CONAGUA no estaba actualizada con los mismos. Finalmente se graficó en el programa Sigma Plot.

Procesamiento y análisis de datos

Con los datos tomados *in situ* se determinó:

- Proporción total de individuos enfermos.
- Proporción de individuos enfermos por arrecife.
- Proporción de individuos enfermos por campaña.
- Número total de enfermedades presentes.
- Número de enfermedades por arrecife
- Proporción de individuos enfermos por enfermedad

Con lo que, a su vez, se determinó la prevalencia de enfermedades coralinas en el periodo 2009-2014 en los arrecifes La Blanca, Chopas e Isla de Enmedio, así como las enfermedades con mayor abundancia en los sitios de muestreo. Y finalmente, estos datos se compararon con el gasto medio de la estación hidrométrica Paso del Toro. Posteriormente se realizó un Análisis de Varianza para un Diseño Experimental con un Factor (ANOVA) para evaluar si existen diferencias significativas entre la proporción de corales enfermos en los arrecifes La Blanca, Chopas e Isla de Enmedio. A su vez, mediante la Prueba de Fisher o de la Diferencia Mínima Significativa (LSD), se realizó la comparación múltiple de medias y se determinó el arrecife que difiere significativamente de los otros dos. Finalmente, mediante el análisis de correlación se midió la asociación entre la prevalencia promedio de enfermedades coralinas de los arrecifes La Blanca, Chopas e Isla de Enmedio por campaña y el gasto total de la descarga del Río Jamapa, 1 mes previo a la fecha del muestreo.

La Figura 4 muestra un diagrama de flujo que ejemplifica los métodos utilizados, paso por paso, para la consecución de este estudio.

Anexos

Se incluyó una guía de identificación de las enfermedades coralinas más frecuentes en el SAV (Apéndice I). Adicionalmente se incluye un catálogo fotográfico de individuos/colonias, que presentan las enfermedades más frecuentes en el SAV (Apéndice II).

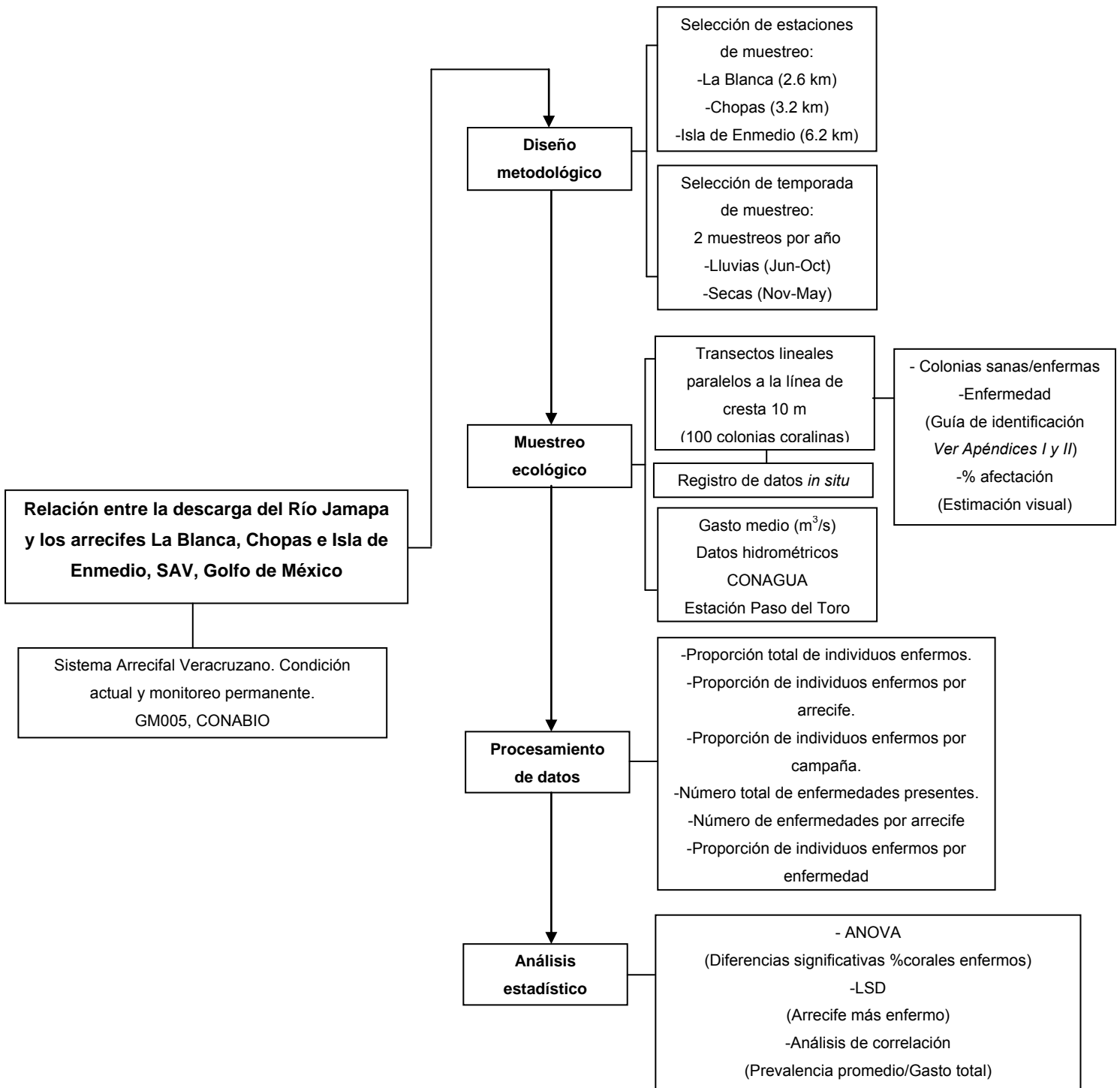


Figura 4. Diagrama de flujo que muestra la metodología aplicada en el presente estudio

RESULTADOS

Prevalencia

Con los datos obtenidos en el proyecto GM005 de la CONABIO “Sistema Arrecifal Veracruzano, condición actual y programa permanente de monitoreo”, se determinó la proporción total de corales enfermos en el periodo 2009-2014 (prevalencia), en los arrecifes La Blanca (9.0 %), Chopas (2.3 %) e Isla de Enmedio (1.2 %). Siendo el arrecife La Blanca, el arrecife con una mayor prevalencia de corales enfermos; mientras que Isla de Enmedio es el arrecife que presenta una menor prevalencia de corales enfermos, en relación a los otros dos arrecifes (Tabla 3), a su vez, para evaluar si la proporción de corales enfermos presenta diferencias significativas en los arrecifes La Blanca, Chopas e Isla de Enmedio, se utilizó el Análisis de Varianza para un Diseño Experimental con un Factor (ANOVA), donde $F_{0.05, 2, 27} = 6.802816901 > F = 3.47$; por lo tanto, existen diferencias significativas entre la proporción de corales enfermos en al menos un par de arrecifes. Después de que la H_0 fue rechazada en el análisis estadístico ANOVA, se determinó cuál arrecife es el que difiere significativamente de los otros dos, por lo que se aplicó una prueba de comparación múltiple de medias, mediante la prueba de Fisher o de la Diferencia Mínima Significativa (LSD). Donde $LSD = 8.57868677 < 11.5$ y 14.37 ; por lo tanto, el arrecife La Blanca es el arrecife cuya diferencia en el proporción de corales enfermos, es mayor que en los arrecifes Chopas e Isla de Enmedio.

La prevalencia que muestran los corales existentes en el arrecife La Blanca por campaña, es mayor en las campañas C-01= 23.7 %, C-03= 8.6 %, C-06= 11.0 % y C-08= 15.8 %; mientras que en el arrecife Chopas, las campañas con una mayor prevalencia son C-01= 4.2 %, C-03= 3.8 % y C-06= 6.5 %; a su vez, en el arrecife Isla de Enmedio, C-01= 3.4 % y C-05= 2.3 % son las campañas que presentan una mayor proporción de corales enfermos en el periodo 2009-2014 (Tabla 3).

Tabla 3
Proporción de corales enfermos (%) en relación al número total de corales encontrados por campaña en el periodo 2009-2014

Campaña	La Blanca		Chopas		Isla de Enmedio	
	n	%	n	%	n	%
C-01	101	23.7	188	4.2	115	3.4
C-02	122	0.8	126	0.0	163	0.6
C-03	139	8.6	156	3.8	148	1.3
C-04	167	6.5	174	2.3	154	1.9
C-05	147	2.0	151	0.0	170	2.3
C-06	136	11.0	230	6.5	122	0.8
C-07	178	6.7	259	1.9	221	0.4
C-08	296	15.8	289	1.0	315	0.3
C-09	200	4.5	228	0.4	178	1.1
Total	1486	9.0±0.2	1801	2.3±0.1	1586	1.2±0

C-01= Sep/09. C-02= Abr/10. C-03= Oct/10. C-04= Jun/11. C-05= Oct/11. C-06= Oct/12. C-07= Mar/13. C-08= Oct/13. C-09= Mar/14.

