



Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

Campus Tuxpan

Maestría en Manejo de Ecosistemas Marinos y Costeros

**Propuesta de monitoreo para detectar cambios en la
cobertura coralina de los arrecifes del norte de Veracruz,
México**

TESIS DE MAESTRÍA

Que para obtener el título de:

**MAESTRA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y
COSTEROS**

PRESENTA:

ING. HELENI EUNICE CANCINO GUZMÁN

Director

DR. ADÁN GUILLERMO JORDÁN GARZA

Tuxpan, Veracruz


2018

AL C. MTRO. AGUSTIN DE JESUS BASAÑEZ MUÑOS
CORDINADOR DE LA MAESTRIA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y
COSTEROS
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLOGICAS Y AGROPECUARIAS
UNIVERSIDAD VERACRUZANA
P R E S E N T E

Por este medio comunico a usted que el trabajo de tesis **“Propuesta de monitoreo para detectar cambios en la cobertura coralina de los arrecifes del norte de Veracruz, México”**, que desarrollo la **C. ING. HELENI EUNICE CANCINO GUZMÁN** bajo mi dirección ha concluido, por lo que está a disposición de la comisión revisora que usted sirva nombrar.

Atentamente

Tuxpan de R. Cano Ver., 29 de junio de 2018



Dr. Adán Guillermo Jordán Garza

La presente Tesis titulada “PROPUESTA DE MONITOREO PARA DETECTAR CAMBIOS EN LA COBERTURA CORALINA DE LOS ARRECIFES DEL NORTE DE VERACRUZ, MÉXICO”, realizado por la C. Ing. Sis. Cos. Heleni Eunice Cancino Guzmán, ha sido aprobada y aceptada para llevar a cabo la solicitud de fecha de examen para obtener el grado de:

MAESTRO EN MANEJO DE ECOSISTEMAS MARINOS Y COSTEROS

COMITÉ LECTOR:



DR. CARLOS GONZÁLEZ GÁNDARA
LECTOR



DR. JOSÉ DE JESÚS SALAS PÉREZ
LECTOR



DR. ALEJANDRO GRANADOS BARBA
LECTOR

Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz, enero de 2019

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Angelina Guzmán Coronado y David Moisés Cancino Muños, por todo su apoyo incondicional, su amor y comprensión que me han brindado durante toda mi vida, gracias por llevarme por el buen camino y no dejarme caer en los momentos difíciles. LOS AMO.

A MI ESPOSO Y MIS DOS HIJOS

Mi esposo Adriel Hernández Pérez, mi hija Kazumy Lizeth Hernández Cancino y mi hijo Adriel Hernández Cancino, por ser el motor y la razón que me impulsa a seguir adelante día a día con todo el amor, apoyo incondicional que me brindan y por su comprensión para alcanzar un logro más en nuestra vida juntos. LOS AMO.

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis:

Al Dr. Adán Guillermo Jordán Garza, por su apoyo y confianza incondicional brindado durante todo este trayecto, la paciencia y tiempo que me dedico; así como el conocimiento y los consejos que me brindo y me ayudaron a culminar esta investigación.

A mi comisión lectora

Dr. Carlos González Gándara, Dr. José de Jesús Salas Pérez y Dr. Alejandro Granados Barba, por los aportes significativos en cada etapa del desarrollo de este trabajo y acertados comentarios.

Por el apoyo otorgado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarla beca No. 781876, apoyo que fue utilizado para estudiar la Maestría en Manejo en Ecosistemas Marinos y Costero. A la Universidad Veracruzana, por la oportunidad de permitirme crecer académicamente como profesional.

A mis catedráticos de las asignaturas

Por brindarme su conocimiento, tiempo, apoyo, confianza, paciencia y valiosos consejos para poder culminar con sus asignaturas y el posgrado, muchas gracias.

Contenido

Introducción	1
Antecedentes	3
Objetivo General:	7
Área de estudio	8
Materiales y métodos	10
Resultados	17
Discusión	26
Conclusiones	32
Implicaciones de conservación y manejo	33
Plan de monitoreo	34
Bibliografía	36
Anexos	52

Índice figura

Figura 1. Mapa de área de estudio “arrecife Tanhuijo, Enmedio y Tuxpan”, con los puntos de muestreo.....	8
Figura 2. Muestreo estratificado con sus sitios de muestreo y transectos... ..	11
Figura 3. Ejemplo del análisis de cobertura arrecifal utilizando el programa CPCe versión 4.1, con 30 puntos al azar.....	13
Figura 4. Esfuerzo de muestreo en función de la precisión en la estimación del cambio de cobertura coralina con tres diferentes poderes (0.9, 0.8 y 0.7).	22
Figura 5. Análisis de Escalonamiento Multidimensional (nMDS), entre los arrecifes Tux (Tuxpan), Enm (Enmedio) y Tan (Tanhuijo); Stress=0.1265.	18
Figura 6. Cobertura coralina de los sitios dentro de los arrecifes de una ANOVA anidada (F= 1.146, Grados libertad= 2 p= 0.3891).	20
Figura 7. Porcentaje relativo de la cobertura coralina del arrecife Tuxpan con sus intervalos de confianza.....	23
Figura 8. Análisis de Escalonamiento Multidimensional (nMDS), entre muestreos del 2012, 2014 y 2017 del arrecife Tuxpan; Stress=0.16.....	24

