



Universidad Veracruzana

Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

Región Poza Rica-Tuxpan

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

“Dinámica de los lunares oscuros en *Orbicella annularis* en el arrecife Tuxpan, Veracruz”

Tesis para obtener el grado de Maestra en
MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS

Presenta:

Biol. Sandy Michele Villaseñor Reyes

Director:

Dr. Adán Guillermo Jordán Garza

Abril de 2022

“Lis de Veracruz: Arte, Ciencia, Luz”



Universidad Veracruzana

Facultad de ciencias Biológicas y Agropecuarias
Región Poza Rica-Tuxpan

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

*“Dinámica de los lunares oscuros en *Orbicella annularis* en el arrecife Tuxpan, Veracruz”*

Tesis para obtener el grado de Maestra en
Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

Presenta:
Biol. Sandy Michele Villaseñor Reyes

Director :
Dr. Adán Guillermo Jordán Garza





Universidad Veracruzana

Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Poza Rica – Tuxpan
Doctorado en Ciencias Marinas y Costeras

Mtro. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz
Coordinador de la Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y
Costeros
PRESENTE

Por este conducto comunico la liberación de la tesis de Maestría de la alumna **Sandy Michele Villaseñor Reyes titulada Dinámica de los lunares oscuros en *Orbicella annularis* en el arrecife Tuxpan, Veracruz** para continuar con su proceso de titulación.
Sin otro particular me reitero a sus distinguidas órdenes.

Carretera Tuxpan-Tampico Km. 7.5
Col. Universitaria
C.P. 92860
Tuxpan
Veracruz, México

Teléfono

01(783) 834•43•50
834•89•79

Conmutador:

834•89•79
01(228) 842•17•00

Extensión:

46104

Correo electrónico

ajordan@uv.mx

<http://www.uv.mx/pozarica/dcmc>

ATENTAMENTE

“LIS DE VERACRUZ: ARTE, CIENCIA, LUZ”

Tuxpan de Rodríguez. Cano, Ver. a 22 de marzo del 2022

Dr. Adán Guillermo Jordán Garza
Director

Dr. Diego L. Gil-Agudelo
Director of Research Operations
Texas A&M University At Galveston



Marzo 29, 2022

Mtro. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz
Coordinador
Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros
Universidad Veracruzana

Estimado Agustín,

Por medio de la presente deseo presentar mi aprobación a la tesis de Maestría:
“Dinámica de los lunares oscuros en *Orbicella annularis* en el arrecife Tuxpan, Veracruz”
presentada por la estudiante Sandy Michele Villaseñor Reyes.

Best regards,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'DL Gil'.

Diego L. Gil-Agudelo
Director of Research Operations

Building 3034, Room 409D
P. O. Box 1675
Galveston, TX 77553-1675

Tel. 409.740.4991 Fax. 409.740.4754
diegogil@tamug.edu
www.tamug.edu



Universidad Veracruzana
Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias/ Poza Rica – Tuxpan

A quien corresponda:

Presente

ASUNTO: Aprobación de Tesis de Sandy Michele Villaseñor Reyes

Centro Universitario Regional
Carretera Tuxpan-Tampico Km. 7.5
Col. Universitaria
C.P. 92860
Tuxpan
Veracruz, México

Tuxpan, Veracruz a 22 de marzo de 2022

Teléfono
01(783) 834•43•50
834•89•79
Conmutador:
834•89•79
01(228) 842•17•00
Extensión:
46103

Correo electrónico
carlosperez@uv.mx

Por este conducto informo mi **voto aprobatorio** para la tesis de Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros titulada “Dinámica de los lunares oscuros en *Orbicella annularis* en el arrecife Tuxpan, Veracruz” presentada por la Biol. Sandy Michele Villaseñor Reyes.

Atentamente

Dr. Carlos David Pérez Brígido
Académico de Tiempo Completo Titular C



Universidad Veracruzana

Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias Poza Rica – Tuxpan

Dr. Agustín de Jesús Basáñez Muñoz

Coordinador

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

Universidad Veracruzana

Carretera Tuxpan-Tampico Km. 7.5
Col. Universitaria
C.P. 92895
Tuxpan
Veracruz, México

Teléfono

01(783) 834•43•50

834•89•79

Conmutador:

834•89•79

01(228) 842•17•00

Extensión:

46113

Correo electrónico

danisanchez@uv.mx

<http://www.uv.mx/pozarica/mmemc>

A través de este conducto comunico mi voto aprobatorio para la tesis de Maestría en Manejo de Ecosistema Marinos y Costeros titulada ““Dinámica de los lunares oscuros en *Orbicella annularis* en el arrecife Tuxpan, Veracruz”, presentada por la Biól. Sandy Michele Villaseñor Reyes.

Sin más por la ocasión aprovecho para hacerle llegar un saludo cordial.

A T E N T A M E N T E

Tuxpan de Rodríguez Cano, Ver., a 29 de Marzo de 2022

Dr. Daniel Sokani Sánchez Montes

Profesor de Tiempo Completo

UNIVERSIDAD VERACRUZANA

Agradecimientos

A la vida por darme la oportunidad de concluir una meta más.

A mi familia: gracias por siempre estar ahí para mí, por echarme porras y confiar tanto en mí, tengo a la mejor mamá y hermana del mundo. Papi gracias por que desde el cielo sigues cuidando de mí y guiándome a cada paso que doy. Los amo con todo mi corazón.

A mis compañeros: gracias por los increíbles momentos que pasamos juntos, que, aunque nos agarró una pandemia a medio camino, logramos ser un grupo super lindo y unido.

Nani gracias por todo tu apoyo y porras que me diste, gracias por siempre estar ahí para mí. En el camino surgieron compañeros que se volvieron amigos y amigos que se volvieron hermanos... Meli mi argentina favorita gracias por tanto, por tu apoyo incondicional, por compartir el amor de los dolphins conmigo (aprendí que viven más de 1 año jajajajaja), por siempre apoyarme, gracias por esos mates y esas charlas interminables, por los increíbles viajes juntas y por brindarme lo mejor que podías darme... tu amor y tu amistad, te amo!

A mi director el Dr. Adán Guillermo Jordán Garza, por todo su apoyo, consejos y paciencia.

A mi comisión revisora, gracias por todos sus consejos y aportaciones tan enriquecedoras.

Al coordinador Agustín de Jesús Basáñez Muñoz, por todo el apoyo brindado.

Al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme la beca de manutención para la realización de mis estudios de posgrado.

A la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP)-APFF Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, por brindarme la oportunidad de realizar mi servicio social y por los grandes aprendizajes que tuve gracias a ello.

A mis “niñas” Shanty, Remi, Paloma y Luna, por brindarme su amor incondicional y desvelarse conmigo, y por siempre sacarme una sonrisa, las amo.

ÍNDICE

Índice de cuadros	II
Índice de Figuras	II
RESUMEN	1
I.- INTRODUCCIÓN.....	2
II. ANTECEDENTES	5
III. OBJETIVOS	9
OBJETIVO GENERAL.....	9
OBJETIVOS PARTICULARES	9
IV. AREA DE ESTUDIO	10
V. METODOLOGÍA	12
VI. RESULTADOS	15
VII.-DISCUSIÓN	21
VIII. CONCLUSIONES.....	23
IX. APLICACIÓN PRACTICA	24
X.- BIBLIOGRAFÍA.....	25

Índice de cuadros

Cuadro 1.-Número total de colonias Vs número de colonias infectadas.....	15
Cuadro 2.-Prevalencia de DSS en los cuadrantes en el arrecife Tuxpan.....	16
Cuadro 3.-Incidencia, Tasa de avance y recuperación de DSS en los cuatro cuadrantes en el arrecife Tuxpan.....	18

Índice de Figuras

Figura 1.- Ubicación geográfica del arrecife Tuxpan y ubicación de los cuadrantes dentro del arrecife. Mapa realizado por: Melisa-Coronel,2021	11
Figura 2.-Modelo del efecto del síndrome en un nódulo.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3.- Colonias de <i>O. annularis</i> con presencia de DSS en ambos años (2018 y 2019). 16	
Figura. -4Comparación de prevalencia en los cuadrantes entre los dos años (2018, 2019). 17	
Figura 5.-Colonias de <i>O. annularis</i> con incidencia de DSS para 2019.....	17
Figura 6.-Colonias de <i>O. annularis</i> recuperadas en 2019	18
Figura 7.-Histograma del tamaño de los nódulos de colonias de <i>O. annularis</i>	19
Figura 8.-Modelo del efecto potencial de DSS en nódulos de tamaño chico.....	19
Figura 9.-Esperanza de vida en nódulos de tamaño mediano.....	20
Figura 10.-.- Efecto potencial de DSS en nódulos de <i>O.annularis</i> de tamaño grande.	20