Enfermedades

Al determinar la proporción total de corales enfermos, se encontró que la enfermedad más abundante en los corales de los arrecifes La Blanca, Chopas e Isla de Enmedio, en el periodo 2009-2014, es Lunares Blancos con un total de 52.6 % de corales enfermos en los 3 arrecifes; mientras que la enfermedad menos abundante fue Necrosis Rápida con un total de 1.0 % corales enfermos, estando presente únicamente en los corales del arrecife Isla de Enmedio. A su vez, los corales presentes en los arrecifes La Blanca y Chopas, presentan 6 de las 7 enfermedades, no hallándose en ellos Necrosis Rápida; mientras que los corales existentes en el arrecife Isla de Enmedio, presentan las 7 enfermedades.

En el análisis de prevalencia por arrecifes (Tabla 4), se determinó que los corales del arrecife La Blanca presentan 6 de 7 enfermedades, siendo Lunares Blancos (73.1 ± 0.9) la enfermedad más abundante y Banda Negra (2.2 ± 0.5) e Hiperplasia (2.2 ± 0.7), las enfermedades menos encontradas en los corales del mismo. De igual manera, el arrecife Chopas, presenta 6 de las 7 enfermedades encontradas en los corales de los 3 arrecifes, siendo en este caso, Banda Amarilla (26.1 ± 2.4) la enfermedad más abundante, mientras que Banda Negra (4.7 ± 0.7), Hiperplasia (4.7 ± 0.5) y Lunares Blancos (4.7 ± 0.4), son las enfermedades menos recurrentes en los corales del mismo. Finalmente, los corales del arrecife Isla de Enmedio, presentan 7 enfermedades, siendo Mancha Negra (26.3 ± 0.9) la enfermedad más abundante y Banda Negra (5.2 ± 0.3) y Lunares Blancos (5.2 ± 0.3), las menos abundantes.

Tabla 4
Proporción de corales enfermos encontrados por arrecife ($\% \pm 1\sigma$), en los arrecifes La Blanca, Chopas e Isla de Enmedio, en el periodo 2009-2014

Enfermedad	La Blanca	Chopas	Isla de Enmedio
Banda Amarilla	4.4 ± 0.9	26.1 ± 2.4	10.5 ± 0.4
Banda Negra	2.2 ± 0.5	4.7 ± 0.7	5.2 ± 0.3
Hiperplasia	2.2 ± 0.7	4.7 ± 0.5	10.5 ± 0.7
Lunares Blancos	73.1 ± 14.1	4.7 ± 0.4	5.2 ± 0.3
Mancha Negra	8.2 ± 2.7	21.4 ± 1.4	26.3 ± 0.9
Necrosis Rápida	0	0	10.5 ± 0.7
Plaga Blanca	9.7 ± 3.5	38.1 ± 2.8	31.5 ± 0.8

Datos de descarga del río Jamapa

Con los datos de los aforos diarios de la Estación Paso del Toro, proporcionados por la Comisión Nacional del Agua, se determinó el Gasto Medio Mensual del Río Jamapa (Tabla 5). Dónde en los años 2009 y 2012, hubo un incremento en el gasto medio mensual en los meses Mayo a Noviembre, mientras que en el año 2010, el gasto medio mensual fue mayor en los meses Junio a Noviembre; en el año 2011, hubo un incremento en el gasto medio a partir del mes de Mayo y hasta Enero del año 2012. Finalmente, a partir de Junio de 2013, hubo un incremento en el gasto medio de la Estación Hidrométrica Paso del Toro.

Tabla 5
Gasto medio mensual de la Estación Hidrométrica Paso del Toro del Río Jamapa
(m³/s)

Mes	2009	2010	2011	2012	2013
Enero	524.0±2.4	963.4±13.8	463.7±2.0	481.8±1.8	432.2±1.6
Febrero	449.9±2.3	806.5±6.7	399.6±1.4	448.6±2.2	351.8±2.0
Marzo	351.0±1.6	544.7±3.8	360.0±1.3	273.6±2.0	345.4±1.6
Abril	288.0±1.1	1183.2±34.7	321.1±0.4	461.2±8.7	302.4±1.4
Mayo	399.6±4.6	475.9±4.9	294.7±0.6	371.4±10.2	460.6±13.4
Junio	1443.6±52.3	938.5±25.4	700.9±20.6	2691.0±73.9	1960.5±46.4
Julio	3304.9±101.3	6526.9±110.1	2619.7±49.3	3850.8±38.4	3663.3±70.4
Agosto	1545.8±27.8	4689.1±54.8	966.9±8.8	3400.1±69.8	
Septiembre	5191.4±101.8	8826.7±151.8	574.4±3.5	3498.4±34.5	
Octubre	2609.3±38.8	1726.6±29.4	4854.8±109.2	2559.9±37.9	
Noviembre	1455.5±35.0	780.2±5.8	2843.2±40.0	1140.4±9.4	
Diciembre	723.8±2.4	555.3±1.5	3461.7±69.8	705.5±9.1	

Relación prevalencia-descarga

Finalmente, para determinar la asociación entre la prevalencia promedio de enfermedades coralinas de los arrecifes La Blanca, Chopas e Isla de Enmedio por campaña y el gasto total de la descarga del Río Jamapa 1 mes previo de la fecha del muestreo, se realizó un análisis de correlación, donde el arrecife La Blanca ($r= 0.50$; $p= 0.25$), presenta la menor correlación en relación a los arrecifes Chopas ($r= 0.52$; $p= 0.22$) e Isla de Enmedio ($r= 0.66$; $p= 0.10$), siendo el arrecife Isla de Enmedio el que presenta la mayor correlación de los 3 arrecifes. Señalando a su vez, que los 3 arrecifes y la correlación general de los mismos ($r= 0.57$; $p= 0.18$), siempre presenta un coeficiente de correlación < 0.5 , por lo que su grado de asociación va de moderada a fuerte.

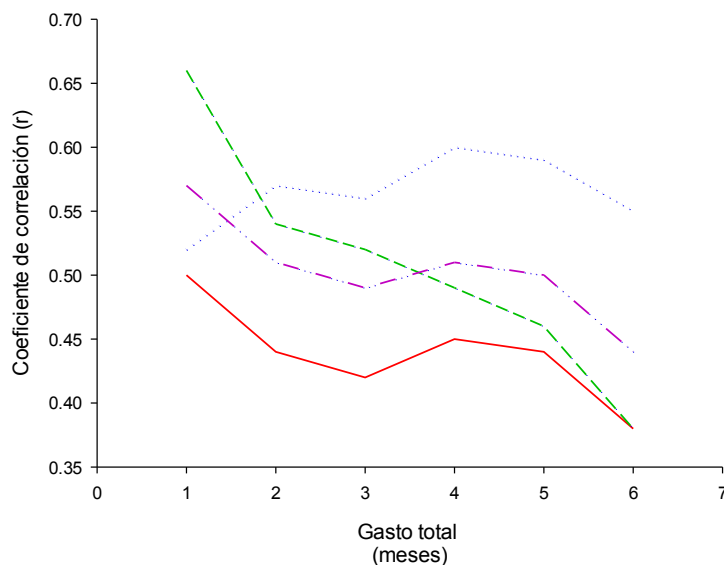


Figura 5. Correlación del gasto total del Río Jamapa y la prevalencia de enfermedades coralinas; en rojo arrecife La Blanca; en azul, arrecife Chopas; en verde, arrecife Isla de Enmedio; en morado; total de los 3 arrecifes.

DISCUSIÓN

Análisis comparativo de la prevalencia de enfermedades coralinas

En términos generales el 5.1% de todos los corales muestreados (3,766 colonias) durante las campañas de muestreo presentaron alguna enfermedad. Esta proporción es alta si se compara con los datos para las mismas localidades para el periodo 2006-2007, en el cual la proporción de colonias enfermas fue de 1.7% (Horta-Puga y Tello-Musi 2009, Carricart-Ganivet et al. 2011). La enfermedad que se presentó con mayor frecuencia para el periodo de muestreo contemplado en este estudio (2009-2014), fue la enfermedad denominada Lunares Blancos, que afectó a un 52.6% (n=101) de los corales enfermos. Le siguió la enfermedad de la Plaga Blanca con un total de 18.2% (n=35) de corales afectados. Y con un menor grado de afección Mancha Negra (13.0%; n=25), Banda Amarilla (9.9%; n=19), Hiperplasia (3.6%; n=7), Banda Negra (3.1%; n=6), y Necrosis Rápida (1.0%; n=2) (Figura 6).