Índice de Cuadro

Cuadro 1 Tasa de pérdida descrita por diferentes autores.	21
Cuadro 2. Porcentaje relativo de la cobertura coralina en los arrecifes de Tuxpan, Enmedio y Tanhuijo con sus respectivos intervalos de confianza del 95%	17
Cuadro 3. Disimilitud entre los arrecifes Enmedio-Tuxpan y Enmedio-Tanhuijo, en base al análisis SIMPER.....	19
Cuadro 4. Disimilitud entre los años muestreados del arrecife Tuxpan, en base al análisis SIMPER.	25
Cuadro 5. coordenadas de los sitios muestreados.....	35

Resumen

Los arrecifes del Atlántico se han degradado en los últimos 50 años a una tasa de pérdida de cobertura coralina (CC) de 3.18 %/año (2.49 a 3.88 I.C) según reportes existentes. Aunque año con año esa pérdida es casi imperceptible, en 10 años un sitio determinado podría perder hasta casi un 40% de su cobertura de coral. Para poder tomar decisiones de manejo efectivas es necesario conocer las tendencias de cambio a tiempo. Usando un muestreo jerarquizado totalmente al azar en la zona de sotavento del polígono sur del sistema arrecifal Lobos-Tuxpan, con video-transectos de 10 m x 0.5 m de largo, se estimó la CC en la zona de sotavento de tres arrecifes del polígono sur del área marina protegida y para el arrecife Tuxpan se realizaron muestreos en diferentes años para ver la tendencia de cambio a través del tiempo. El promedio de la CC encontrada del 2012 para el polígono Tuxpan fue de 47.04 % (± 2.8 % I.C. 95%) y un ANOVA anidada mostró que no existieron diferencias significativas en la cobertura de coral entre los tres arrecifes ($F=1.14$, $p=0.38$). Para el análisis a través del tiempo del arrecife Tuxpan se analizaron datos del 2012, 2014 y 2018 y se encontraron diferencias significativas en el tiempo ($gl=2$, $p<0.01$) con una pérdida anual de 2.27 % (± 0.2 % I.C. 95 %) en 5 años, por lo que si esta tendencia de cambio de la CC en el arrecife Tuxpan continua se estima que en 20 años se habrá perdido el 40 % de su cobertura.

Palabras claves: pérdida, cobertura, monitoreo, corales pétreos, arrecife Tuxpan.

Introducción

A nivel mundial, los arrecifes coralinos son los ecosistemas que contienen la mayor biodiversidad en el océano ya que un 25 % de las especies oceánicas habitan en los arrecifes o están relacionados con ellos (Mumby *et al.*, 2014). Los sistemas arrecifales representan un papel importante para diferentes taxones como: anélidos, moluscos, crustáceos, equinodermos y peces debido a que sirven como sitios de reproducción, anidación, refugio y alimentación (Beukers y Jones 1998; Freiwald *et al.*, 2004; Costello *et al.*, 2005). Además, los arrecifes coralinos protegen a las comunidades costeras de la erosión y el efecto potencial de huracanes y tormentas tropicales (Torres-Freyermuth *et al.*, 2012). Además, proporcionan un 10% de la producción mundial de pesca marina (Cederstav *et al.*, 2015). Al mismo tiempo, los arrecifes coralinos son la base de una industria turística muy redituable, por ejemplo, en México el 20% de la moneda extranjera llega a través de zonas con arrecifes, principalmente Cancún, por actividades económicas vinculadas al turismo (Mumby *et al.*, 2014).

Sin embargo, los arrecifes de coral enfrentan una variedad de amenazas por los efectos directos o indirectos de las actividades humanas que incluyen sobrepesca, desarrollo costero, escorrentía agrícola, encallamientos y turismo (Pandolfi *et al.*, 2003; Carpenter *et al.*, 2008; Mora, 2008). Así mismo, el cambio climático global ha comenzado a agravar estas amenazas en los arrecifes causado un deterioro a nivel mundial en la cobertura arrecifal (Kleypas *et al.*, 2001; Gardner *et al.*, 2003; Bruno y Selig, 2007; Wilkinson y Souter, 2008; Alvarez-Filip *et al.*, 2011; Burke *et al.*, 2011).

La abundancia y diversidad de corales, en los arrecifes del SALT están relacionados a los microambientes en cada arrecife, variando con la exposición a las olas, la disponibilidad de luz, las descargas de sedimentos, los cambios estacionales en la temperatura y la salinidad (Fabricius, 2006; Horta-Puga, 2016). Sin embargo, las acciones humanas han ido aumentando en las últimas décadas y con ello el deterioro de los sistemas arrecifales (Jones *et al.*, 2008), por lo que es necesario precisar la variabilidad de la cobertura arrecifal a distintos niveles espaciales y conocer sus tendencias de cambio en el tiempo. Puesto que, la cobertura arrecifal es uno de los atributos de mayor importancia para los sistemas arrecifales, ya que es un componente que nos ayuda a entender los cambios en las comunidades, valorar la salud, el estado de conservación o deterioro de un arrecife coralino y su respuesta ante eventos naturales y antrópicos (Graham *et al.* 2011, Flower *et al.* 2017), siendo estos últimos los que más daño están causando en los sistemas arrecifales (Burke *et al.*, 2011).