RESUMEN

Los arrecifes de coral son uno de los ecosistemas más complejos del planeta, se distribuyen a lo largo de los trópicos y se estima que albergan el 25% de las especies marinas. Sin embargo, estos ecosistemas se han ido degradando rápidamente en las últimas décadas. Existen varios factores tanto naturales como antropogénicos que afectan dichos ecosistemas, las enfermedades son uno de los principales causantes de la muerte y pérdida de gran parte de los arrecifes de coral en las últimas tres décadas; una de las enfermedades que afecta al Atlántico y Caribe es el síndrome de los lunares oscuros (DSS por sus siglas en inglés), la cual afecta a especies como *Siderastrea siderea* y *Orbicella annularis*, y siendo esta última la de mayor prevalencia. En el Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan (SALT) se ha reportado una prevalencia <30%; en el arrecife Tuxpan *O. annularis* es la que presenta mayor prevalencia con lunares oscuros. Este trabajo se llevó a cabo en el arrecife Tuxpan en cuatro cuadrantes de 10x10 previamente seleccionados durante los años 2018 y 2019, se realizaron fototransectos y mediante un análisis fotográfico se realizó una base de datos donde se integró la siguiente información: tamaño de la colonia, mortalidad antigua y reciente, así mismo se identificó a las colonias que presentan la enfermedad y se midió el área de los lunares. Con los datos obtenidos se obtuvo la prevalencia, incidencia, mortalidad y recuperación. Obteniendo un total de 157 colonias de *O. annularis*, de las cuales 51 colonias presentaban DSS en el año 2018, mientras que, en 2019, 67 colonias fueron las afectadas por DSS. Con lo cual se obtuvo una prevalencia del 34.11% \pm 27.67 DE para el 2018, y del 38.07% \pm 25.68 DE en el 2019, para la incidencia se presentó una media de 7.89 % en los cuatro cuadrantes. Se obtuvo una tasa de recuperación de 0.28%. y la tasa de avance por año y día presentó una media de 11.16cm² y 0.03 cm² respectivamente. Para estimar el efecto potencial del signo en *O. annularis* se utilizó el modelo del efecto de la enfermedad en un nódulo, para estimar la esperanza de vida de una colonia enferma en base a ecuaciones diferenciales, donde se tomó una submuestra de X colonias en la cual se contabilizaron y midieron los nódulos que presentaba cada colonia y si contaban con la presencia de DSS se midió el área del signo. De acuerdo a la clasificación por tamaños de nódulos, se obtuvo que para los nódulos de tamaño chico infectados con DSS, se estimó que la esperanza de vida sería de cinco años, nódulos de tamaño mediano (250-300 cm²) de ocho años y finalmente los nódulos más grandes (1500cm²) estarían muriendo en periodo aproximado de 17 años. La prevalencia obtenida en este trabajo fue mayor a las reportadas anteriormente. La tasa de avance obtenida fue menor a la reportada por diferentes autores en la región del Caribe.

Palabras claves: DSS, Prevalencia, Incidencia, Tasa de avance, nodulos.

I.- INTRODUCCIÓN

Los arrecifes de coral son uno de los ecosistemas más complejos del planeta, esta complejidad se origina gracias al gran número de especies que interactúan entre sí, a través de múltiples procesos biológicos y físicos (Jordán-Dahlgren, 1992). Estos ecosistemas se distribuyen a lo largo de los trópicos, donde la temperatura mínima no sea inferior a los 18°C. A pesar de que solo cubren el 0.2% del fondo marino, se estima que albergan el 25% de las especies marinas (Carballo et al.,2010).

Estos ecosistemas poseen un alto valor ecológico, económico y social, todo esto gracias a los diferentes bienes y servicios ambientales que brindan, como protección a la línea costera, disminución del oleaje, refugio y alimento a diferentes especies, son zonas para actividades económicas como la pesca, el turismo y la industria farmacéutica (Alvarez, 2015; Cederstav *et al.*,2015). Sin embargo, estos ecosistemas se han ido degradando rápidamente en las últimas décadas ya que son muy frágiles y susceptibles a los cambios ambientales (Harvell *et al.* 2004; Weil y Rogers, 2011).

Existen varios factores tanto naturales como antropogénicos que afectan negativamente dichos ecosistemas, entre los que destacan: el cambio climático, la sobrepesca, la acidificación de los océanos, el desarrollo costero, la agricultura y las enfermedades (Roberts *et al.*,2002; Burke y Maidens, 2005; Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007). Este último factor ha sido uno de los principales causantes de la muerte y pérdida de gran parte de los arrecifes de coral en las últimas tres décadas, particularmente en el Caribe (Porter et al.,2001; Weil,2004; Burke y Maidens, 2005; Weil *et al.*,2006; Bourne *et al.*, 2009; Maynard *et al.*,2015; Croquer *et al.*,2021).

Una enfermedad es “cualquier impedimento (interrupción, cese, proliferación, u otro trastorno) de funciones, sistemas u órganos vitales del cuerpo" (Peters, 1993 citado en Gil-Agudelo y Garzon-Ferreira, 2001). Para poder comprender la etiología de las enfermedades existen diversos estudios que las investigan mediante indicadores biológicos como prevalencia (i.e. proporción de individuos que se encuentran enfermos al momento de evaluar

el padecimiento), incidencia (i.e. número de casos nuevos que ocurren en una población conocida durante un período de tiempo específico) y recuperación (Thurfield,2018).

En las últimas décadas se han registrado más de 29 enfermedades de coral a nivel mundial (Green y Bruckner 2000; Weil, 2004; Sutherland *et al.*, 2004, Gil-Agudelo *et al.*2009, Weil *et al.*2019). Una de las enfermedades que afecta al Atlántico y Caribe es el síndrome de los lunares oscuros (DSS por sus siglas en inglés). Esta enfermedad se caracteriza por la presencia de manchas más oscuras que el tejido normal (púrpura, marrón o café), las cuales crecen en tamaño con el tiempo, y algunas de ellas pueden presentar depresión en el tejido y esqueleto coralino (Gil-Agudelo y Garzón-Ferreira, 2001; Gil-Agudelo *et al.*, 2009). Se ha visto que esta enfermedad afecta principalmente a especies como *Siderastrea siderea* y *Orbicella annularis*; sin embargo, no son las únicas afectadas ya que se han registrado signos similares en al menos otras 10 especies de coral en el Caribe (Weil *et al.* 2000; Gil-Agudelo y Garzon-Ferreira,2001; Gil-Agudelo *et al.*2004). Se ha calculado la prevalencia de esta enfermedad en gran parte del Caribe, esta varía dependiendo la especie, pero *O. annularis* es la de mayor valor; lo que la hace una de las tres enfermedades con mayor prevalencia en la región (Gil-Agudelo y Garzon-Ferreira,2001; Porter *et al.* 2011).

Se han realizado estudios para tratar de determinar la causa del DSS y como es su transmisión, sin embargo, es un tema complejo de abordar ya que hasta la fecha aún no se determina un agente específico, aunque se han propuesto varios agentes como bacterias: *Corynebacterium*, *Acinetobacter*, *Parvularculaceae*, dos especies de *Vibrio* y hongos: *Rhytisma acerinum* y *Aspergillus spp.* (Gil-Agudelo *et al.* 2007; Sweet *et al.* 2013). Asimismo, no se ha demostrado que la enfermedad sea transmitida de manera directa o por medio del agua (Randall *et al.* 2016). A pesar de que la enfermedad avanza lentamente a la larga esta por lo general llega a ser mortal.

Una de las especies de coral más reconocidas en la formación de los arrecifes en regiones del Atlántico y el Caribe es *O. annularis* (Diaz-Pulido,1997; Rodríguez-Zaragoza y Arias-Gonzalez,2015; Yranzo *et al.*2020). Este rasgo convierte a esta especie en un ingeniero ecosistémico (Borthagaray y Carranza, 2007). Actualmente *O.annularis* ha sido incluida en la lista roja de la IUCN (EN- en peligro-) así como también en el Apéndice II de CITES. En

el año 2019 con la actualización de la NOM- -059-SEMARNAT-2010, se incluye a *Orbicella annularis* bajo la categoría de especie amenazada (DOF,2019).

En el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) esta especie es una de las más dominantes (Vázquez,2018; Garcia-Ayala, 2017), en la zona de sotavento del arrecife Tuxpan *O. annularis* tiene una abundancia relativa de 59.32% y un porcentaje de cobertura de 23.42% junto con especies como *C. natans* (22.43%), *O. faveolata* (10.80%), *S. siderea* (9.98%). También está presente, en menor proporción, en las zonas de barlovento y cresta arrecifal (Morales-Ramirez,2021; González-Gándara y Salas-Pérez, 2019). La prevalencia de DSS estimada para este sistema ha sido mayor al 30% y *O. annularis* ha sido la especie que más la presenta (Garcia-Ayala,2017).

Es por ello que resulta de gran importancia conocer y entender un poco más sobre el impacto del DSS, lo cual podría ser de gran ayuda para poder proponer y/o plantear estrategias de manejo. Puntualmente, en el SALT ya hay reportes sobre la presencia del DSS sobre *O. annularis* lo que indica que hay progresión de la enfermedad y diferentes tasas de infección (Garcia-Ayala,2017). Por lo tanto, en este estudio se pretende conocer la prevalencia, incidencia y la recuperación de las colonias infectadas.

II. ANTECEDENTES

El primer reporte de enfermedad de coral fue hecho por Antonius en 1973 (Willis *et al.*, 2004), a partir de entonces la tasa de descubrimientos de enfermedades de coral ha incrementado significativamente (Green y Bruckner, 2000; Weil, 2004; Sutherland *et al.*, 2004).

De las enfermedades actualmente descritas, se han reportado 13 para el Caribe, una de ella es el síndrome de lunares oscuros (DSS) (Green y Bruckner 2000; Weil, 2004; Shuterland *et al.* 2004).

El DSS fue observado por primera vez en el Caribe colombiano, a inicios de la década de los 90's, al principio fue descrita como “medallones mostazas” y la registraron como un tipo de blanqueamiento, el cual afectaba principalmente a *O. annularis* (Solano *et al.*, 1993). Posteriormente, en 1994 se observaron nuevamente en el Caribe Colombiano signos similares que afectaban a especies como: *O. annularis* , *S. siderea* y *Stephanocoenia intersepta* , y fue denominada “enfermedad de los lunares oscuros ”(Díaz *et al.* 1995).

Gil-Agudelo y Garzón-Ferreira (2001), la describieron como “manchas pequeñas, redondas y oscuras que aparentemente crecen en tamaño con el tiempo”. Se ha estudiado la distribución, prevalencia y recuperación de la enfermedad en diferentes comunidades coralinas, encontrando que las especies con mayor prevalencia de DSS son: *O. annularis* y *S. siderea*, y que esta enfermedad es más común en zonas someras, a profundidades no mayores a los 6 m. para *O. annularis* donde la prevalencia tiende a incrementarse con el aumento de la temperatura. Sin embargo, la recuperación de las colonias enfermas varía y la mayoría de las veces depende de la especie (Gil-Agudelo y Garzon-Ferreira, 2001; Garzón-Ferreira *et al.* 2001; García *et al.*, 2002; Weil, 2004; Gil-Agudelo *et al.*, 2009; Navas-Camacho *et al.*, 2010; Porter *et al.*, 2011).