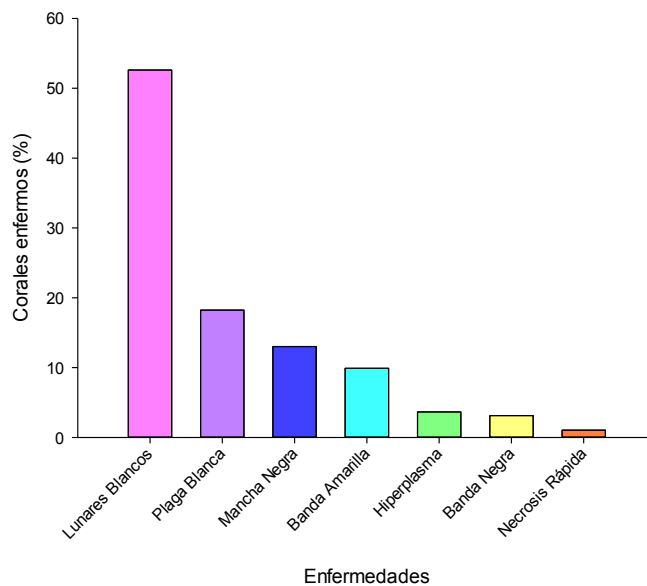


Figura 6. Proporción de corales enfermos en los arrecifes La Blanca, Chopas e Isla de Enmedio por tipo de enfermedad (n= 3766).

El arrecife donde se presentó una mayor prevalencia de enfermedades en la comunidad coralina fue el arrecife La Blanca, cuyo valor promedio de afección fue de 9.0% (n= 134), seguido de Chopas con 2.3% (n= 42), e Isla de Enmedio con 1.2% (n= 19) (Figura 7). Esto es diferente de lo registrado por Horta-Puga y Tello-Musi (2009) y Carricart-Ganivet et al. (2011) para los mismos sitios de muestreo (Figura 7).

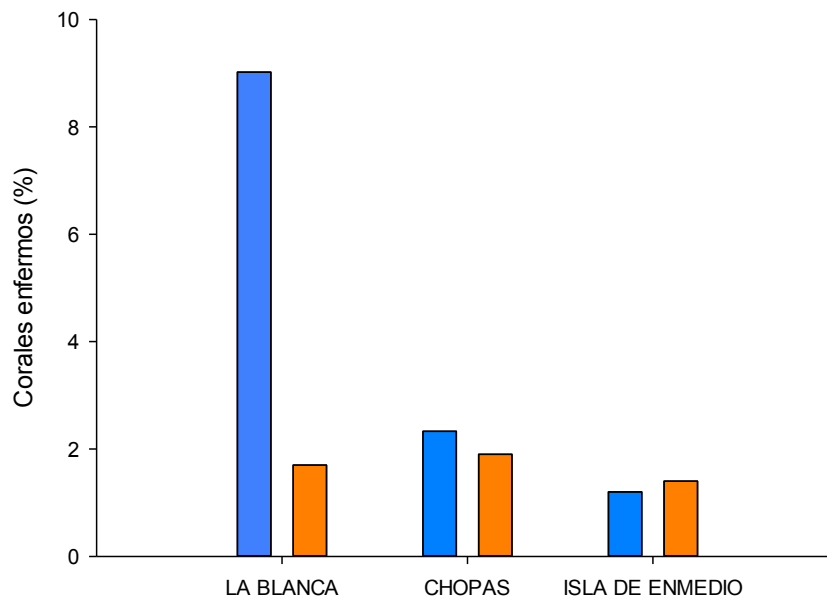


Figura 7. Proporción total de corales enfermos por arrecife en el periodo 2009-2014 en los sitios de muestreo de este estudio (barras azul); y proporción de corales enfermos reportada por Carricart-Ganivet et al. (2011) (barra naranja).

Así, se observa un gradiente definido en el cual el arrecife más cercano tiene una mayor proporción de corales enfermos, que los arrecifes Chopas e Isla de Enmedio.

Análisis comparativo de la prevalencia de enfermedades en corales con diferentes formas de crecimiento

Dado que el muestreo en el que se basan los resultados que se obtuvieron para este estudio, fue diseñado sólo para determinar el grado de afección de la comunidad coralina y no de las especies de coral que la componen, por lo tanto, los datos obtenidos no son representativos como para poder discutir lo que sucede con cada especie de coral hermatípico presente. Así, sólo se intentó determinar si existían diferencias en el grado de afección mostrado por las distintas formas de crecimiento coralino, como son las colonias masivas, encostrantes y laminares (Figura 8).

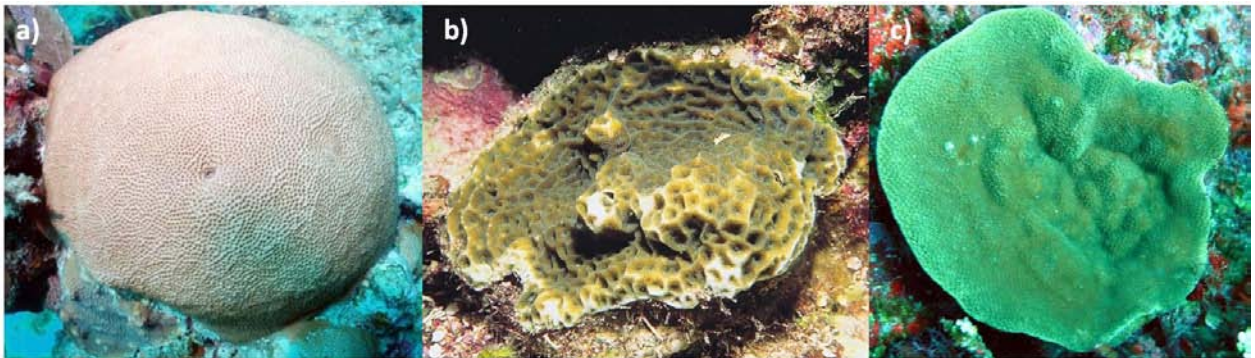


Figura 8. a) Ejemplo de corales masivos (*Siderastrea siderea*); b) encostrantes (*Agaricia fragilis*); y c) laminares (*Porites astreoides*).

La Figura 8 muestra la proporción de colonias afectadas por cada forma de crecimiento. Para cada forma de crecimiento se incluyeron las siguientes spp.:

Masivas: *Colpophillia natans*, *Pseudiploria clivosa*, *Pseudodiploria strigosa*, *Montastrea cavernosa*, *Orbicella annularis*, *Orbicella faveolata*, *Orbicella franksi*, *Siderastrea radians*, *Siderastrea siderea*, *Stephanocoenia intersepta*, *Manicina areolata*,

Encostrantes: *Agaricia fragilis*, *A. lamarcki*, *A. humilis*, *A. agaricites*, *Scolymia cubensis*, *Porites branneri*, *Mussa angulosa*, *Leptoseris cucullata*, *Mycetophillia lamarckiana*, *M. danaana*.

Laminares: *Porites astreoides*.

Como se puede observar, las colonias masivas son más susceptibles a presentar alguna enfermedad. Sin embargo, dado que no tenemos un número de corales suficiente, por lo tanto, este resultado debe ser tomado con reserva, y no puede ser conclusivo.

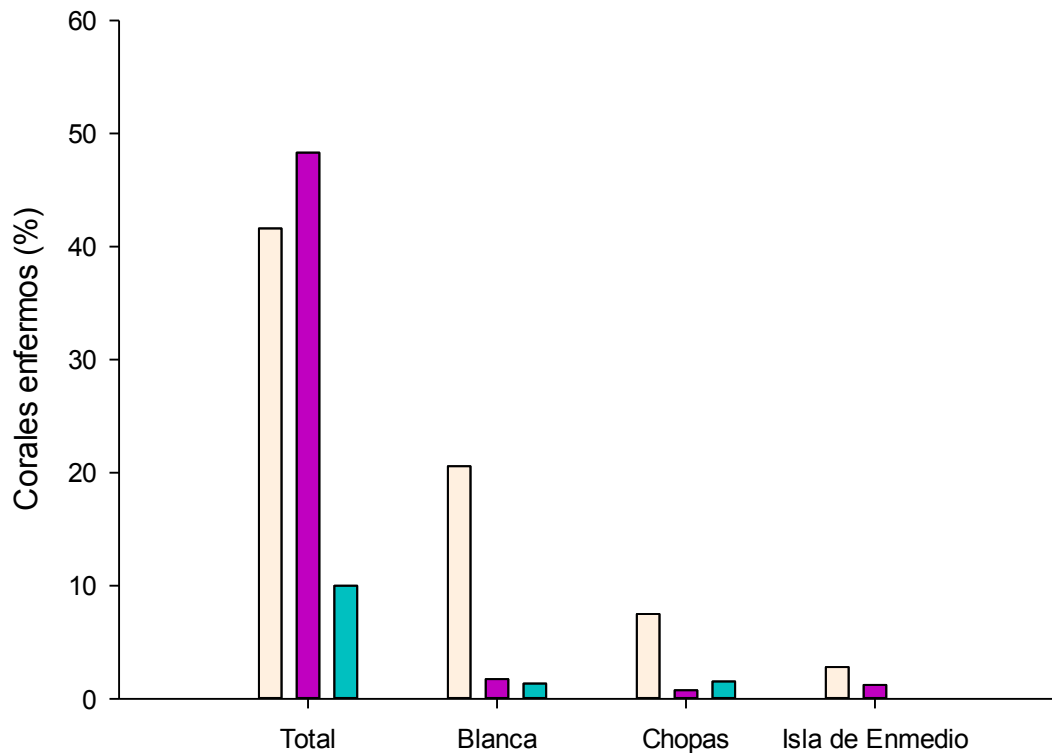


Figura 9. Proporción de corales enfermos por tipo de crecimiento: corales masivos (blanco); corales encostrantes (violeta); corales laminares (azul).