La ausencia de análisis cuantitativos a escala regional de la salud y cobertura de los arrecifes en general ha llevado a desacuerdos acerca del declive del coral (Bruno y Selig, 2007), por ello, es necesario contar con un plan de monitoreo adecuado que permita obtener la cobertura de los arrecifes y la tasa a la cual se están degradando y así poder tomar decisiones de manejo pertinentes. Este estudio busca conocer la escala de variación espacial de la cobertura coralina en la zona de sotavento de tres arrecifes del SALT en su polígono sur y determinar la precisión con la que es posible estimar el cambio de la cobertura usando un muestreo estratificado al azar, y contrastar dicha precisión con la tasa esperada de pérdida de

cobertura en base a lo observado en otros estudios, ya que la capacidad que se tenga para detectar cambios en la estructura, cobertura arrecifal y diversidad de los ensamblajes es vital para saber cómo se encuentra la salud del arrecife y actuar a favor de la conservación de manera oportuna y eficaz a través de un manejo adaptativo (Hughes, 1989; Cinner *et al.*, 2006; Plaisance *et al.*, 2011).

Antecedentes

Estudios mencionan que el 11 % de la cobertura coralina global se ha perdido, mientras que el 16 % se encuentra degradada (Gardner *et al.*, 2003). En el caso del Caribe mexicano, los arrecifes coralinos están sometidos a altos niveles de presión por lo que especies como *Acropora palmata*, *A. cervicornis*, *Antipathes bichitoea*, *A. grandis*, *A.ulex*, *Plexaurella dichotoma* o *Plexaura homomalla* se encuentran en peligro de extinción (García *et al.*, 2010) y algunas muestran un declive de alrededor de 90 % en su cobertura. Debido a estas condiciones se han declarado a los arrecifes en estado de crisis mundial (Wilkinson, 2004; Veron *et al.*, 2009; Wilkinson *et al.*, 2009). Las causas de este deterioro resultan en parte de altas temperaturas oceánicas asociadas al cambio climático que causan blanqueamiento, epizootias de enfermedades y la acidificación de los océanos, los afluentes que se descargan al mar, la sobrepesca en el arrecife, turismo y la deforestación (Lorente *et al.*, 2004; Wilkinson y Souter, 2008; Mumby, 2014).

La medición de los ensamblajes de coral a través de múltiples escalas (espaciales y temporales) puede explicar los diferentes patrones de variabilidad, también puede

ayudar a descubrir vínculos entre procesos aparentemente no relacionados que operan en diferentes niveles jerárquicos de organización. Además, el muestreo multiescalar puede revelar dominios, en los que las características de un sistema de arrecife son independientes. Si las escalas de interés caen dentro de ese rango independiente, entonces los programas de investigación pueden optimizarse para reducir el esfuerzo requerido para muestrear arrecifes de forma efectiva (Murdoch y Aronson, 1999).

Numerosas actividades humanas dañan los arrecifes de coral; según Cederstav *et al.* (2015) estas acciones podían destruir entre 60 y 70% de la cobertura mundial coralina para el 2030. Perry *et al.* (2013) propusieron un 10 % de cobertura de coral como umbral crítico por debajo del cual los arrecifes se erosionan más rápido de lo que se forman por acreción.

Los arrecifes de coral se han degradado con el pasar de los años lo cual, de cierta manera, es algo que suele ocurrir en cualquier ecosistema; sin embargo, se han reportado pérdidas de hasta un 40 % de cobertura de coral vivo en 30 años en los arrecifes del caribe (Gardner *et al.*, 2003). De esta misma manera en diferentes partes del mundo los arrecifes de coral han ido disminuyendo su cobertura coralina, como lo es en el Indo-Pacífico (Bruno y Selinger, 2007; Magdaong *et al.*, 2013; Cleary *et al.*, 2014). La Gran Barrera Arrecifal de Australia no es la excepción, ya que ha tenido un deterioro de aproximadamente 14 % en 27 años (Sweatman *et al.*, 2011; De'ath *et al.*, 2012). El mar Caribe presenta un deterioro de más del 50 % en este siglo (Gardner *et al.*, 2003; Palandro *et al.*, 2003; Martínez y Acosta 2005; Vega-Sequeda *et al.*, 2008; Schutte *et al.*, 2010; Caballero *et al.*, 2011; Alvarez-Filip, 2011);

y fuera del mar caribe, la zona costera de Brasil también muestra deterioro en sus arrecifes coralinos (Cruz *et al.*, 2015). El Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) ha tenido pérdidas de aproximadamente 10 % de cobertura coralina, aunque se ha mantenido estable desde 1980 con una cobertura coralina cercana al 20 % (Horta-Puga *et al.*, 2015).

Para la zona de estudio no hay trabajos que muestren el cambio temporal en cobertura, los estudios que resaltan son únicamente reportando la cobertura de los arrecifes. En el arrecife Tanhuijo Jacovo-Montiel (2011) caracterizo la comunidad de corales pétreos por medio de punto interceptado y conteo de colonias coralinas; reportaron para el 2009 un promedio de 34 % de cobertura coralina.