Para poder entender, describir y predecir la dinámica de las enfermedades (Moreno-Altamirano *et al.*, 2000), se han realizado diversos estudios sobre la prevalencia e incidencia de las enfermedades; en 2001 Gil-Agudelo y Garzón-Ferreira, encontraron en el Parque Nacional Tayrona en Colombia una prevalencia de lunares oscuros de 10.34 % y 5.14% en

O. annularis y *Siderastrea spp.* respectivamente, no siendo las únicas especies afectadas, pero si las de mayor prevalencia.

Vega-Sequeda *et al.* (2008), evaluaron 20 formaciones coralinas en la zona de Santa Marta, Colombia durante los meses de octubre y noviembre, siendo DSS una de las 3 enfermedades con mayor prevalencia (0.3%), dicha enfermedad se observó únicamente en *S. siderea*. Forero-Mejía (2012) muestreó 4 estaciones en el Parque Nacional Natural Tayrona en Colombia, a dos diferentes profundidades, entre los meses de octubre y noviembre, se registraron varias enfermedades dando una prevalencia promedio menor al 6%; de dichas enfermedades encontradas banda negra y lunares oscuros fueron las que obtuvieron la mayor prevalencia de 5.63% y 3.01% respectivamente.

En el Caribe Mexicano, Ward *et al.* (2006), realizaron un estudio en Akumal, donde encontraron que la enfermedad con mayor prevalencia fue lunares oscuros con $4.3 \pm 0.9\%$ en el 2002 y $2.9 \pm 0.6\%$ en 2004, y *Siderastrea siderea*, *Agaricia agaricites*, y *Orbicella annularis* fueron las especies más abundantes.

En 2002, García *et al.*, observaron en el Parque Nacional Archipiélago de los Roques, Venezuela una variación en la incidencia de las diferentes enfermedades con relación a los corales que afectaban, siendo las enfermedades banda negra, banda amarilla, plaga blanca y lunares oscuros, las enfermedades registradas para *O. annularis*, siendo esta última enfermedad la que tuvo mayor incidencia para la especie. En 2014, Villamizar *et al.*, estudiaron la diversidad y la salud de corales pétreos en Venezuela, encontrando nuevamente que las enfermedades que más afectan son la enfermedad de plaga blanca, banda amarilla y lunares oscuros. En Cuba la incidencia de enfermedades en corales es menos del 2% de las colonias, siendo plaga blanca, manchas oscuras, mancha amarilla, viruela blanca y banda blanca fueron las más frecuentes (Hernández-Zanuy *et al.* 2012).

Se ha notado que algunas variables ambientales como la temperatura y los nutrientes pueden afectar la prevalencia y la tasa de propagación en las colonias de coral, las enfermedades asociadas con el aumento de la temperatura son banda negra, plaga blanca y lunares oscuros (Kuta y Richardson 2002). En 2005 Jordán-Dahlgén *et al.* realizaron un estudio donde documentaron la prevalencia de enfermedades y síndromes en colonias de *O.*

annularis en tres arrecifes diferentes expuestos a diferentes fuentes de contaminación. Sin embargo, no se encontró una relación directa entre la prevalencia de la enfermedad y la calidad ambiental, por lo que existe la posibilidad de que los factores locales y/o globales ya estuvieran jugando un papel importante. Años más tarde se demostró que la prevalencia está relacionada con el estrés al que son sometidas las colonias de coral, dicho estrés puede estar asociado a factores tanto locales como globales (Bruno *et al.*, 2007; Muller *et al.*, 2008). Muller y van Woesik (2011), encontraron una correlación directa entre la prevalencia de enfermedades con variaciones en la temperatura y en la composición del agua causada por contaminación antrópica.

Es importante conocer la tasa de avance de las enfermedades (tasa en la que se pierde el tejido) en las colonias, pues esto nos indica que tan letal es la enfermedad en el tiempo. Actualmente diversas enfermedades afectan a corales escleractínidos, las más comunes para el Caribe son: banda negra, plaga blanca, banda amarilla, banda blanca y lunares oscuros, cada enfermedad presenta una tasa de crecimiento diferente y esta puede variar dependiendo de las condiciones, la especie y la temporada. Siendo banda negra y plaga blanca las que presentan una mayor tasa de avance (Nugues, 2002; Borger y Steiner, 2005; González-Ontiveros y de la Guarda, 2008). La tasa de avance para lunares oscuros ha sido reportada por Borger y Steiner, 2005 con una velocidad de 0.13 mm/día la cual fue mucho más baja a la obtenida por Cervino *et al.* 2001, sin embargo, en 2008, González-Ontiveros y de la Guarda, no encontró un avance en las lesiones.

Forero-Mejía (2012), registro una tasa de avance de 0.77 ± 1.02 y 0.9 ± 0.21 cm/mes para banda negra y lunares oscuros respectivamente. Estrada-Saldiviar *et al.* (2021), registraron en Cozumel, México una tasa de avance para la enfermedad de pérdida de tejido de coral pétreo (SCTLD por sus siglas en inglés) cerca de 1 km d^{-1} .

En el Golfo de México principalmente en el Sistema Arrecifal Veracruzano también se encontró esta enfermedad la cual ha sido la que mayor prevalencia ha tenido en las colonias de coral (Carricart-Ganivet *et al.*, 2011). En el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, Jordán-Garza (2013) encontró DSS en un muestreo *in situ* en el año 2012 en el arrecife Tuxpan; años

más tarde García-Ayala, (2017) en su trabajo Prevalencia de signos de enfermedades y ensambles coralinos en arrecifes del Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, encontró que las especies más afectadas por signos fueron *Orbicella annularis* y *Colpophyllia natans*, y en el arrecife Tuxpan *O. annularis* fue la que presentó mayor prevalencia con lunares oscuros. García-Benítez (2018) también reporta que DSS es el signo con mayor prevalencia para *O. annularis*, y que esta enfermedad es crónica y potencialmente contagiosa lo que puede traer grandes consecuencias a mediano y largo plazo. Morales-Ramírez (2021), encontró que *O. annularis* fue la especie con mayor abundancia y la que mayor prevalencia de enfermedades tuvo, siendo DSS una de las más elevadas para el SALT.

III. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Describir la dinámica de la enfermedad lunares oscuros en *Orbicella annularis* entre 2018 y 2019.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Cuantificar y reconocer colonias con y sin signos de la enfermedad en transectos permanentes.
- Calcular prevalencia, incidencia, mortalidad, recuperación y tasa de avance (mortalidad y área de signo).
- Estimar el efecto potencial del signo en la población de *O.annularis* del arrecife Tuxpan.

IV. AREA DE ESTUDIO

El Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT), es uno de los tres sistemas coralinos que se encuentran en el suroeste del Golfo de México (Ortiz-Lozano *et al.*2013), gran parte de estos sistemas se desarrollan en condiciones de turbidez y estrés térmico, esto debido a su cercanía con la costa (Horta-Puga *et al.* 2015) y a las desembocaduras de las cuencas hidrológicas (Pérez-Maqueo *et al.*2011). Este Sistema se localiza frente a las costas de los municipios de Tuxpan y Tamiahua en el norte del estado de Veracruz, abarca una superficie de 30, 571 ha. Además, la temperatura del agua en el SALT puede llegar a los 30°C en verano y hasta los 17°C en invierno (CONANP, 2014). Cuenta con siete arrecifes tipo plataforma, los cuales están agrupados en 2 polígonos: Lobos, Medio y Blanquilla ubicados en el polígono Lobos; y los arrecifes Tuxpan, Enmedio, Tanhuijo y Pantepec, ubicados en el polígono Tuxpan, (CONANP, 2014).

Gracias a su posición geográfica el SALT, y viéndolo desde el punto de vista ecológico y genético, es un punto estratégico para la dispersión de especies bentónicas arrecifales, tales como los corales Escleractinios (Jordán-Dahlgren y Rodríguez-Martínez 2003, Chávez-Hidalgo 2009).

El arrecife Tuxpan se ubica a 12.34 kilómetros de la desembocadura del Río Tuxpan, en las coordenadas 21° 01´ N y 97° 11´ W (CONANP,2014; Fig.1). Es un arrecife con forma ovalada de tipo plataforma el cual se encuentra bien estructurado con cuatro zonas: barlovento, cresta arrecifal, planicie arrecifal y sotavento (Chávez et al., 2007). Las zonas de sotavento y barlovento tienen una profundidad que va de los 3 hasta los 27 m (Martos, 1993; Alfaro, 2012). La zona de sotavento se caracteriza por presentar un promedio de cobertura coralina de 30.2% y está representada por, *O. annularis* y *O. faveolata* principalmente, mientras que la cobertura promedio de barlovento es de 8.3% y está representada por los corales: *Colpophyllia natans*, *Siderastrea siderea*, *Orbicella franksi* *Acropora palmata* y *Montastraea cavernosa*, (González-Gándara y Salas-Pérez,2019). La planicie arrecifal cuenta con una profundidad que varía entre 0.5 y 1.5 m y con dos hábitats bien definidos: pastos marinos y restos de coral muerto (Alfaro,2012).