Variación espacial en la prevalencia de las enfermedades coralinas

La Figura 7 también muestra que la proporción promedio total de corales enfermos es más alta en el arrecife La Blanca que en los otros dos arrecifes. Y la diferencia es estadísticamente significativa ($F_0=6.802816901 > F=3.47$). Este comportamiento observado es lo esperado, considerando que la fuente principal de patógenos

causantes de enfermedades deriva de la descarga del río Jamapa. Así, el arrecife más cercano a la desembocadura (10.6 km) presenta una mayor prevalencia.

Variación temporal en la prevalencia de enfermedades coralinas

La prevalencia promedio total de enfermedades coralinas en los 3 arrecifes muestreados a lo largo del periodo de muestreo, muestra en términos generales un comportamiento similar (Figura 10). La prevalencia presenta valores más altos durante la época de lluvias (septiembre-octubre: barras de color azul), y generalmente más bajos en época de secas (marzo-abril: barras de color claro). Estos resultados están acorde con la hipótesis enunciada, así, durante los periodos de mayor descarga fluvial en la zona costera del Golfo de México (verano boreal), que corresponden a la época de lluvias (Carrillo et al. 2007), la prevalencia aumenta. Este comportamiento se repite en mayor o menor intensidad en todos y cada uno de los sitios de muestreo. Adicionalmente, esto explica también la mayor variabilidad estadística de la serie de tiempo correspondiente al arrecife La Blanca (CV= 0.34), con respecto a Chopas (CV= 0.33), e Isla de Enmedio (CV= 0.25); así, mientras un arrecife se encuentre más alejado de la desembocadura del río Jamapa, y por lo tanto menos influenciado, la variabilidad será menor y, posiblemente, la prevalencia se acercará a los valores naturales propios de un ambiente arrecifal. La correlación entre el volumen de descarga acumulado, sumatoria de la descarga diaria durante el mes previo al momento del muestreo, es alta, ya que el coeficiente de correlación lineal entre parámetros (gasto total: m³/s vs. prevalencia: %), es: $r \geq 0.57$ ($p < 0.05$). Así, se presenta evidencia importante de que no sólo la prevalencia es mayor en los sitios de muestreo más cercanos a la desembocadura, sino que también la prevalencia presenta una relación positiva y directamente proporcional con el volumen de descarga.

Relación entre la descarga del río Jamapa y la prevalencia de enfermedades coralinas

La cuenca hidrológica del río Jamapa, desde su nacimiento en el flanco oriente del Pico de Orizaba, hasta su desembocadura en el Golfo de México, a mitad del Sistema Arrecifal Veracruzano (Carrillo et al. 2007), presenta diversos usos de suelo, y durante en el último siglo más del 70% de los ecosistemas naturales se han visto modificados, pasando de grandes bosques mesófilos de montaña, selvas bajas sub-caducifolias y manglares, a grandes zonas agrícolas y ganaderas, además de zonas urbanas e industriales (Carriquiry y Horta-Puga 2010). Este cambio en el uso de suelo genera una gran cantidad de materia orgánica, proveniente de residuos sólidos, desechos de animales y de cultivos, los cuales alojan a diversos organismos patógenos, que pueden drenarse fácilmente por el subsuelo y llegar al río debido a la deforestación y cambio de hábitat (Ramos Scharrón et al. 2015) o ser directamente desechados al cauce del río, entrando así en contacto con el agua (Calderón 1991). Diversos estudios han demostrado que se puede presentar un aumento en la severidad de la enfermedad de la Banda Amarilla, como consecuencia de un aumento en la descarga de aguas residuales, y por lo tanto, con un mayor número de patógenos (Bruno et al. 2003, Redding 2013). Así, durante la época de lluvias, una mayor cantidad de patógenos son finalmente transportados por el río hasta su desembocadura, y de ahí a los corales del Sistema Arrecifal Veracruzano, alterando la dinámica de las enfermedades coralinas, potencialmente provocando una mayor prevalencia y severidad de las enfermedades en los arrecifes cercanos a la costa, tal y como podemos observar en el caso del arrecife La Blanca. Es importante señalar que este patrón de aumento en la prevalencia que coincide con un aumento en la descarga también ha sido observado en los arrecifes de Puerto Rico (Larsen y Webb 2009). Así, durante la época de lluvias aumenta el volumen de agua descargado por el río Jamapa hacia la costa el cual, potencialmente, acarrea un mayor número de patógenos en la columna de agua, lo que ocasiona que haya una mayor prevalencia general de enfermedades en los 3 arrecifes muestreados en este estudio (Figura 10).

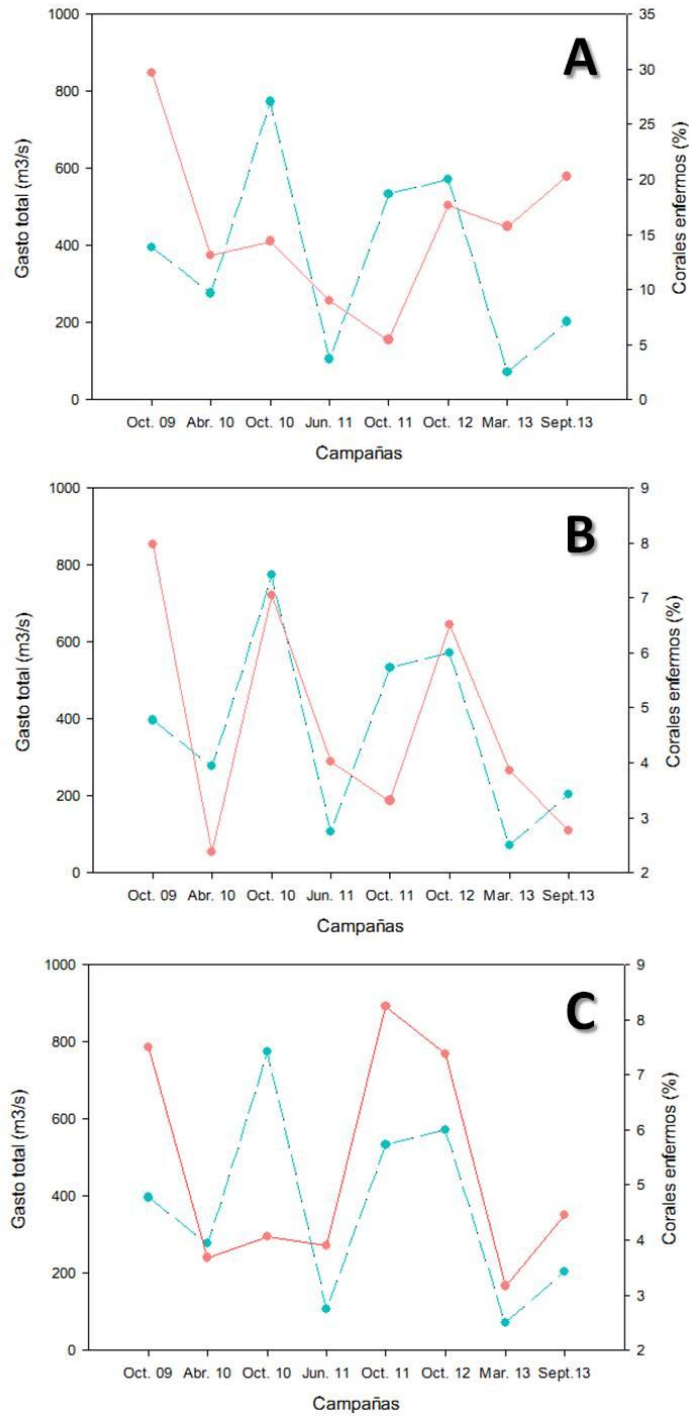


Figura 10. Relación entre la prevalencia promedio (%), en color rosa; y la descarga fluvial del río Jamapa (Gasto total m³/s), en color azul; A) Arrecife La Blanca; B) Arrecife Chopas; C) Arrecife Isla de Enmedio.

CONCLUSIONES

Se identificaron 7 enfermedades coralinas que afectan a los corales hermatípicos en los arrecifes La Blanca, Chopas e Isla de Enmedio: Banda Amarilla, Banda Negra, Hiperplasia, Lunares Blancos, Mancha Negra y Plaga Blanca.

La enfermedad con con mayor frecuencia se presentó fue: Lunares Blancos (52.6%), seguida de Plaga Blanca (18.2%), y Mancha Negra (13.0%).

Presumiblemente, los corales con forma de crecimiento masiva, presentaron una mayor prevalencia en los tres arrecifes.

El arrecife La Blanca presenta una mayor prevalencia de enfermedades coralinas.

Existe una mayor proporción de corales enfermos en época de mayor descarga.

El río Jamapa influencia directamente a la proporción de corales enfermos presentes en el arrecife La Blanca, presentando un menor impacto en los arrecifes Chopas e Isla de Enmedio.