En el arrecife de Enmedio, Antonio (2009) evaluó el estado de las comunidades coralinas mediante el método AGRRA y la determinación de la cobertura coralina con cuadrantes de 25 cm X 25 cm, encontrando 31 % de coral vivo en sotavento y 6 % en la planicie. Por su parte González-González *et al.* (2016) estudiaron la comunidad bentónica encontrando un 37.3 % de cobertura promedio, representada por 68 especies sésiles, siendo los corales los predominantes en cobertura y número de especies.

En un monitoreo de sitios permanentes en el arrecife Tuxpan, Calle-Triviño (2014) describió la cobertura de corales pétreos en los años 2013 y 2014 en una zona profunda (9 y 12 m) y una somera (2 y 5 m) sin encontrar cambios significativos de la cobertura coralina entre la zona profunda (66.33 % en el 2013 y 72% en el 2014) y la zona somera (59.33 %).

Escobar-Vásquez (2015), estudió la estructura coralina del arrecife Lobos de Tamiahua, Veracruz; en barlovento y sotavento por dos niveles de profundidad: somero (5 a 10 m) y profundo (10 a 15 m) reportando un promedio de 18.39 % de cobertura coralina y sin diferencias significativas entre los estratos de profundidad. Asimismo, encontraron un promedio de 62.03 % de algas filamentosas en los dos estratos.

Sin conocer las tendencias de cambio en la cobertura arrecifal de los arrecifes del SALT es imposible implementar medidas de manejo efectivas que busquen frenar un posible deterioro o mantener una tendencia positiva en la cobertura coralina (Mumby y Antony 2015). Es por eso que se buscará responder a las siguientes preguntas: 1) ¿Hay diferencias en términos de la cobertura arrecifal en sotavento somero (entre 5 y 10 m de profundidad) entre los tres arrecifes del polígono del SALT sur? 2) ¿Cuál sería el esfuerzo de muestreo mínimo para estimar la cobertura de coral con una precisión suficiente para detectar cambios a corto plazo? y 3) ¿Cuál es la tendencia de cambio de la cobertura coralina? Para intervenir a tiempo en los arrecifes de coral, es necesario llevar a cabo un manejo adaptativo y preventivo, el cual, es un enfoque que, requiere flexibilidad y voluntad de cambiar las fases de diseño, implementación y evaluación de cualquier programa de conservación o plan de manejo de manera recurrente (Aswani *et al.*, 2007).

Objetivo

General:

Estimar la variabilidad espacial de la cobertura coralina en sotavento con la tendencia de cambio dentro del contexto regional de degradación arrecifal en los arrecifes del polígono sur del Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan.

Particulares:

1. Describir la variabilidad a distintas escalas espaciales (transecto, sitio, arrecife) de la cobertura bentónica en la pendiente de sotavento (5 a 10 m) en los arrecifes del polígono sur del SALT.
2. Determinar el esfuerzo de muestreo mínimo en arrecifes del polígono Tuxpan del SALT para detectar un cambio igual o mayor a la tasa de cambio anual en cobertura de coral esperada en base a la literatura.
3. Estimar la tasa anual de cambio de cobertura coralina para un arrecife del polígono Tuxpan del SALT.

Área de estudio

El sistema arrecifal Lobos-Tuxpan (SALT) se ubica al norte del Estado de Veracruz, frente a las costas de los Municipios de Tamiahua y Tuxpan, abarca una superficie total de 30,571 ha. Integrado por dos polígonos, Lobos y el polígono Tuxpan que incluye tres formaciones arrecifales conocidas como Tuxpan, Enmedio y Tanhuido con una superficie de 17, 984 ha (DOF, 2009); arrecife Tuxpan ubicado entre los 21° 2'4.88"N y los 97°11'49.77"O, Enmedio ubicado entre los 21° 4'56.89"N y 97°15'19.40"O y Tanhuido 21° 8'12.75"N y 97°16'15.35"O, (Fig. 1).