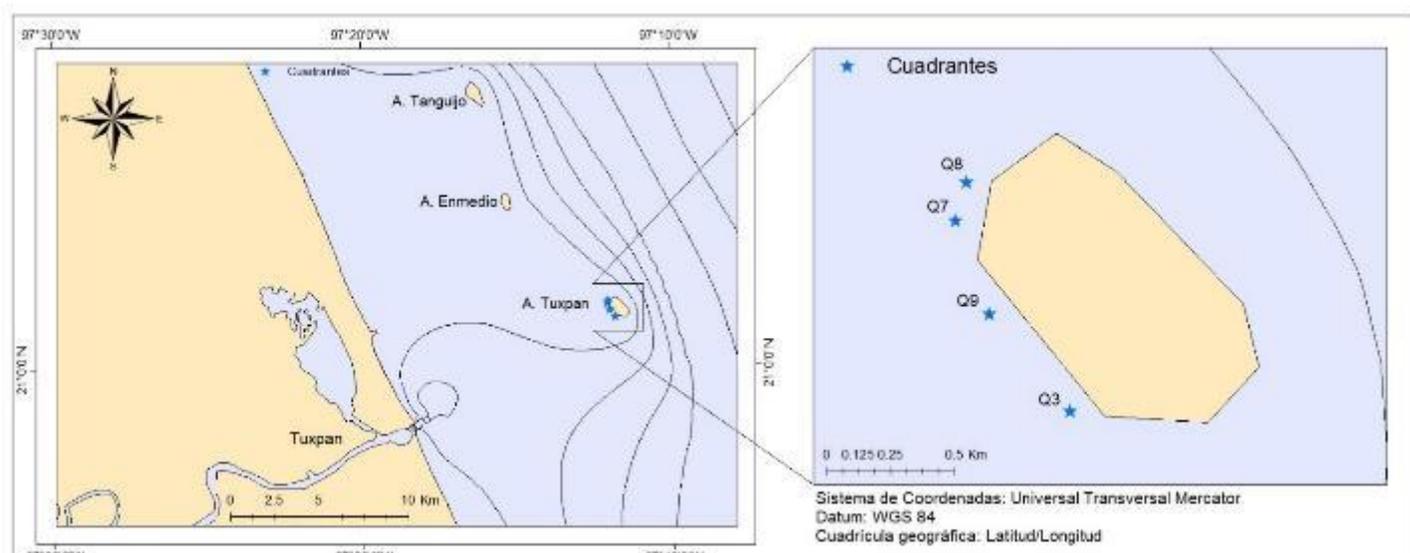


Figura 1.- Ubicación geográfica del arrecife Tuxpan y ubicación de los cuadrantes dentro del arrecife. Mapa realizado por: Melisa-Coronel,2021

V. METODOLOGÍA

En el 2012 se realizó la selección aleatoria de 25 sitios en todo el SALT, esto se llevó a cabo por medio de imágenes satelitales de los arrecifes, posteriormente se dividieron en cuadrantes de 100m², de los cuales se seleccionaron aleatoriamente los 25 sitios de muestreo de 10m² cada uno, en la zona de sotavento. Con el fin de homogeneizar el muestreo, se tomaron en cuenta tres criterios: (1) la profundidad oscilante entre 5 a 10m, (2) sustrato rocoso en el fondo y (3) presencia de corales. Si alguno de estos criterios no era encontrado, se desecharía y se muestrearía el siguiente punto al azar que respetara los criterios (Garcia-Ayala,2017).

En el arrecife Tuxpan se encuentran cuatro de los 25 sitios, dichos cuadrantes son de 10m², en cada uno se colocaron 10 transectos separados por 1m cada uno, en los años 2018-2019 se realizaron fototransectos, en los cuatro sitios previamente seleccionados en el Arrecife Tuxpan.

Posteriormente se analizaron las de fotografías con lo que realizó una base de datos en Excel 2016, donde se integró la siguiente información: tamaño de la colonia, mortalidad antigua y reciente, se identificó a las colonias que presentan la enfermedad y se midió el área de los lunares.

Con un software diseñado para procesar imágenes, imageJ se realizaron las mediciones del tamaño de las colonias, áreas de los lunares(cm²), mortalidad antigua (MA) y reciente (MR).

Para la reconstrucción de las colonias de gran tamaño y que se encontraban en más de un transecto se utilizó el programa GIMP 2.10.20.

Con los datos obtenidos se sacó la prevalencia, incidencia, mortalidad, recuperación

y tasa de avance utilizando las siguientes formulas:

$$Prevalencia = N^{\circ} colonias \frac{\textit{infectadas}}{\textit{total colonias}} \times 100$$

$$Incidencia = \frac{N^{\circ} \textit{de nuevas infecciones en un periodo de tiempo T}}{\textit{total de colonias}} \times 100$$

$$Mortalidad = \frac{N^{\circ} \textit{colonias que mueren por área censada por unidad de tiempo}}{N^{\circ} \textit{total de colonias dentro del área censada}}$$

Tasa de avance:

$$Tasa \textit{de avance mancha} = \frac{\textit{área mancha en T2} - \textit{área de la mancha en T1}}{(T2 - T1)}$$

Donde:

T2 = Último año muestreado

T1= Primer año muestreado

Para la estimación potencial del signo en *O. annularis* se utilizó el modelo del efecto de la enfermedad en un nódulo, para estimar la esperanza de vida de una colonia enferma en base a ecuaciones diferenciales (Fig.2).

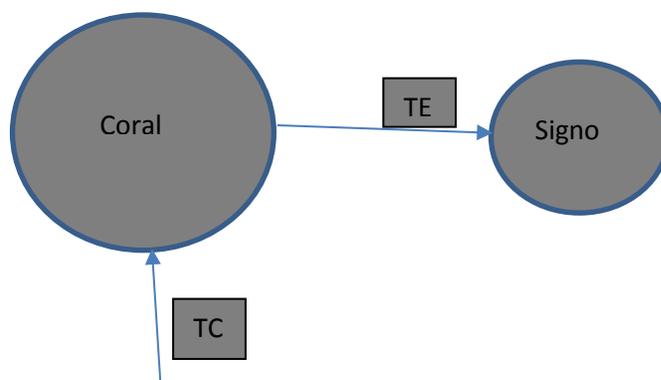


Figura 2.-Modelo del efecto del síndrome en un nódulo de coral. El coral crece al añadirse un anillo anual en base a la tasa de crecimiento del coral y el signo crece al añadirse un anillo en base a la tasa de avance medida in situ.

Y se tomó una submuestra de X colonias en la cual se contabilizaron y midieron los nódulos que presentaba cada colonia y si contaban con la presencia de DSS se media el área del signo. Con esto se realizó una base de datos en Excel. La población de *O. annularis* fue considerada el conjunto de nódulos, representados en un histograma y el efecto de la enfermedad se estimó con las ecuaciones diferenciales usando el paquete “deSolve” en RStudio.

Ecuaciones diferenciales:

En base a la adicción de un anillo por año, fórmula del anillo= $\pi \cdot (R^2 - r^2)$ Con R= radio círculo externo y r= radio del círculo interno).

$$\frac{dCoral}{dt} = \pi. ((R + TC * t)^2 - (R + TC. (t - 1))^2) - N. \pi. ((rs + TE * t)^2 - (rs + TE. (t - 1))^2)$$

$$\frac{dSigno}{dt} = N. \pi. ((rs + TE * t)^2 - (rs + TE. (t - 1))^2)$$

Con:

dCoral/dt = cambio en la superficie del coral en el tiempo

dSigno/dt= cambio en la superficie del signo en el tiempo.

Se modelan tanto el coral como el signo como círculos, pero el crecimiento es un anillo que se adiciona cada año dependiendo de la tasa de crecimiento y de expansión del signo.

R = radio inicial del coral (coral chico R= 5 cm, coral grande R=50 cm).

TC= tasa de crecimiento del coral (=0.8 cm/año).

t = tiempo en años.

N= número de lunares oscuros (los resultados que se muestran son para N= 1).

rs= radio inicial del signo (rs= 0.1 cm).

TE= tasa de expansión del signo (mientras el signo se expande el tejido del coral muere; TE= 2.17 cm/año tasa medida en Tuxpan).

t-1 = tiempo 1 año antes

Coral = área inicial del coral

Signo= área inicial del signo

Análisis de datos:

Una vez terminada la base de datos, se utilizaron las fórmulas anteriores para determinar las ya mencionadas medidas epidemiológicas. Para la realización de las gráficas se utilizó el programa SigmaPlot.

VI. RESULTADOS

Los resultados respecto a los cuatro cuadrantes analizados en el arrecife Tuxpan muestran un total de 157 colonias de *O. annularis*, de las cuales 51 colonias presentaban DSS en el año 2018, mientras que, en 2019, 67 colonias fueron las afectadas por DSS (cuadro 1). En ambos años se encontraron 48 colonias afectadas por esta enfermedad (Fig.3). Con lo cual se obtuvo una prevalencia del 34.11% \pm 27.67 DE para el 2018, y del 38.07% \pm 25.68 DE en el 2019, tal como se muestra en el Cuadro 2. En los cuadrantes Q3 Y Q8 la prevalencia de DSS aumenta para el año 2019 un 16.49% y 13.63% respectivamente, sin embargo, para el Q9 está disminuye un 14.28% (Fig 4.).

Cuadro 1.-Número total de colonias Vs número de colonias infectadas

Cuadrante	Numero de Colonias	Numero de colonias infectadas 2018	Numero de colonias infectadas 2019
Q3	97	28	44
Q7*	17	0	0
Q8	22	9	12
Q9	21	14	11
TOTAL (Media)	157	51	67

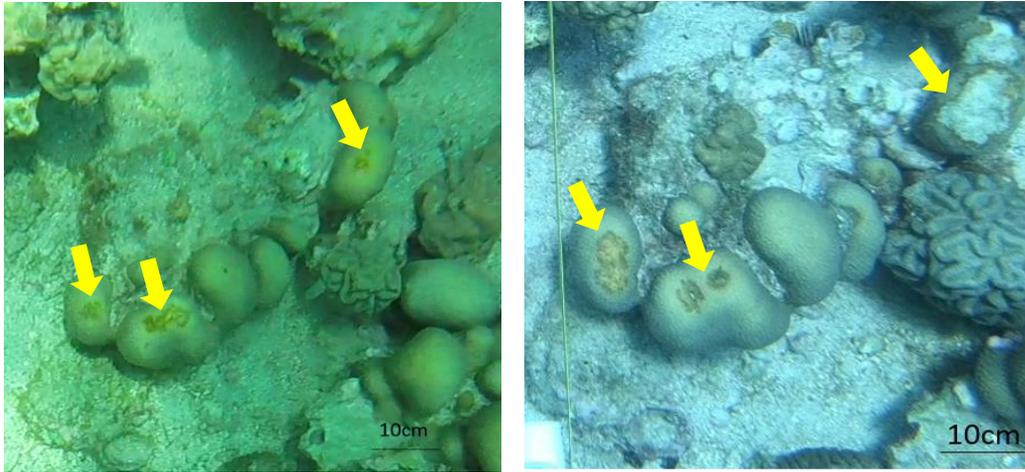


Figura 3.- Colonias de *O. annularis* con presencia de DSS en ambos años (2018 y 2019)

Cuadro 2.-Prevalencia de DSS en los cuadrantes en el arrecife Tuxpan.