La descarga del río Jamapa afecta directamente a la prevalencia de enfermedades coralinas a lo largo del año, aumentando la proporción de corales enfermos en época de mayor descarga y disminuyendo en época de secas en los tres arrecifes muestreados, a lo largo de las campañas 2009 a 2014.

CONSIDERACIONES FINALES

El presente estudio, no fue diseñado para el estudio particular de cada una de las enfermedades coralinas encontradas, así como tampoco para determinar que especie se ve mayormente afectada. Pero si nos permitió determinar la relación que existe entre la descarga y las enfermedades coralinas, a través del tiempo y con un gradiente longitudinal, por lo que se recomienda lo siguiente:

Es importante realizar estudios de enfermedades coralinas, y por tanto diseñar muestreos aptos para cubrir el objetivo.

Se recomienda realizar estudios que nos permitan conocer la enfermedad de Lunares Blancos.

Se requiere, a su vez, enfatizar en las posibles causas de cada una de las enfermedades reportadas para el SAV

BIBLIOGRAFÍA

- Antonius A, 1977. Coral mortality in reefs: a problem for science and management. Proc 3rd Int Coral Reef Symp Miami 2:617–623
- Antonius A, 1981. The “Band” diseases in coral reefs. Proc. 4th Int. Coral Reef Symp. 2: 7-14.
- Antonius A, 1999. Halofolliculina corallasia, a new coral-killing ciliate on Indo-Pacific reefs. Coral Reefs, 18 (3): 300.
- Bruckner A y RJ Bruckner, 1997. Outbreak of coral disease in Puerto Rico. Coral Reefs, 16 (5): 260.
- Bruno JF, LE Peters, CD Harvell y A Hettinger, 2003. Nutrient enrichment can increase the severity of coral diseases. Ecology Letters. 6:1056-1061.
- Calderon RL, EW Mood y AP Dufour, 1991. Health effects of swimmers and nonpoint sources of contaminated water. Journal of Environmental and Health 21-31.
- Carricart-Ganivet JP y G Horta-Puga. 1993. Arrecifes de coral en México. En: Biodiversidad Marina y Costera de México, SI Salazar Vallejo y NE Gonzáles (eds.), CONABIO y CIQRO, México. p 80-90.
- Carricart-Ganivet JP, AU Beltrán-Torres y G Horta-Puga. 2011. Distribution and prevalence of coral diseases in the Veracruz Reef System, Southern Gulf of Mexico. Diseases of Aquatic Organisms. 95:181-187.
- Carrillo L, G Horta-Puga, JP Carricart-Ganivet, 2007. Clima y oceanografía. En: Tunnell JW, EA Chávez y K Withers (eds). Coral reefs of the Southern Gulf of Mexico. Texas A&M University Press, College Station, p 48-59
- Carriquiry JD y Horta-Puga G, 2010. The Ba/Ca record of corals from the Southern Gulf of Mexico: Contributions from land-use changes, fluvial discharge and oil drilling muds. Marine Pollution Bulletin. 60:1625-1630.
- Casey JM, TD Ainsworth, JH Choat y SR Connolly, 2014. Farming behavior of reef fishes increases the prevalence of coral disease associated microbes and black band disease. Proceedings of the Royal Society, 281:20141032.
- Cervino J, TJ Goreau, I Nagelkerken, GW Smith y R Hayes, 2001. Yellow band and dark spots syndromes in Caribbean corals: distribution, rate of spread, cytology,

- and effects on abundance and division rate of zooxanthellae. *Hydrobiology*, 460:53-63.
- Cervino J, RL Hayes, SW Polson, SC Polson, TJ Goreau, RJ Martínez y GW Smith, 2004. Relationship of *Vibrio* species infection and elevated temperatures to yellow blotch/band disease in Caribbean corals. *Applied and Environmental Microbiology*, 70: 6855-6864.
- CONAGUA. 2011. Estadística del agua en México, pp 30.
- Cooney RP, Pantos O, Le Tissier MDA, Barer MR, O'Donnell AG, Bythell JC (2002) Characterization of the bacterial consortium associated with black band disease in coral using molecular microbiological techniques. *Environ Microbiol* 47:401–413
- Denner EBM, Smith G, Busse HJ, Schumann P, Narzt T, Polson SW, Lubitz W, Richardson LL (2003) *Aurantimonas coralicida* gen. nov., sp. nov., the causative agent of white plague type II on Caribbean scleractinian corals. *Int J Syst Evol Microbiol* 53:1115–1122
- Ducklow H, Mitchell R (1979b) Observations on naturally and artificially diseased tropical corals: a scanning electron microscope study. *Microbiol Ecol* 5:215–223
- Dustan P, 1977. Vitality of reef coral populations off Key Largo, Florida: recruitment and mortality. *Environmental Geology*. 2:51-58.
- Francini-Filho R, R Reis, P Meirelles, R Moura, F Thompson, R Kikuchi y L Kaufman, 2010. Seasonal prevalence of White plague like disease on the endemic Brazilian reef coral *Mussismilia braziliensis*. *Latinamerican Journal of Aquatic Research*, 38:292-296.
- Frías-López JA, GT Bonheyo, Q Jin y BW Fouke, 2003. Cyanobacteria associated with coral black band disease in Caribbean and Indo-Pacific reefs. *Applied and Environmental Microbiology*, 69:2409-2413.
- Garrett P y Ducklow H, 1975. Coral diseases in Bermuda. *Nature* 253:349–350
- Gil-Agudelo DL y J Garzón-Ferreira, 2001. Spatial and seasonal variation of the dark spots disease in coral communities of the Santa Marta area (Colombian Caribbean). *Bulletin of. Marine Science*, 69:619-629.

- Gil-Agudelo DL, DP Fonseca, E Weil, J Garzón-Ferreira y GW Smith, 2007. Bacterial communities associated with the mucopolysaccharide layers of three coral species affected and unaffected with dark spots disease. *Journal of Microbiology*. 53:465-471.
- Gil-Agudelo D, R Navas-Camacho, A Rodríguez-Ramírez, M Reyes-Nivia, S Bejarano, J Garzón-Ferreira y G Smith, 2009. Enfermedades coralinas y su investigación en los arrecifes colombianos. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. 38:189-224.
- Gladfelter WB, (1982). White-band disease in *Acropora palmata*: implications for the structure and growth of shallow reefs. *Bulletin of Marine Science* 32:639–643.
- Glas MS, CA Motti, AP Negri, Y Sato, A Froscio, AR Humpage, BKrock, A Cembella y DG Bourne, 2010. Cyanotoxins are not implicated in the etiology of coral black band disease outbreaks on Pelorus Island, Great Barrier Reef. *Microbiology Ecology* 73:43-54
- Gutierrez-Ruiz CV, MAM Román-Vives, CH Vergara y El Badano, 2011. Impact of anthropogenic disturbances on the diversity of shallow stony corals in the Veracruz Reef System National Park. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 82: 249-260.
- Harvell CD, 2007. Coral disease, environmental drivers, and the balance between coral and microbial associates. *Oceanography*, 20: 172-195.
- Hobbs JPA y AJ Frisch, 2010. Coral disease in the Indian Ocean: taxonomic susceptibility, spatial distribution and the role of host density on the prevalence of White Syndrome. *Diseases of Aquatic Organisms*, 89:1-8.
- Horta-Puga G, 2003. Condition of selected reef sites in the Veracruz Reef System (Stony corals and Algae). En: Lang JC. 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.
- Horta-Puga G, 2007. Impactos ambientales. En: Tunnell JW, EA Chávez y K Withers (eds). *Coral reefs of the Southern Gulf of Mexico*. Texas A&M University Press, College Station, p 183-236.

- Horta-Puga G y JL Tello-Musi, 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 y JL Tello Musi. 2010. Sistema Arrecifal Veracruzano: condición actual y programa permanente de monitoreo. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. GM005. México D. F.
- Jordán-Dahlgren, 2004. Arrecifes coralinos del Golfo de México: caracterización y diagnóstico. En: Caso M, I Pisanty y E Ezcurra (compiladores). Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Instituto de Ecología AC y Harte Research Institute for Gulf of Mexico Studies, p 555-572.
- Kaczmarzky L y LL Richardson, 2011. Do elevated nutrients and organic carbón on Philippine reefs increase the prevalence of coral disease?. *Coral Reefs*, 30:253-257.
- Kinne O (1980) Diseases of marine animals: general aspects. In: Kinne O (ed) Diseases of marine animals, Vol 1. General aspects, Protozoa to Gastropoda. John Wiley & Sons, New York
- Kushmaro, A., E. Rosenberg, M. Fine y Y. Loya. 1997. Bleaching of the coral *Oculina patagonica* by *Vibrio* AK -1. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 147: 159-165.
- Larsen MC y RMT Webb, 2009. Potencial effects of runoff, fluvial sediment, and nutrient discharges on the coral reefs of Puerto Rico. *Journal of Coastal Research*. 25(1): 189-208.
- Muller EM y R Van Woesik, 2012. Caribbean coral diseases: primary transmission or secondary infection?. *Global Change Biology*. 18, 3529-3535, doi: 10.1111/gob.12019.
- Mumby PJ, 2009. Herbivory versus corallivory: are parrotfish good or bad for Caribbean coral reefs?. *Coral Reefs* 28:683-690.