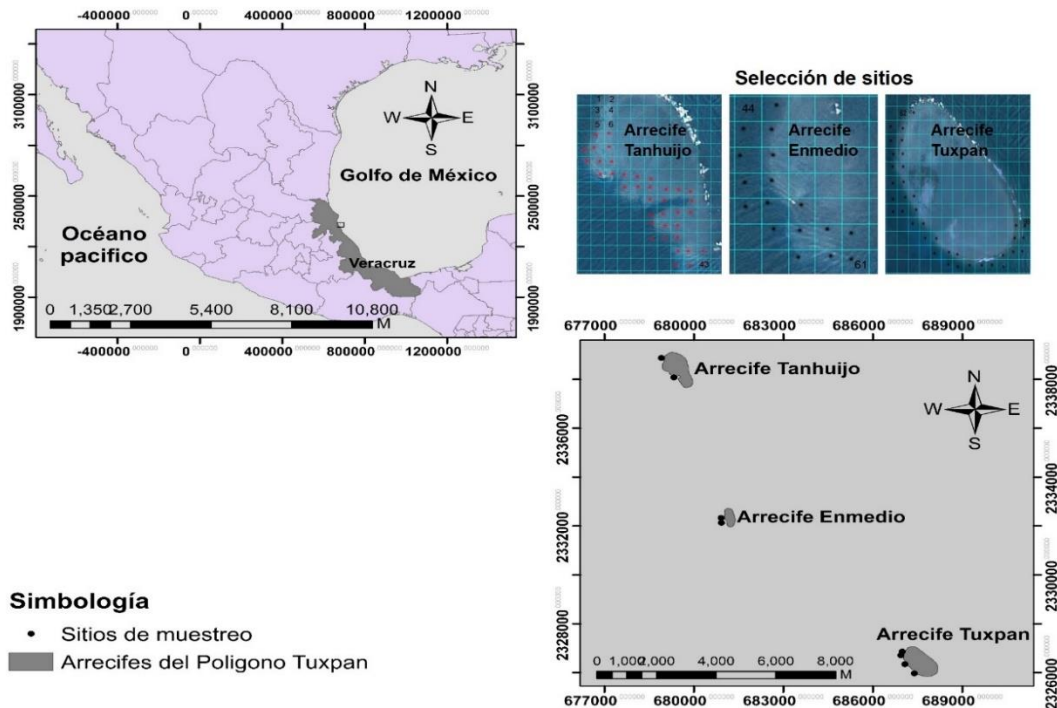


Figura 1. Mapa de área de estudio “arrecife Tanhuido, Enmedio y Tuxpan”, con los puntos de muestreo

El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano y una marcada temporada seca en invierno. Con una precipitación media anual de 24.4 °C; la estacionalidad climática-meteorológica está determinada por los procesos que se presentan en el

golfo de México, se caracterizan por un periodo de secas de febrero a mayo; uno de lluvias de junio a octubre con presencia de depresiones tropicales, y uno de frentes fríos anticiclónico (norte) de octubre a febrero (Monreal-Gómez *et al.*, 2004).

La vegetación dentro del área se distribuye en praderas de pastos marinos compuestos por *Thalassia testudinum* así como algas que se encuentran en los diferentes ambientes de los arrecifes. Su fauna está constituida por los corales pétreos. Se conoce la presencia de 28 especies de corales escleractineos y dos hidrocorales, destacan dos especies protegidas: coral cuerno de ciervo (*Acropora cervicornis*) y el cuerno de alce (*Acropora palmata*) (Ortiz-Lozano *et al.*, 2013).

Los arrecifes Tuxpan (0.16 mg/m^3), Tanhuijo (0.15 mg/m^3) y Enmedio (0.15 mg/m^3) son clasificados como los menos productivos en CI-a del golfo de México occidental. La temperatura superficial del mar para los arrecifes Tanhuijo, Enmedio y Tuxpan es de 24.17 , 24.32 , y 24.23° C respectivamente, de igual manera existen los periodos de surgencias en estos arrecifes de marzo a octubre, conforme al esfuerzo del viento zonal y meridional (Salas-Pérez *et al.*, 2015).

Materiales y métodos

Muestreo en campo

Para determinar el tipo de monitoreo, se tomaron como referencia los muestreos realizados en 2012 en el polígono Tuxpan del Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan por el Dr. Adán Guillermo Jordán Garza, realizando la localización de los sitios de muestreo utilizando un sistema estratificado al azar (Smith *et al.*, 2011); con cuadrantes de 100 m x 100 m que se colocaron sobre el área de fondo duro en la zona de sotavento a partir de imágenes de satélite en el programa Google Earth Pro versión 7.1.7.2600 (Google Inc., 2016). Del total de cuadrantes de 100 m x 100 m se seleccionaron un total de ocho para el polígono sur del SALT usando números aleatorios. Los cuadrantes seleccionados se utilizaron para establecer un sitio de muestreo. Usando las coordenadas del centro del cuadrante se navegó a la posición utilizando un GPS Garmin. Una vez sobre la posición, dos buzos descendieron y para mantener la homogeneidad de los sitios (es decir trabajar un hábitat similar) se tomaron en cuenta tres criterios en cada sitio: 1) profundidad promedio de >5 y < 10 m, 2) sustrato de fondo duro, y 3) corales presentes; si alguno de estos criterios no se cumplía dentro del cuadrante de 100 x 100 m este se rechazaba y se seleccionaba otro cuadrante al azar, una vez corroborado estos criterios se escogieron dentro del cuadrante de 100 m x 100m el lugar de inicio del primer transecto cinturón (transecto) de 10 m x 0.5 m. Este se colocó de manera perpendicular a la estructura arrecifal y a partir de él se colocaron nueve transectos más, colocados de manera sistemática separados por 1 m y cada diez transecto de

10 m x 0.5 m formo un sitio que cubrió un área aproximada de 10 m x 10 m, cada transecto fue filmado (Fig. 2).