Cuadrante	Prevalencia 2018 (%)	Prevalencia 2019(%)
Q3	28.86	45.36
Q7*	0	0
Q8	40.90	54.54
Q9	66.66	52.38
TOTAL (Media)	34.11	38.07

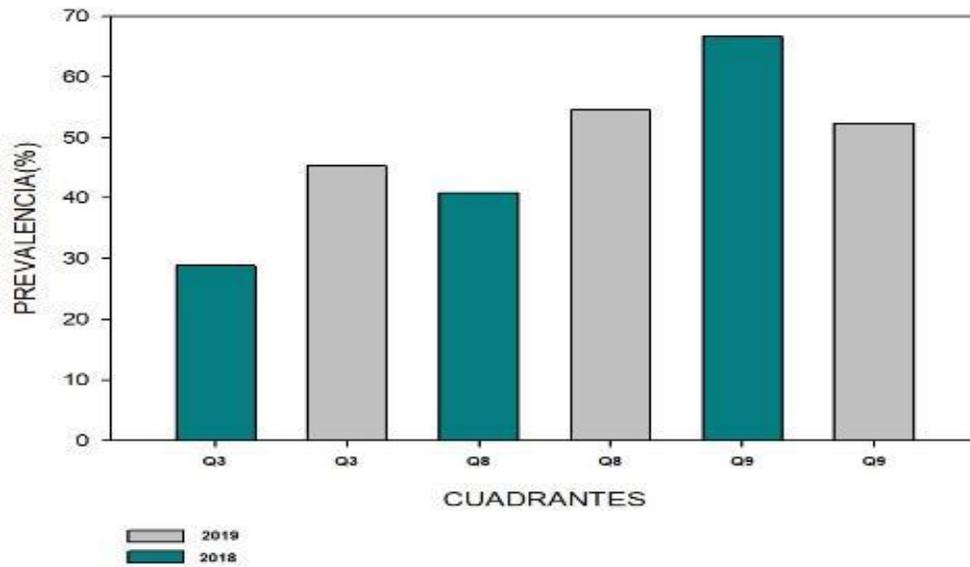


Figura. -4Comparación de prevalencia en los cuadrantes entre los dos años (2018, 2019).

Los resultados obtenidos para la incidencia mostraron una media de 7.89 % para los cuatro cuadrantes (Fig.5). En el 2019 se encontraron cuatro colonias recuperadas de DSS pertenecientes al cuadrante Q9 (Fig.6) obteniendo una Tasa de recuperación de 0.28%. La tasa de avance por año y día dio una media de 11.16cm² y 0.03 cm² respectivamente (Cuadro 3).

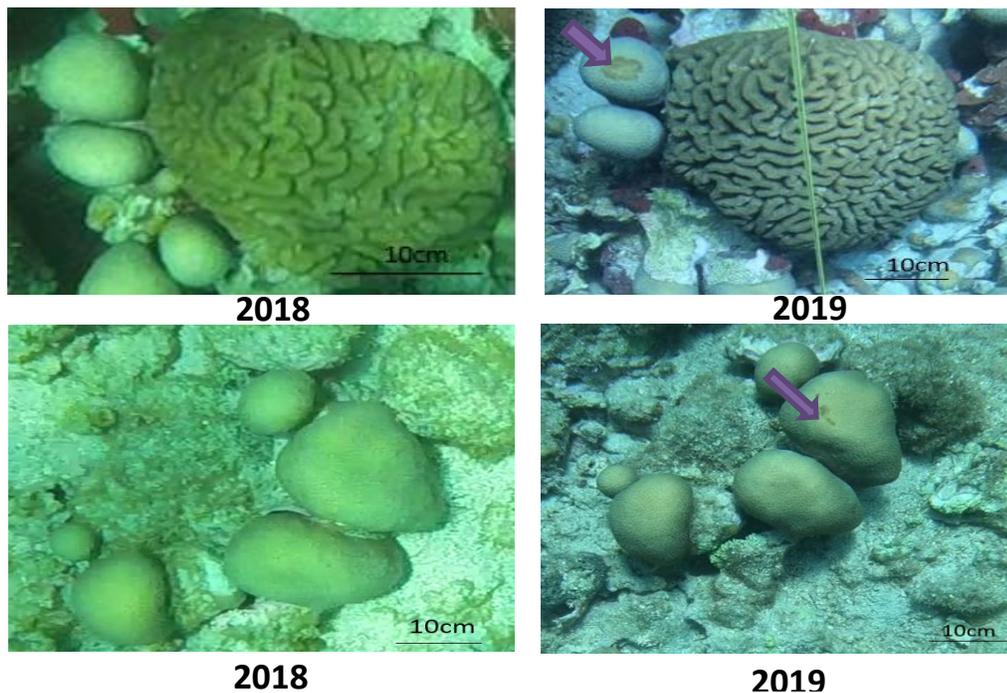


Figura 5.-Colonias de *O. annularis* con incidencia de DSS para 2019.

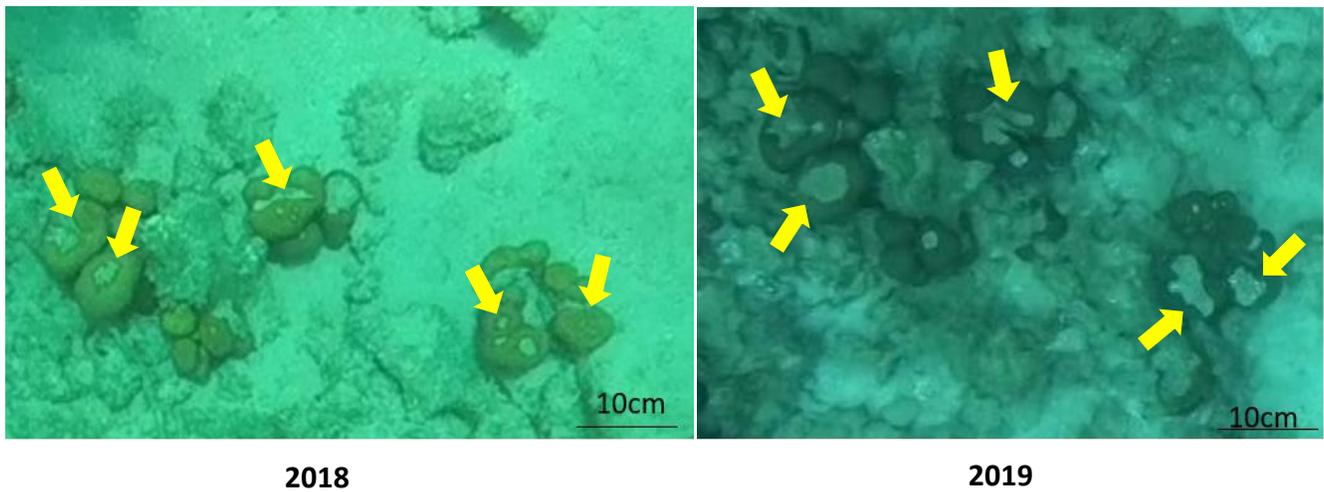


Figura 6.-Colonias de *O. annularis* recuperadas en 2019

Cuadro 3.-Incidencia, Tasa de avance y recuperación de DSS en los cuatro cuadrantes en el arrecife Tuxpan.

Cuadrante	Susceptibles	Nuevos casos	Incidencia%	Número de afectados 2018	Número de recuperados 2019	Tasa de Recuperación (TR)	TA (cm2) por año(media)	TA(cm2)por día(media)
Q3	97	13	13.40	28	0	0	1.51	0.004
Q7	17	0	0	0	0	0	NA	NA
Q8	22	4	18.18	9	0	0	31.5	0.086
Q9	21	0	0	14	4	0.28	11.66	0.031
TOTAL (Media)			7.89				14.9	0.04

El histograma del tamaño de los nódulos de las colonias mostro que la mayoría se encuentran dentro de la categoría de 100-150 cm² las cuales son consideradas relativamente pequeñas (Fig.7) .

El promedio de nódulos por colonias según su tamaño es de cuatro nódulos para las colonias pequeñas, 25 para las medianas y 235 para las grandes.

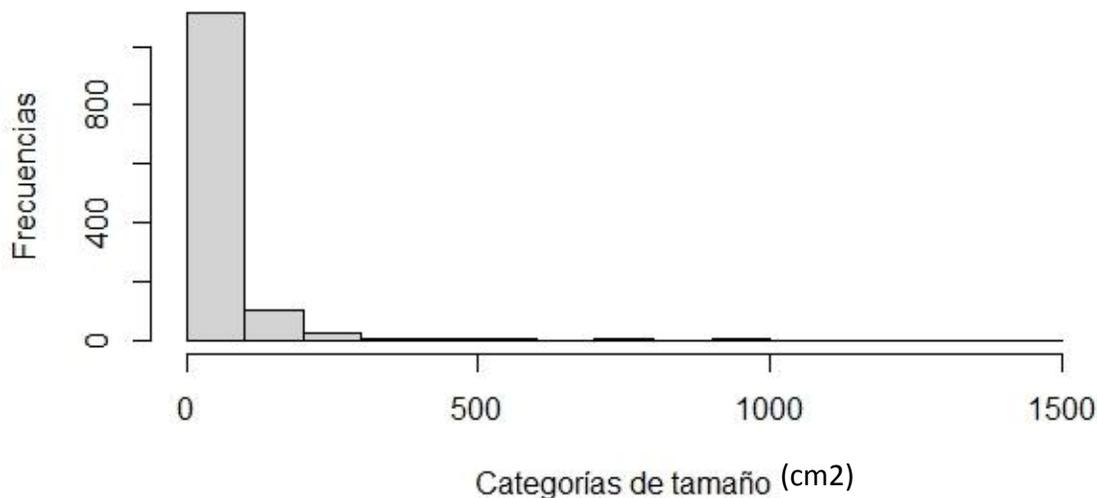


Figura 7.-Histograma del tamaño de los nódulos de colonias de *O. annularis*.