- Patterson KL, JW Porter, SW Poison, E Mueller, EC Peters, DL Santavy y GW Smith, 2002. The etiology of white pox, a lethal disease of the Caribbean elkhorn coral, *Acropora palmata*. PNAS. 99(13):8725-8730.
- Peters EC (1997) Diseases of coral reef organisms. In: Birkeland C (ed) Life and death of coral reefs. Chapman & Hall, New York, p 114–139
- Pollock FJ, Morris PJ, Willis BL, Bourne DG (2011) The Urgent Need for Robust Coral Disease Diagnostics. PLoS Pathog 7(10): e1002183.
- Porter JW, C Torres, KP Sutherland, MK Meyers, MK Callahan, R Ruzicka y M Colella, 2011. Prevalence, severity, lethality, and recovery of dark spots syndrome among three Floridian reef-building corals. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 408:79-87.
- Ramos-Scharrón CE, D Torres-Pulliza, EA Hernández-Delgado, 2015. Watershed and island wide-scale land cover changes in Puerto Rico (1930s-2004) and their potential effects on coral reef ecosystems. Science of the Total Environment. 506-507:241-251.
- Ravindran, J. y C. Raghukumar. 2002. Pink line syndrome (PLS) in the scleractinian coral *Porites lutea*. Coral Reefs, 21 (3): 252.
- Raymundo, L. J. H., C. D. Harvell y T. L. Reynolds. 2003. *Porites* ulcerative white spot disease: description, prevalence, and host range of a new coral disease affecting Indo-Pacific reefs. Dis. Aquat. Org., 56: 95-104.
- Raymundo L y Harvell CD, 2008. The objectives and scope of this manual. En: Raymundo LJ, Couch CS, Harvell CD (eds). Coral disease handbook. Currie Communications, Melbourne, p 7–16.
- Reeves, L. 1994. Newly discovered: Yellow band disease strikes Keys Reefs. Underwater USA, 11 (8): 16.
- Redding JE, RL Myers-Miller, DM Baker, M Fogel, LJ Raymundo y K Kim, 2013. Link between sewage-derived nitrogen pollution and coral disease severity in Guam. Marine Pollution Bulletin, 79, 57-63.
- Richardson L, 1998. Coral diseases: What is really known?. Trends Ecology and Evolution. 13:438-443.

- Richardson L, Goldberg WM, Kuta KG, Aronson RB, Smith GW y Ritchie KB, 1998. Florida's mystery coral-killer identified. *Nature* 392: 557–558.
- Ritchie KB, Smith GW (1995a) Carbon-source utilization patterns of coral associated marine heterotrophs. *J Mar Biotechnol* 3:105–107
- Rützler K, Santavy D (1983) The black band disease of Atlantic reef corals. I. Description of a cyanophyte pathogen. *PSZN I: Mar Ecol* 4:301–319
- Schnell S, Assmus B, Richardson LL (1996) Role of sulfate-reducing bacteria in the black band disease of corals. Annual Meeting of the VAAM (Vereinigung fuer Allgemeine und Angewandte Mikrobiologie) and GBCH (Gesellschaft fuer Biologische Chemie). *Biospektrum*, p 116
- Squires DF, 1965. Neoplasia in a coral?. *Science*. 148:503-505
- Stedman TL, 2000. Stedman's medical dictionary, 27 edición. Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore
- Sutherland, K. P., J. W. Porter y C. Torres. 2004. Disease and immunity in Caribbean and Indo-Pacific zooxanthellate corals. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 266: 273-302.
- Tunnell JW, 2007. Distribución de los arrecifes. En: Tunnell JW, EA Chávez y K Withers (eds). *Coral reefs of the Southern Gulf of Mexico*. Texas A&M University Press, College Station, p 48-59.
- Thurber RIE, DE Burkepile, C Fuchs, AA Shantz, R McMinds y JR Zaneveld, 2014. Chronic nutrient enrichment increases prevalence and severity of coral disease and bleaching. *Global Change Biology*, 20:544-554.
- Weil, E., G. Smith y D. L. Gil-Agudelo. 2004. Status and progress in coral reef disease research. *Dis. Aqua. Org.*, 69 (1): 1-7
- Weil E y AJ Hooten, 2008. Underwater Cards for Assessing Coral Health on Caribbean Reefs. *Targeted Research & Capacity Building for Management*, pp 28.
- Willis, B. L., C. A. Page y E. A. Dinsdale. 2004. Coral disease in the Great Barrier Reef. 69-104. En: Rosenberg, E. y Y. Loya (Eds.). *Coral health and disease*. Springer-Verlag, Berlín. 488 p.
- Work TM y RA Rameyer, 2005. Characterizing lesions in corals from American Samoa. *Coral Reefs* 24:384-390

APÉNDICE I

GUÍA DE IDENTIFICACIÓN DE ENFERMEDADES CORALINAS DE LOS ARRECIFES LA BLANCA, CHOPAS E ISLA DE ENMEDIO, SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO, GOLFO DE MÉXICO

- 1) El coral es un acropórido (*A. palmata* ó *A. cervicornis*) (2)
El coral no es un acropórido (3)

- 2) El coral presenta una mancha de coloración blanca, que se expande uniformemente formando un arco o banda, que progresa de la base a las ramas. Algunas veces precedida por esqueleto expuesto, en el cual se asientan posteriormente comunidades algales (Banda Blanca)

El coral presenta un esqueleto abultado y poroso que crece sobre los pólipos a lo largo de las ramas del coral. Se presenta en *Acropora palmata* (Neoplasma)

El coral presenta lesiones de forma irregular donde desaparece el tejido coralino, dándole una coloración blanca, a través de la superficie coralina de forma ubicua. Se encuentra únicamente en colonias de la especie *Acropora palmata* (Mancha Blanca)

El coral presenta un desarrollo de células epidérmicas en el borde del tejido coralino, formando una pared que impide el asentamiento algal. Se presenta en *A. cervicornis* y organismos de otras especies no acropóridos (Hiperplasia)

3) El coral presenta una o más bandas con coloración diferente (4)

El coral presenta una o más manchas con coloración diferente (5)

El coral presenta un desarrollo de células epidérmicas en el borde del tejido coralino, formando una pared que impide el asentamiento algal. Se presenta en *C. natans*, *D. strigosa*, *O. annularis*, *Porites astreoides*, *P. porites*, *S. radians*, *S. siderea* y *A. cervicornis* (Hiperplasia)

El coral no presenta las capas superiores del tejido y esqueleto debido a la mordida de peces loro. El tejido coralino puede presentar hongos y ciliados (Necrosis Rápida)

4) El coral presenta parches circulares o irregulares en el tejido, con coloración amarillo brillante traslucido, formando bandas; presente en los géneros *Montastrea* y *Orbicella* (Banda Amarilla)

El coral presenta banda con coloración roja, entre el tejido vivo y el muerto; el cual se desplaza horizontalmente sobre la superficie del coral, degradando el tejido del mismo (Banda Roja)

El coral presenta banda con coloración negra, la cual rodea tejido necrosado (Banda Negra)

- 5) El coral presenta una mancha blanca delimitada por un margen que separa el tejido vivo del esqueleto, el cual se puede encontrar en cualquier punto de la colonia y está presente en corales masivos y encostrantes

(Plaga Blanca)

La superficie coralina presenta pequeñas manchas redondas, con bordes definidos, de coloración blanca translúcida o un poco más clara a la que presenta el resto de la colonia coralina, no presenta depresión evidente y están presentes las capas superiores del tejido coralino. La distribución en la colonia no es regular y el número de puntos/zonas puede variar con el tiempo. Frecuentemente los bordes de la colonia presentan una coloración más clara que el resto del coral.