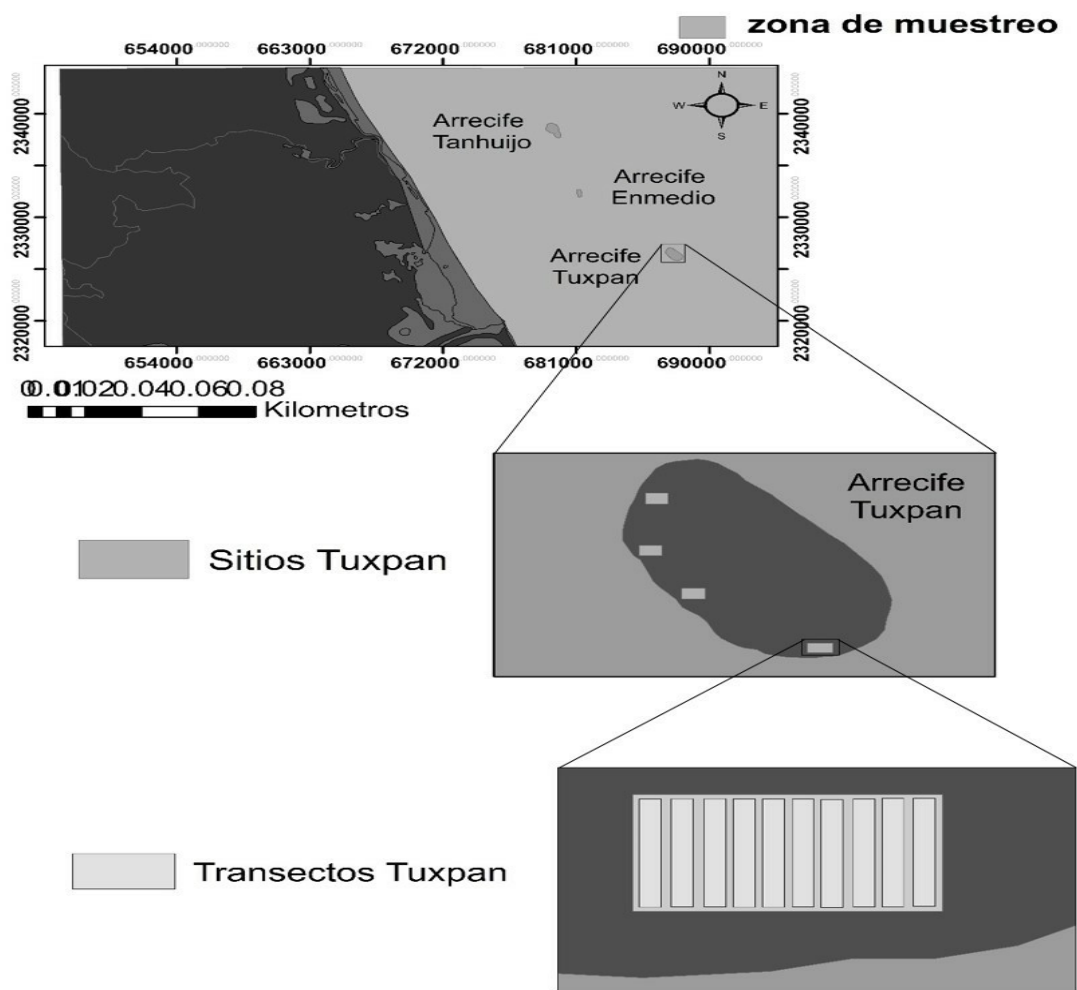


Figura 2. Muestreo estratificado con sus sitios de muestreo y transectos.

Para filmar los transectos se utilizó una cámara Canon Vixia HF M3001 protegida con una carcasa sumergible Canon WP-V2. Se analizaron un total de 80 video-transectos en cuatro sitios de muestreo en el arrecife Tuxpan, dos en el arrecife Enmedio y dos en el Arrecife Tanhujio (Randall *et al.*, 2014), posteriormente a la filmación, el video se convirtió a formato AVI para evitar que los cuadros se entrelacen y se extrajeron de 50 a 60 imágenes por Transectos para analizarlas con el programa CPCe versión 4.1. En el programa cada imagen se analizó con 30 puntos al azar, con los cuales se determinó la cobertura arrecifal con las categorías de gorgonias (GORG), esponjas (SPON), macro alga (MACA), tapetes de algas filamentosas cubriendo en su totalidad al coral (TURF), tapetes de algas filamentosas iniciando a cubrir al coral (TAS), pavimento calcáreo (P), arena (S), y los corales hasta el nivel de especie (*Orbicella annularis* (Oann), *Colpophyllia natans* (Cnat)) para saber la cobertura coralina y observar que especies predominan y si ha habido algún descenso en el número de especies en el arrecife (Fig. 3). Ya analizadas todas las imágenes de los sitios con sus respectivos transectos, se exportaron los datos de la cobertura arrecifal a una base de datos de Excel. Dicha base de datos contiene la cobertura arrecifal por transecto de las imágenes analizadas.

Para estimar el cambio en la cobertura arrecifal a través del tiempo, se analizaron videos-transectos de muestreos realizados en el 2014 y 2017 del arrecife Tuxpan en la misma zona arrecifal del año 2012, y se analizaron con la misma metodología mencionada con el programa CPCe versión 4.1.

$$d = \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{\sigma}$$

Con μ_1 = la cobertura media del grupo 1 y μ_2 = la cobertura media del grupo dos, la diferencia entre μ_1 y μ_2 representa la precisión o mínimo cambio detectable en la medida de cobertura; σ representa la varianza de la cobertura. Para estimar el efecto de distintas tasas de cambio en la cobertura (es decir el mínimo cambio detectable) se hizo variar el valor de d cambiando el valor de μ_2 .