MODELO

De acuerdo a lo obtenido en el histograma y a la clasificación por tamaños, se realizó el modelo del efecto potencial de DSS en nódulos de *O. annularis*, y se obtuvieron los siguientes resultados: para los nódulos de tamaño chico infectados con DSS se estimó que la esperanza de vida seria de cinco años aproximadamente (Fig.8); mientras que para los nódulos de tamaño mediano (250-300 cm²) seria de ocho años (Fig.9) y finalmente los nódulos más grandes (1500cm²) estarían muriendo en periodo aproximado de 17 años (Fig.10).

Nódulo chico

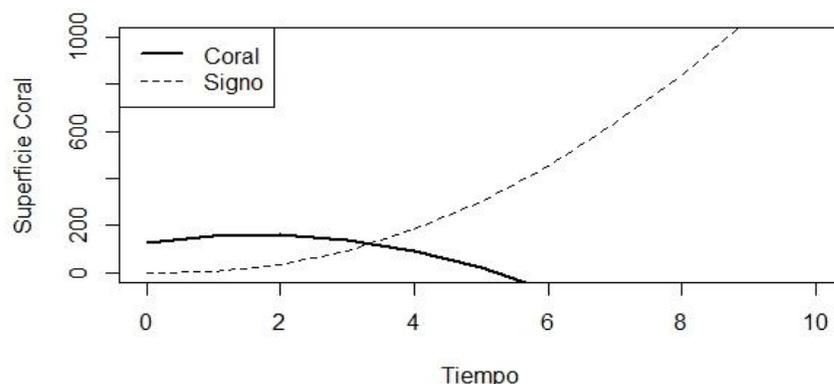


Figura 9.- Modelo del efecto potencial de DSS en nódulos de tamaño chico

Nódulo mediano

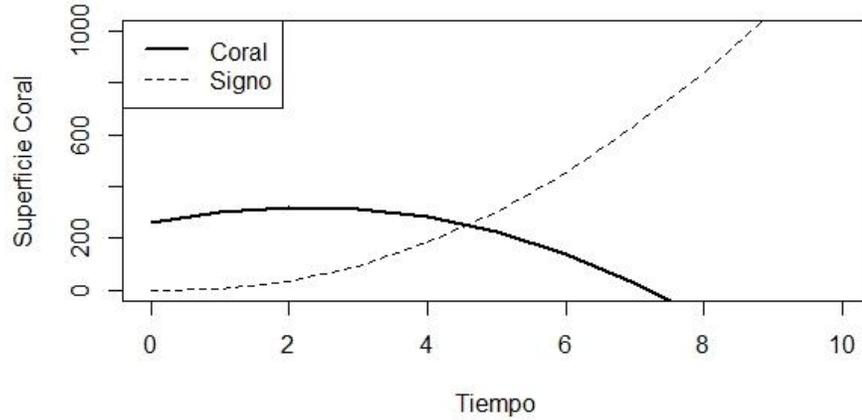


Figura 9.-Esperanza de vida en nódulos de tamaño mediano

Nódulo grande

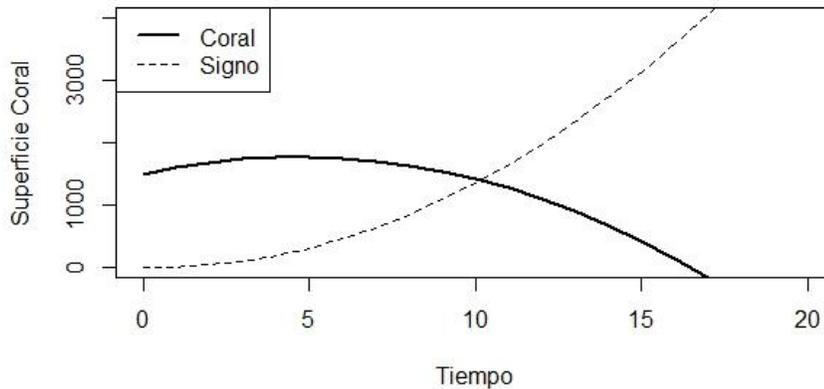


Figura 10.-.- Efecto potencial de DSS en nódulos de *O.annularis* de tamaño grande.

Tomando en cuenta que las colonias están formadas por más de un nódulo, entra mayor sea el número de nódulos infectados por DSS menor será la esperanza de vida de las colonias.

VII.-DISCUSIÓN

Diversos estudios sobre la prevalencia en enfermedades de coral señalan a DSS como una de las de mayor prevalencia, en el caribe colombiano Vega-Sequeda *et al.* (2008) encontraron una prevalencia de 0.3%, años más tarde Forero-Mejía (2012), registra un aumento de la prevalencia con 3.01%, ambos autores realizaron su muestreo de un mes a otro. En el Caribe Mexicano DSS también es una de las enfermedades con mayor prevalencia (Ward *et al.*,2006). Carricart *et al.* (2011) encuentran una prevalencia de 2.9 % para DSS en el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), siendo esta enfermedad la de mayor prevalencia para todo el sistema arrecifal.

Con las 157 colonias analizadas en el arrecife Tuxpan, se obtuvo una prevalencia del 34.11% para el 2018 y de 38.07% para 2019, estas tasas fueron mayores a las reportadas por García-Ayala (2017) el cual encontró una prevalecía >30% para DSS en el año 2012 y Morales-Ramírez (2021) reportó 20.33% para DSS en el año 2018, ambos estudios fueron realizados en todo el SALT, por lo que ese porcentaje es a nivel general. Ambos autores coinciden en que *O. annularis* fue la especie con mayor prevalencia de la enfermedad.

De los cuatro cuadrantes analizados, Q7 fue el único cuadrante que no presentó indicios de DSS esto podría atribuirse a la profundidad en la que se encuentra, ya que era el cuadrante más profundo (10m) y este síndrome es más común en zonas someras no mayores a los 6 m de profundidad (Gil-Agudelo y Garzón-Ferreira, 2001). Sin embargo, los cuadrantes Q3 y Q8 presentaron un aumento en la prevalencia del signo de un 16.49% al 13.63% respectivamente. Caso contrario al cuadrante Q9, en el cual la prevalencia disminuyo un 14.28% de un año al otro. Estos tres cuadrantes se encuentran a profundidades más someras, por lo que la profundidad podría estar jugando un papel importante, así mismo al estar a menor profundidad, el aporte de nutrientes y la temperatura aumenta, y se ha encontrado que dichas variantes influyen en el aumento de la presencia de diversas enfermedades en corales, incluyendo DSS (; Kuta y Richardson 2002; Randall *et al.*, 2014; Aeby *et al.*, 2019; Morales-Ramírez, 2021).

Se tienen pocos registros cuantificados de la incidencia de este síndrome, el cual ya ha afectado a gran parte del Caribe y Golfo de México; García *et al.* (2002) encontraron en Venezuela una incidencia para *O. annularis* de 10.40% siendo DSS uno de los síndromes más comunes para esta especie. La incidencia encontrada en el arrecife Tuxpan fue de 7.89% un porcentaje menor comparado con la de dichos autores. Algunos de los factores que se han encontrado que influyen de manera negativa en la incidencia es la profundidad y la temperatura, la cual se ha visto que a temperaturas mayores 28°C esta aumenta (Gil-Agudelo y Garzon-Ferreira,2001). Q7 fue el único cuadrante que no presento incidencias esto nuevamente se le podría atribuir a la profundidad en la que se encuentra, ya que como se mencionó anteriormente DSS presenta mayor prevalencia e incidencia en zonas más someras.

Se ha monitoreado este síndrome y se encontró que este puede estar presente en corales como *S.siderea* y *O. annularis* por un largo tiempo y mostrando pocos cambios; sin embargo, en otras especies como *S. intercepta* DSS ha presentado una tasa de avance mucho más acelerada. La tasa de avance registradas para DSS en Dominica por Borger y Steiner (2005) fue de 4.74cm/año (*S.siderea*). Y para *O. annularis* Garces-Baquero (2000) la registro con 2.25cm/año. En el arrecife Tuxpan la tasa de avance anual en *O. annularis* fue de 2.17 cm/año; la cual es una tasa relativamente baja si se le compara con las registradas por los autores antes mencionados.

El cuadrante Q9 fue el único que presento recuperación de cuatro colonias en 2019, sin embargo, parte del tejido donde se presentaba la mancha había muerto; Garces-Baquero,2000, mostro que DSS puede disminuir la capacidad de regeneración en los corales, y que lesiones pequeñas (1cm²) no mostraron regeneración de tejido; cosa que podría estar ocurriendo en estas colonias.

O. annularis es una de las especies con mayor dominancia bien establecida tanto en el Caribe como en el Golfo de México (Jordán-Dahlgren & Rodríguez-Martínez, 2003; Villamizar *et al.*,2014; Horta-Puga *et al.*, 2015) por lo cual esta cumple un papel fundamental para la construcción del arrecife.

Por el hecho de que DSS presenta una tasa de avance lenta se podría pensar que este síndrome podría no estar generando un daño al ecosistema, sin embargo, al presentar una alta

incidencia y prevalencia en algunas de las especies más importantes para la construcción de los arrecifes, esto podría comprometer la salud del arrecife.

Por lo cual el modelo implementado podría darnos una mejor visión de lo que podría pasar en un futuro a las colonias de *O. annularis* infectadas con DSS; El histograma mostro que la mayoría de los nódulos están en la categoría de tamaño pequeño por lo que según el modelo implementado la mayoría de los nódulos estarían muriendo en los siguientes 5 años, por lo cual tomando en cuenta que las colonias chicas están conformadas por un promedio de cuatro nódulos, de los cuales la mitad presenta DSS el tiempo para que la colonia muera será menor. Sin embargo, entre mayor sea el tamaño de los nódulos mayor será la esperanza de vida de la colonia.