(Lunares Blancos)

El coral presenta pequeñas manchas redondas de color negro, las cuales presentan una depresión en la superficie coralina. Afecta a *Montastrea cavernosa*, *M. franski*, *Siderastrea siderea*, *Orbicella annularis*, *O. faveolata*, *Diploria strigosa*, *Colpophillia natans*, *Agaricia agarites* y *Stephanocoenia intercepta*

(Mancha Negra)

APÉNDICE II

DESCRIPCIÓN DE LAS ENFERMEDADES OBSERVADAS EN CORALES HERMATIPIICOS DE LOS ARRECIFES LA BLANCA, CHOPAS E ISLA DE ENMEDIO, SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO

Banda Amarilla
(Yellow Band/Blotch Disease)

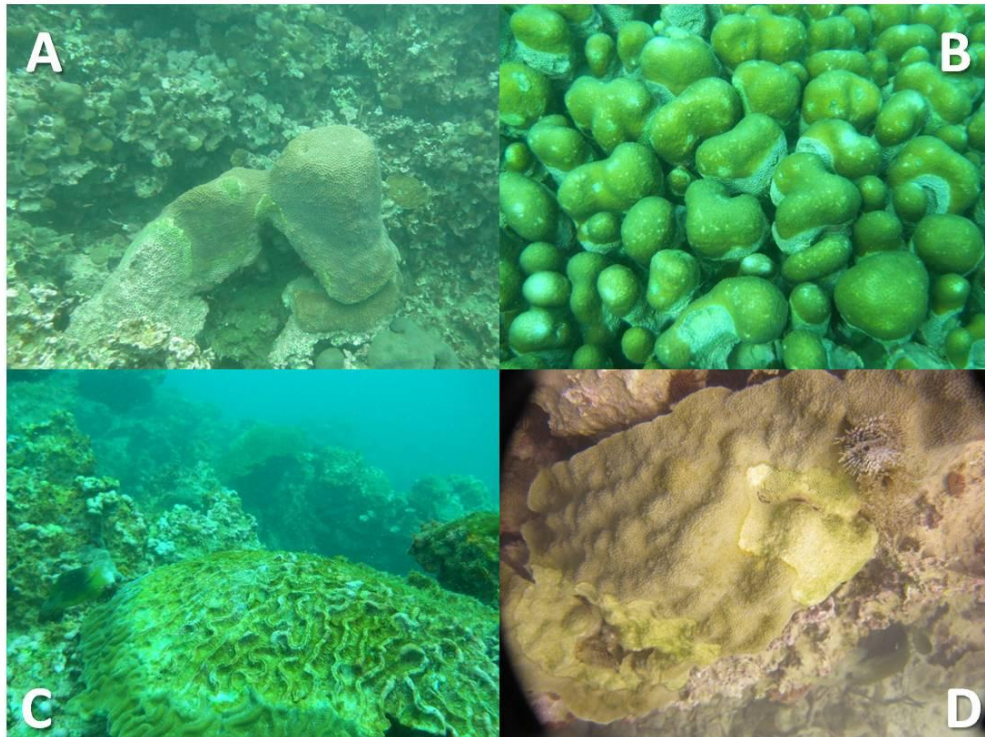


Figura 11. Enfermedad de Banda Amarilla en los corales de los arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano. A) *Montastrea cavernosa* B)

Descripción de la enfermedad. Se presenta como parches circulares o irregulares en el tejido coralino, con coloración amarillo brillante translucido, formando bandas con bordes irregulares, las cuales separan al tejido vivo del necrosado. Dicha enfermedad afecta principalmente a las zooxantelas (*Symbiodinium* sp.) de los clados A y E, registrando una disminución de las mismas entre el 41 al 97% en las colonias enfermas (Cervino et al. 2001).

Agente causal. Consorcio microbiano del género *Vibrio* sp, conformado por YB36, YBM23, YBFL3122 y YBFLG2A principalmente (Cervino et al. 2004).

Banda Negra
(Black Band Disease)

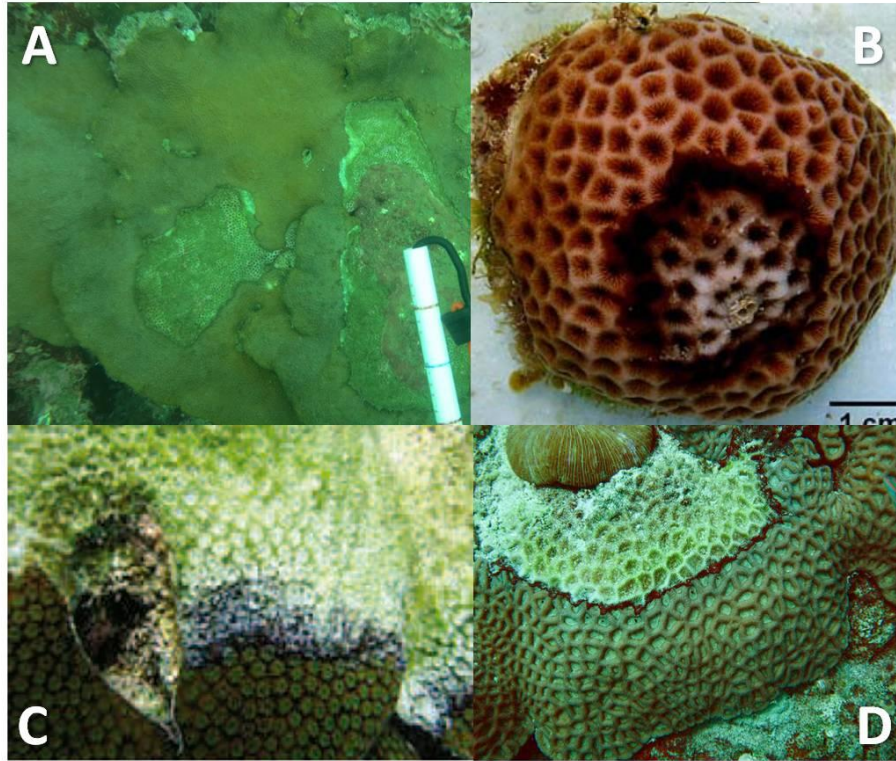


Figura 12. Enfermedad de Banda Negra. A) *Orbicella faveolata* en los arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano; B) *Diploria strigosa* y C) *Orbicella faveolata* en Gil-Agudelo et al. (2009); D) *Favia lacuna* en coraldisease.org

Descripción de la enfermedad. La superficie coralina presenta una banda con coloración negra, discreta o borrosa, la cual rodea tejido necrosado, caracterizado por presentar el esqueleto expuesto; puede presentar crecimiento secundario de algas (Antonius A 1981, Weil y Hooten 2008).

Agente causal. Consorcio bacteriano integrado principalmente por cianobacterias del género *Geitlerinema* sp. (antes *Phormidium* sp.); dentro de la capa microbiana se encuentran también *Desulfovibrio* sp., *Beggiatoa* sp., *Leptolyngbya* sp., entre otras (Glas MS et al. 2010).

Hiperplasia (Hyperplasia)

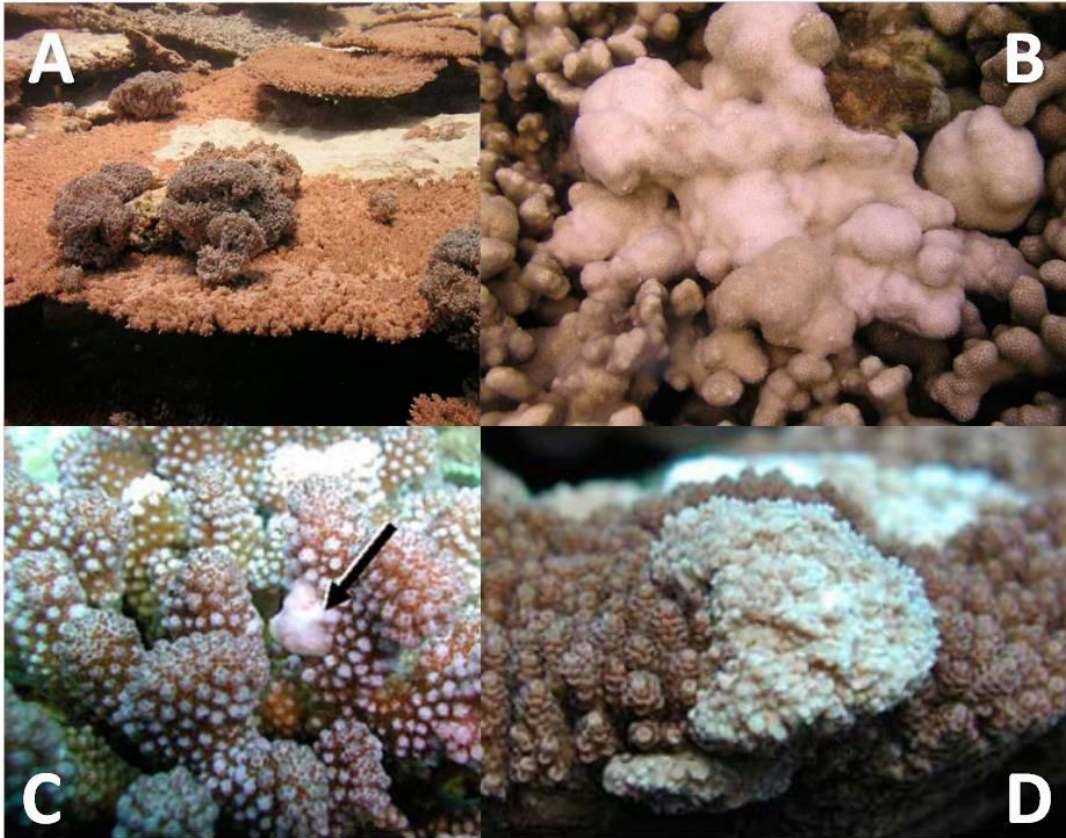


Figura 13. Hiperplasia. A) *Porites sp.* y B) *Acropora sp.* en Aeby et al. 2011; C) *Pocillopora verrucosa* y D) *Acropora hyacinthus* en Work y Rameyer (2005)

Descripción de la enfermedad. El coral presenta un desarrollo de células epidérmicas en el borde del tejido coralino, que generalmente muestran cambios de coloración menores o blanqueo, formando una pared que impide el asentamiento algal. (Weil y Hooten 2008).