Tasa de pérdida de cobertura esperada.

Se realizó una búsqueda bibliográfica de estudios que han medido el cambio en cobertura coralina a través del tiempo en el Atlántico. Se encontraron cinco estudios, y se estimó el promedio y el intervalo de confianza del 95% usando una técnica de remuestreo (bootstrapping) (Zar 2010).

Se realizó una prueba de poder para comparar si el esfuerzo de muestreo que se realizó en este estudio tenía la precisión necesaria (Zar, 2010) para poder detectar un cambio en la cobertura coralina similar a la tasa anual esperada, esto con el fin de poder observar si la cobertura del sistema arrecifal está disminuyendo, aumentando o se mantiene estable.

Variación de la cobertura de coral a distintas escalas espaciales

Utilizando datos de cobertura del 2012 se analizó la variación espacial dentro y entre los arrecifes muestreados utilizando un análisis de varianza anidado (ANOVA

anidada: Transectos dentro de sitios y estos dentro de arrecifes) siguiendo a Murdoch y Aronson (1999).

Además, se utilizó una aproximación multivariada considerando todas las categorías del bentos para conocer si la comunidad arrecifal presentó diferencias significativas entre arrecifes. Se utilizó una matriz de muestras por categorías de cobertura arrecifal que se transformó en una matriz de similitudes usando el índice de Bray-Curtis y se visualizó usando un análisis de escalamiento multidimensional (nMDS) (James y McCulloch, 1990; Clarke, 1993). Un análisis de similitudes (ANOSIM) sirvió para detectar diferencias entre arrecifes (Clarke y Warwick, 1994; Anderson, 2001) usando como factor los arrecifes (con 3 niveles: Tuxpan, Enmedio y Tanhuijo). Para estimar que componentes del fondo arrecifal determinan las disimilitudes entre arrecifes se usó un análisis de similitudes porcentuales (SIMPER) (Clarke y Warwick, 1994; Wagner *et al*, 2010).

Los datos de cobertura coralina se utilizaron en forma de proporciones, se probó la normalidad de los datos usando una prueba de Shapiro-Wilks ($p= 0.84$), además se analizaron los residuales de la ANOVA para asegurar que las varianzas fuesen homogéneas (por medio de una graficas de cajas).

Cambios de cobertura en el tiempo

Para estimar el cambio en el tiempo se analizaron los datos de la cobertura arrecifal de los años 2012, 2014 y 2017 del arrecife Tuxpan.

Para analizar el cambio en cobertura de coral se usó una ANOVA, se probó la normalidad de los datos usando una prueba de Shapiro-Wilks ($p= 0.8$), además se

analizaron los residuales de la ANOVA para ver que las varianzas eran homogéneas (por medio de una graficas de cajas).

Para estimar la tasa de cambio en cobertura de coral en Tuxpan se tomó la diferencia en la cobertura promedio de 2012 y la de 2017 y se estimó el intervalo de confianza del 95%.

Además, una matriz de muestras por año con las categorías de cobertura arrecifal se transformó a una matriz de similitud usando el índice de Bray-Curtis y se visualizó con un nMDS, para ver la diferencia de composición de la cobertura arrecifal, y para ver si hubo diferencias significativas se realizó una prueba de hipótesis ANOSIM con los años como factor. Finalmente, un análisis SIMPER se utilizó para ver las variables que determinaron las diferencias.

Resultados

Cobertura de coral y ensamblajes coralinos en el polígono Tuxpan

El promedio de la cobertura coralina encontrada del 2012 para todo el polígono Tuxpan fue de 47.04 % (± 2.8 % I.C. 95%) e individualmente por arrecife es de 50.22 % (± 3.5 % I.C 95 %) en el arrecife Tuxpan, Enmedio 47.67 % (± 5.3 % I.C 95 %) y Tanhuijo 40.03 % (± 7.7 % I.C 95%). Se reportaron 17 especies de corales pétreos (Anexo A) de las cuales siete se observaron con mayor frecuencia en los tres arrecifes muestreados en el 2012 (*Colpophyllia natans* (CNAT), *Montastraea cavernosa* (MCAV), *Orbicella annularis* (OANN), *O. faveolata* (OFAV), *O. franksi* (OFRA), *Pseudodiploria clivosa* (PCLI) y *P. strigosa* (PSTR)). Los datos de cobertura arrecifal, mostraron que la cobertura coralina y el pavimento calcáreo en los tres arrecifes son los de mayor porcentaje (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentaje relativo de la cobertura coralina por grupos funcionales de la pendiente de sotavento de los arrecifes de Tuxpan, Enmedio y Tanhuijo con sus respectivos intervalos de confianza del 95%.