VIII. CONCLUSIONES

- La prevalencia fue mayor a la reportada anteriormente en el Arrecife Tuxpan.
- El cuadrante Q7 fue el único que no se reportó la presencia de DSS.
- Los cuadrantes Q3 y Q8 fueron los que mayor prevalencia presentaron.
- El cuadrante Q3 fue el que presento el mayor número de nuevos casos para DSS en 2019.
- En cuadrante Q9 fue el único que presento colonias con recuperación.
- La tasa de avance es baja comparada con la de otras regiones y con otras enfermedades.
- La mayoría de los nódulos pertenecen a la categoría de tamaño chico por lo que podrían morir en 5 años.

IX. APLICACIÓN PRACTICA

El estudio se realizó en el arrecife Tuxpan, que forma parte del Sistema Arrecifal Lobos Tuxpan el cual fue declarado por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas en 2009 como un área de protección de flora y fauna. Es un complejo arrecifal de gran importancia gracias su gran potencial biológico, económico, científico, educativo, turístico y cultural (CONANP,2014). Para ser parte de un área natural protegida y brindar diversos servicios ecosistémicos, ya se tenía documentado que el arrecife Tuxpan, presenta una gran prevalencia del síndrome Lunares Oscuros, siendo *O. annularis* la especie más afectada. Con el presente trabajo se reforzó dicha afirmación y además se evaluó la incidencia y tasa de avance que este síndrome presenta en el arrecife en un periodo de un año. Este tipo de trabajos son necesarios para poder llevar un control sobre la enfermedad y poder saber cómo se encuentra la salud del arrecife. Al ser *O. annularis* una de las especies más importantes para la construcción del arrecife es de vital importancia monitorear esta enfermedad que, aunque presento una incidencia y tasa de avance baja se ha registrado que es un síndrome crónico y con poca o nula recuperación, lo cual podría causar daños a mediano o largo plazo que podrían comprometer la salud del arrecife. Por lo que es necesario que se continúe con el monitoreo de DSS, además hacen falta más estudios sobre el síndrome ya que al ser uno relativamente nuevo la información que se tiene de este aun es muy escasa.

X.- BIBLIOGRAFÍA

- Aeby, G. S., Ushijima, B., Campbell, J. E., Jones, S., Williams, G. J., Meyer, J. L. (2019). Pathogenesis of a tissue loss disease affecting multiple species of corals along the Florida reef tract. *Front. Mar. Sci.*, 6(1):678.
- Alfaro GKP. (2012). Modelo de distribución del hábitat bentónico para el arrecife Tuxpan, Veracruz. Tesis Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana, Tuxpan, 70 pp.
- Álvarez, F.L., (2015) El arrecife mesoamericano, un paraíso que pelagra por su belleza. *La Jornada ecológica* 199:3–4
- Antonius A (1973) New observations on coral destruction in reefs. *Abs Ass Isl Mar Lab Carib* 10:3 Antonius A (1977) Coral mortality in reefs: a problem for science and management. *Proc 3rd Int Coral Reef Symp* 2: 3–6.
- Borger, J. L., & Steiner, S. C. (2005). The spatial and temporal dynamics of coral diseases in Dominica, West Indies. *Bulletin of Marine Science*, 77(1), 137-154.
- Borthagaray, A. I., & Carranza, A. (2007). Mussels as ecosystem engineers: their contribution to species richness in a rocky littoral community. *acta oecologica*, 31(3), 243-250.
- Bourne, D. G., Garren, M., Work, T. M., Rosenberg, E., Smith, G. W., & Harvell, C. D. (2009). Microbial disease and the coral holobiont. *Trends in microbiology*, 17(12), 554-562.
- Bruno, J. F., E. R. Selig, K. S. Casey, C. A. Page, B. L. Willis, C. D. Harvell, H. Sweatman y A. M. Melendy. (2007). Thermal Stress and Coral Cover as Drivers of Coral Disease Outbreaks. *PLOS Biology*. 5: 1220-1227.
- Burke, L., & Maidens, J. (2005). Arrecifes en peligro en el Caribe Reef at risk in the caribbean (No. 333.9553 B959). World Resources Institute, Washington, DC (EUA).
- Carballo, J. L., Bautista-Guerrero, E., Nava, H., Cruz-Barraza, J. A., Hernández-Zanuy, A., & Alcolado, P. M. (2010). Cambio climático y ecosistemas costeros. Bases fundamentales para la conservación de los arrecifes de coral del Pacífico Este. *La Biodiversidad en Ecosistemas Marinos y Costeros del Litoral de Iberoamérica y el Cambio Climático: I. Red Cytod Biodivmar, La Habana*, 183-193.
- Carricart-Ganivet, J.P., A.U. Beltrán-Torres & 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.
- Cederstav, A., Lawrence, J. & Quintanilla, V. (Eds.) (2015). *La Protección de los Arrecifes de Coral en México. Rescatando la Biodiversidad Marina y sus Beneficios para la Humanidad. IV Amenazas de los Arrecifes de Coral. AIDA. México, D. F.: Asociación Interamericana para la Defensa del ambiente.*
- Cervino, J., Goreau, T. J., Nagelkerken, I., Smith, G. W., & Hayes, R. (2001). Yellow band and dark spot syndromes in Caribbean corals: distribution, rate of spread, cytology, and effects on abundance and division rate of zooxanthellae. In *The ecology and etiology of newly emerging marine diseases* (pp. 53-63). Springer, Dordrecht.
- Chávez Hidalgo, A. (2009). Conectividad de los arrecifes coralinos del Golfo de México y Caribe Mexicano (Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas).
- Chávez, E. A., Tunnell Jr, J. W., & Withers, K. (2007). Coral reef zonation and ecology: veracruz shelf and campeche bank. *Coral reefs of the southern Gulf of Mexico*, 41-67.

- CONANP. (2014). Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, 175 pp. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- Cróquer, A., & Bone, D. (2003). Las enfermedades en corales escleractínidos: ¿ Un nuevo problema en el arrecife de Cayo Sombrero, Parque Nacional Morrocoy, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 167-172.
- Cróquer A., Weil, E. y Rogers, C.S., (2021) Similarities and Differences Between Two Deadly Caribbean Coral Diseases: White Plague and Stony Coral Tissue Loss Disease. *Front. Mar. Sci.* 8:709544. doi: 10.3389/fmars.2021.709544
- Díaz, J., Garzon-Ferreira, J. & Zea, S. (1995) Los arrecifes coralinos de la isla de San Andres, Colombia: estado actual y perspectivas para su conservación, Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas, y Naturales, Colección Jorge Alvarz Lleras, Bogota.
- Díaz-Pulido, G. (1997). Informe Nacional sobre el estado de la biodiversidad en Colombia, ecosistemas Marinos, Instituto de Investigaciones marinas y costeras, INVEMAR. Santa Marta, Colombia. 141 pp.
- Diario Oficial de la Federación (DOF), 2019.
- Forero Mejía, A. (2012). Estado actual de salud coralina en las comunidades arrecifales en Chengue y Gayraca, dos bahías del Parque Nacional Natural Tayrona, Caribe Colombiano. *Biología Marina Universidad Jorge Tadeo Lozano*. Bogotá, Colombia. 27p.
- Garces-Baquero AM (2000) Desarrollo de la Enfermedad de Lunares Oscuros en los corales petreos *Montastraea annularis* y *Siderastrea siderea* en la Bahía de Gayraca, Caribe colombiano. Thesis (Marine Biologist), Fundación Univ Bogota Jorge Tadeo Lozano
- García, A., Cróquer, A., & Pauls, S. M. (2002). Relación entre la incidencia de enfermedades y la estructura de tallas y especies en corales del Parque Nacional Archipiélago de Los Roques, Venezuela. *Interciencia*, 27(9), 448-453.
- García-Ayala G. (2017). Prevalencia de signos de enfermedades y estructura de los ensamblajes coralinos en arrecifes del Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, Mexico. 58p.
- García-Benitez, M. (2018). Patrones de distribución espacial del signo de lunares oscuros en ramets del coral *Orbicella annularis* en el arrecife Tuxpan, Veracruz. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, Mexico. 57p.
- Garzón-Ferreira J, Gil-Agudelo DL, Barrios LM, Zea S (2001) Stony coral disease observed in southwestern Caribbean reefs. *Hydrobiologia*. 460: 65-69.
- Gil-Agudelo, D. L. & Garzón-Ferreira, J. (2001). Spatial and seasonal variation of the dark spots disease in coral communities of the Santa Marta area (Colombian Caribbean). *Bull. Mar. Sci.*, 69 (2): 619-629.
- Gil-Agudelo, D., Smith, G., Garzón-Ferreira, J., Weil E., & Petersen D. (2004) Dark spots disease and yellow band disease, two poorly known coral diseases with high incidence in Caribbean reefs, in *Coral Health and Disease* (eds E. Rosenberg and Y. Loya). Springer, Berlin, Germany, pp. 337–341.
- Gil-Agudelo, D.L., Fonseca, D.P., Weil, E., Garzon-Ferreira, J., y Smith G.W. (2007). Bacterial communities associates with the mucopolysaccharide layers of three coral species affected and unaffected with dark spots disease. *Can J Microbiol* 53: 465-471.
- Gil-Agudelo, D. L., Navas-Camacho, R., Rodríguez-Ramírez, A., Reyes-Nivia, M. C., Bejarano, S., Garzón-Ferreira, J., & Smith, G. W. (2009). Enfermedades coralinas y su investigación en los arrecifes colombianos. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 38(2), 189-224.