Agente causal. Ninguno (Weil y Hooten 2008).

Lunares Blancos



Figura 14. Enfermedad de Lunares Blancos en *Siderastrea siderea* en los arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano.

Descripción de la enfermedad. La superficie coralina presenta pequeñas manchas redondas, con bordes definidos, de coloración blanca traslucida o un poco más clara a la que presenta el resto de la colonia coralina, no presenta depresión evidente y están presentes las capas superiores del tejido coralino. La distribución en la colonia no es regular y el número de puntos/zonas puede variar con el tiempo. Frecuentemente los bordes de la colonia presentan una coloración más clara que el resto del coral. El género mayormente afectado es *Siderastrea*, raramente se encuentra en otras especies.

Agente causal. Desconocido

Nota: Esta enfermedad no se ha reportado hasta la fecha, por lo cual es necesario hacer más estudios sobre ella.

Mancha Negra
(Dark spots)

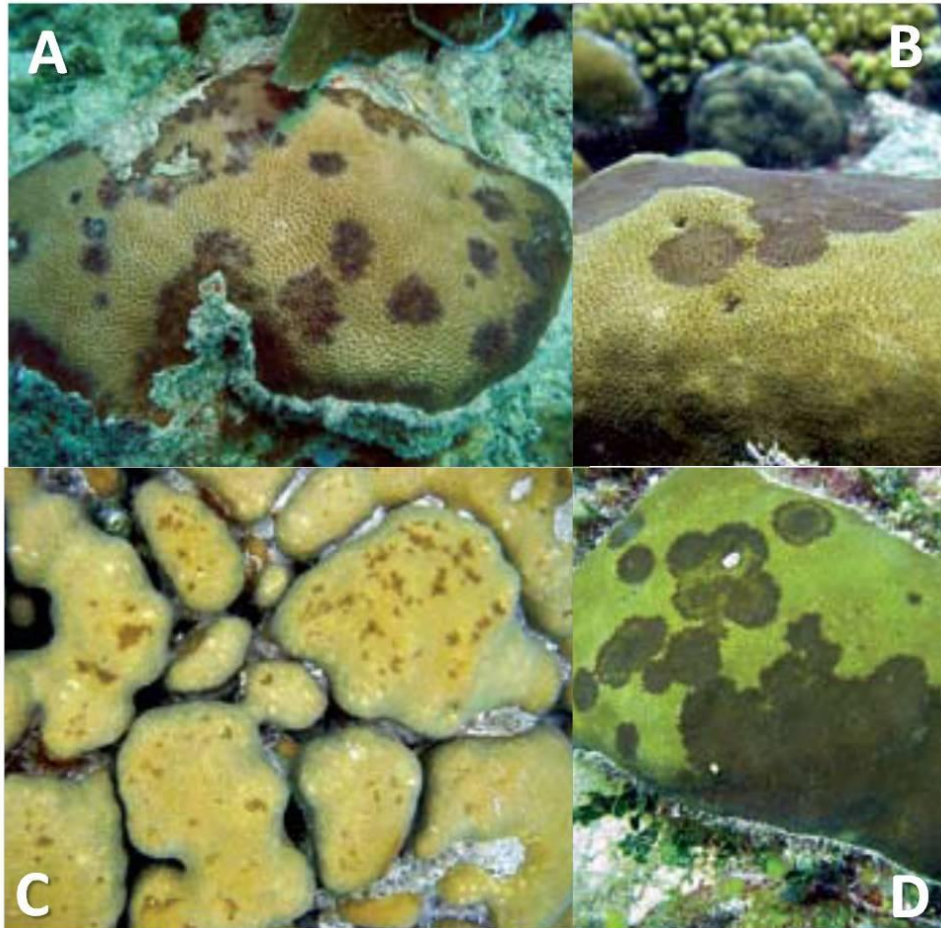


Figura 15. Enfermedad de Mancha Negra en diferentes especies de corales escleractinios (Weil y Hooten 2008)

Descripción de la enfermedad. El coral presenta pequeñas manchas redondas de color negro, las cuales regularmente presentan una depresión en la superficie coralina, la distribución en la colonia no es regular y el número de puntos/zonas puede variar con el tiempo (Weil y Hooten 2008).

Agente causal. *Oscillatoria* sp, *Vibrio* sp. entre otras (Gil-Agudelo et al 2007).

Necrosis Rápida
(Rapid Wasting Disease)



Figura 16. Necrosis Rápida. A) Pez loro *Sparisoma viridae* predando *Montastrea annularis*; B) *Porites astreoides* y C) *Colpophillia natans* en Mumby (2009).

Descripción de la enfermedad. El coral no presenta las capas superiores del tejido y esqueleto debido a la mordida de peces loro (Mumby 2009).

Agente causal. Se han encontrado hongos y ciliados en el tejido coralino (Mumby 2009).

Vector de transmisión. Mordida de pez loro *Sparisoma viridae* (Mumby 2009).

Plaga Blanca (White Plague)

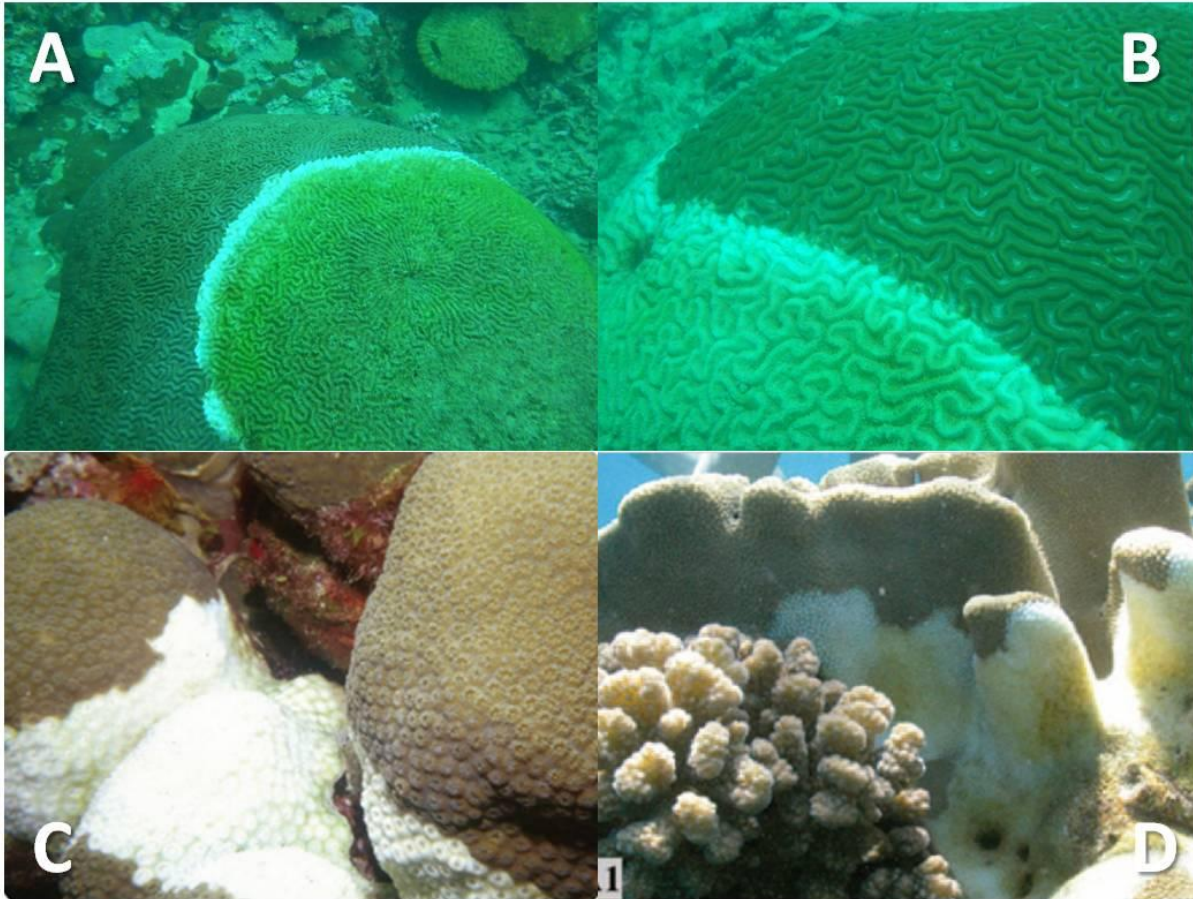


Figura 17. Enfermedad de Plaga Blanca. A y B) *Diploria strigosa* en el Sistema Arrecifal Veracruzano; C) *Hydrophora sp.* y D) *Porites sp.* en Ainsworth et al. (2006)

Descripción de la enfermedad. Amplia banda color blanco de esqueleto expuesto, el cual limita claramente al tejido del coral saludable. El esqueleto desnudo es normalmente colonizado gradualmente por algas. La banda blanca comienza en la base de la colonia y de depresiones y grietas sobre la colonia (Weil y Hooten 2008).

Agente causal. *Aurantimonas corallida* (Richardson et al. 1998).