- González-Gándara, C., & Salas-Pérez, J. D. J. (2019). Caracterización del sustrato bentónico del arrecife Tuxpan, Veracruz, México, con énfasis en la comunidad de corales escleractinios. *Revista de biología marina y oceanografía*, 54(3), 259-271.
- Gonzalez-Ontivero, O. G. & De la Guarda E.(2008). Evaluación de la tasa de progresión de enfermedades de coral en un arrecife de la región noroccidental de Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas*, 29(2), 119-123.
- Green E, & Bruckner A (2000) The significance of coral disease epizootiology for coral reef conservation. *Biol Conser* 96: 347–36.
- Harvell, C.D, R. Aronson, N. Baron, J. Connell, A. Dobson, S. Ellner, L. Gerber, K. Kim, A. Kuris, H. McCallum, K. Lafferty, B. McKay, J. Porter, M. Pascual, G. Smith, K. Sutherland, and J. Ward. (2004). The rising tide of ocean diseases: Unsolved problems and research priorities. *Frontiers in Ecology* 2(7):375–382.
- Hernández-Zanuy A., y Alcolado P. M. (Eds). (2012). La biodiversidad en ecosistemas marinos y costeros del litoral de Iberoamérica y el cambio climático: II. Memorias del Simposio Iberoamericano de biodiversidad marina y cambio climático, de la RED CYTED BIODIVMAR. Balneario Camboriú, Santa Catarina, Brasil, noviembre 2011.
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., Harvell C.D.,Sale P.F., Edwards A.J., Caldeira K.,Knowlton N.,Eakin C.M., Iglesias-Prieto R.,Muthiga N.,Bradbury R.H., Dubi A. & Hatziolos, M. E. (2007). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *science*, 318(5857), 1737-1742.
- Horta-Puga G, JL Tello-Musi, A Beltrán-Torres, JP Carricart-Ganivet, JD Carriquiry & J VillaescusaCelaya. (2015) Veracruz reef system: a hermatypic coral community thriving in a sedimentary terrigenous environment.
- Jordán-Dahlgren E. (1992). Recolonization patterns of *Acropora palmata* in a marginal environment. *Bulletin of Marine Science*, 51(1): 104-117.
- Jordán-Dahlgren, E. & R. Rodríguez-Martínez E. (2003).The Atlantic coral reefs of México, en Cortés, J. (ed.). *Latin American coral reefs*, Elsevier, 2003, p. 508.
- Jordán-Dahlgren, E., Maldonado, M. A., & Rodríguez-Martínez, R. E. (2005). Diseases and partial mortality in *Montastraea annularis* species complex in reefs with differing environmental conditions (NW Caribbean and Gulf of México). *Diseases of aquatic organisms*, 63(1), 3-12.
- Kuta KG, & Richardson LL (2002) Ecological aspects of black band disease of corals: relationships between disease incidence and environmental factors. *Coral Reefs* 21:393–398.
- Martos FFJ. (1993). Estudio sobre corales escleractinios (*Cnidaria:Anthozoa, Scleractinia*) del arrecife Tuxpan, Veracruz. Tesis Licenciatura, Facultad de Biología, Universidad Veracruzana, Tuxpan, 54 pp.
- Maynard, J., van Hooidek, R., Eakin, C., Puotinen, M., Garren, M., Williams, G., Scott, F., Lamb, J., Weil, E., Willis, B. y Harvell, D. (2015). Projections of climate conditions that increase coral disease susceptibility and pathogen abundance and virulence. *Nature Climate Change* 5, 688–694.
- Morales-Ramirez B.A.(2021). Dinámica de signos de enfermedades de coral correlacionada con variables ambientales en el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, golfo de México Occidental, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, Mexico. 122p..
- Moreno-Altamirano, A., López-Moreno, S., & Corcho-Berdugo, A. (2000). Principales medidas en epidemiología. *Salud pública de México*, 42, 337-348.
- Muller, E. M., C. S. Rogers, A. S. Spitzack y R. van Woosik. (2008). Bleaching Increases Likelihood of Disease on *Acropora palmata* in Hawksnest Bay, St John, US Virgin Islands. *Coral Reefs*. 27: 191-195

- Muller, E. M., & Van Woesik, R. (2011). Black-band disease dynamics: prevalence, incidence, and acclimatization to light. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 397(1), 52-57.
- Navas-Camacho, R., Gil-Agudelo, D. L., Rodríguez-Ramírez, A., Reyes-Nivia, M. C., & Garzón-Ferreira, J. (2010). Coral diseases and bleaching on Colombian Caribbean coral reefs. *Revista de Biología Tropical*, 58, 95-106.
- Nugues, M. M. (2002). Impact of a coral disease outbreak on coral communities in St. Lucia: What and how much has been lost?. *Marine Ecology Progress Series*, 229, 61-71.
- Ortiz-Lozano LD, H Pérez-España, A Granados-Barba, C González-Gándara, A Gutiérrez-Velázquez & J Martos. (2013). The Reef Corridor of the Southwest Gulf of Mexico: Challenges for its management and conservation. *Ocean and Coastal Management* 86: 22-32.
- Pérez-Maqueo O, L Muñoz-Villiers, G Vázquez, EZ Equihua & RP León. (2011). Hidrología. En: Cruz-Angón A (ed). La biodiversidad en Veracruz estudio de estado I: 289-292. CONABIO, Gobierno de Veracruz, Universidad Veracruzana, Instituto de Ecología, Xalapa.
- Peters E.C. (1993). Disease of other invertebrate Phyla: Porifera, Cnidaria, Ctenophora, Annelida, Echinodermata. Pages 393-449 in J. A. Couch and J. W. Fournie, ed. *Advances in fisheries science. Pathobiology of marine and estuarine organisms*. CRC Press, Boca Ratón, Florida.
- Porter J.W., J.P. Dustan, W.C. Japp, K.L. Patterson, V. Kosmynin, O. Meier, M.E. Patterson, and M. Parsons. (2001). Patterns of spread of coral disease in the Florida Keys. *Hydrobiologia* 460:1-24.
- Porter, J.W., Torres, C., Sutherland, K.P., Meyers, M.K., Callahan, M.K., Ruzicka, R., Colella, M. (2011) Prevalence, severity, lethality, and recovery of dark spots syndrome among three Floridian reef-building coral. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 408(1-2).
- Randall, C. J., Jordán-Garza, A. G., Muller, E. M., Van Woesik, R. 2014. Relationships between the history of thermal stress and the relative risk of diseases of Caribbean corals. *Ecology*, 95(7):1981-1994.
- Randall, C. J., Jordan-Garza, A. G., Muller, E. M., & van Woesik, R. (2016). Does dark-spot syndrome experimentally transmit among Caribbean corals?. *PloS one*, 11(1).
- Roberts, C. M., McClean, C. J., Veron, J.N., Hawkins, J.P., Allen, G.R., McAllister, D.E., Mittermeier C.G., Shueller, F.W., Spalding, M., Wells, Vynne, C., Werner, T. B. (2002). Marine biodiversity hotspots and conservation priorities for tropical reefs. *Science*, 295(5558), 1280-1284.
- Rodríguez-Zaragoza, F. A., & Arias-González, J. E. (2015). Coral biodiversity and bio-construction in the northern sector of the mesoamerican reef system. *Frontiers in Marine Science*, 2, 13.
- Solano, O. D., G. Navas-Suárez y S. K. Moreno-Forero. (1993). Blanqueamiento coralino de 1990 en el Parque Nacional RNatural Corales del Rosario (Caribe colombiano). *An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín*, 22: 97-111.
- 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.
- Sweet M, Burn D, Croquer A, & Leary P. (2013) Characterisation of the Bacterial and Fungal Communities Associated with Different Lesion Sizes of Dark Spot Syndrome Occurring in the Coral *Stephanocoenia intersepta*. *PLoS ONE* 8(4): e62580.
- Thrusfield, M. (2018). *Veterinary epidemiology*. John Wiley & Sons.
- Vásquez, C.E. (2018). Estructura de la comunidad coralina del arrecife de isla Lobos, Veracruz, México. (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma De Baja California Sur, Área De Conocimiento De Ciencias Del Mar, Departamento De Biología Marina. La Paz, Baja California Sur, México.

- Vega-Sequeda, J., Rodríguez-Ramírez, A., Reyes-Nivia, M. C., & Navas-Camacho, R. (2008). Formaciones coralinas del área de santa marta: estado y patrones de distribución espacial de la comunidad bentónica. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*, 37(2), 87-105.
- Villamizar, E., Yranzo, A., González, M., Herrera, A. T., Pérez, J., & Camisotti, H. (2014). Diversidad y condición de salud de corales pétreos en algunos arrecifes del Parque Nacional Archipiélago Los Roques, Venezuela. *Acta Biol. Venez*, 34(2), 257-279.
- Ward, J. R., Rypien, K. L., Bruno, J. F., Harvell, C. D., Jordán-Dahlgren, E., Mullen, K. M., Rodríguez-Martínez, R. E., Sánchez, J., & Smith, G. (2006). Coral diversity and disease in Mexico. *Diseases of aquatic organisms*, 69(1), 23–31.
- Willis B.L., Page C.A., & Dinsdale E.A. (2004) Coral Disease on the Great Barrier Reef. In: Rosenberg E., Loya Y. (eds) *Coral Health and Disease*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Weil, E., Urrieztietia, I. y Garzon-Ferreira J. (2000). Geographic variability in the incidence of coral and octocoral diseases in the wider Caribbean. *Proceedings 9th International Coral Reef Symposium*. Bali, Indonesia 23-27. Vol. 2.
- Weil, E. (2004) Coral reef diseases in the wider Caribbean, in *Coral Health and Disease*. (eds E. Rosenberg and Y. Loya). Springer, Berlin, pp. 35–68.
- Weil, E., Smith, G. and Gil-Agudelo, D. (2006) Status and progress in coral reef disease research. *Diseases of Aquatic Organisms* 69, 1–7.
- Weil, E., & Rogers, C. S. (2011). Coral reef diseases in the Atlantic-Caribbean. In *Coral reefs: an ecosystem in transition* (pp. 465-491). Springer, Dordrecht.
- Weil, E., Hernández-Delgado, E. A., Gonzalez, M., Williams, S., Suleimán-Ramos, S., Figuerola, M., et al. (2019). Spread of the new coral disease “SCTLD” into the Caribbean: implications for Puerto Rico. *Reef Encounter* 34, 38–43.
- Yranzo, A. et al (2020). Estatus y plan de acción para la conservación del coral pilar estrella, *Orbicella annularis* y el coral estrella montañoso, *Orbicella faveolata*, un producto del Instituto de Zoología y Ecología Tropical, Venezuela y de la Beca de EDGE of Existence, Sociedad Zoológica de Londres, Londres, UK.