	Arrecife Tuxpan	Arrecife Enmedio	Arrecife Tanhuijo
Cobertura coralina	50.31 \pm 3.54	47.69 \pm 5.36	40.15 \pm 6.04
Gorgonia	0.99 \pm 0.38	1.83 \pm 1.68	0.84 \pm 0.35
Esponjas	0.71 \pm 0.22	0.59 \pm 0.25	0.93 \pm 0.27
Macro algas	0.36 \pm 0.15	1.3 \pm 0.53	0.71 \pm 0.34
Algas filamentosas en contacto con coral	7.45 \pm 3.62	3.74 \pm 0.74	1.17 \pm 0.48
Tapete de algas filamentosas	3.02 \pm 1.37	0.71 \pm 0.45	1.84 \pm 1.03
Pavimento calcáreo	25.11 \pm 4.42	18.26 \pm 3.03	43.93 \pm 5.74
Escombros	3.89 \pm 2.50	13.05 \pm 6.36	0.28 \pm 0.52
Arena	9.72 \pm 4.10	17.27 \pm 2.66	10.21 \pm 3.86

El análisis de nMDS obtuvo un valor de estrés de 0.12, el cual indica que es una ordenación útil (Torgerson, 1952). Una prueba de hipótesis ANOSIM entre arrecifes mostró una diferencia significativa ($R= 0.207$, $p=0.001$) sin embargo, el valor de R fue bajo. Para comparaciones múltiples se usaron pruebas de ANOSIM con un ajuste de Bonferroni. Se encontraron diferencias significativas entre los arrecifes de Enm-Tux ($R=0.144$, $p=0.024$) y Enm-Tan ($R=0.650$, $p=0.03$), (Fig. 4).

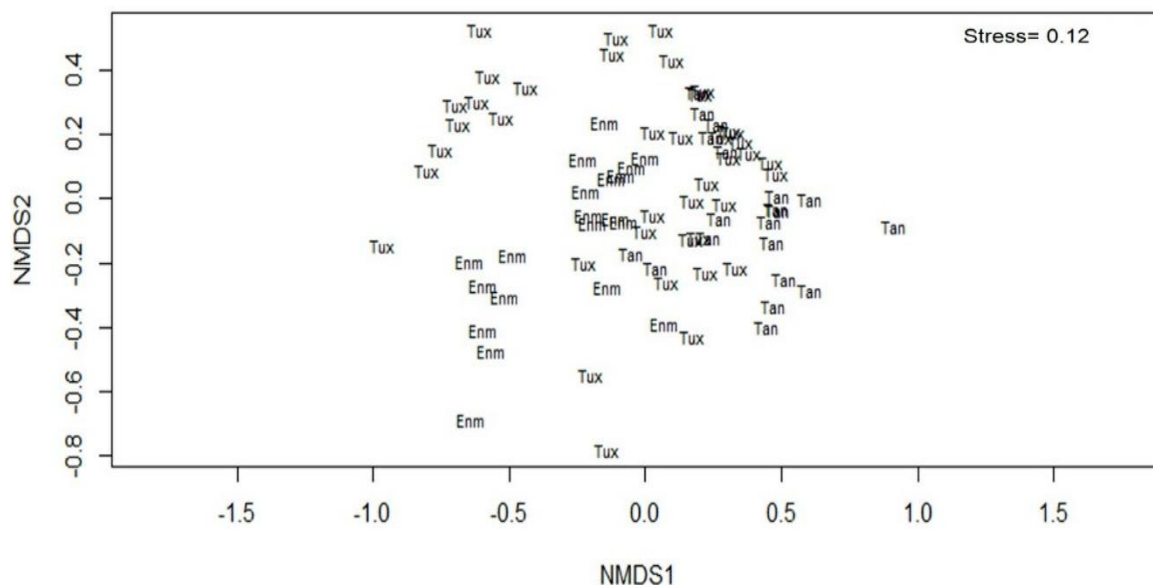


Figura 4. Análisis de escalamiento multidimensional no métrico (nMDS), entre los arrecifes Tux (Tuxpan), Enm (Enmedio) y Tan (Tanhujío); Cada punto representa un transecto en su respectivo arrecife. El valor de estrés fue de 0.12.

Las categorías de pavimento calcáreo, cobertura de coral, escombros, arena y tapetes de algas-sedimento (TAS), responden el 90% de disimilitud para Enm-Tan y para Enm-Tux el 90% de disimilitud la explican las categorías de pavimento, arena, escombros, cobertura de coral TAS (cuadro 2).

Cuadro 2. Disimilitud entre los arrecifes Enmedio-Tuxpan y Enmedio-Tanhuijo, en base al análisis SIMPER.

COMPARACIÓN: ENMEDIO_TANHUIJO			
	Disimilitud promedio	Abundancia relativa de Enmedio	Abundancia relativa de Tanhuijo
Pavimento calcáreo	0.15	0.13	0.43
Cobertura de coral	0.08	0.48	0.4
Escombros	0.06	0.13	0.002
Arena	0.05	0.17	0.1
TAS	0.01	0.03	0.01

COMPARACION: ENMEDIO_TUXPAN			
	Disimilitud promedio	Abundancia relativa de Enmedio	Abundancia relativa de Tuxpan
Pavimento	0.08	0.13	0.22
Arena	0.07	0.17	0.09
Escombros	0.06	0.13	0.03
Cobertura de coral	0.06	0.47	0.5
TAS	0.04	0.03	0.07

Se realizó una ANOVA anidada con los sitios (variable aleatoria) dentro de los arrecifes (factor fijo), la cual reflejó que no hubo diferencias significativas entre los arrecifes Enmedio, Tanhuijo y Tuxpan ($F= 1.146$, $gl= 2$ $p= 0.38$) (Fig. 5).

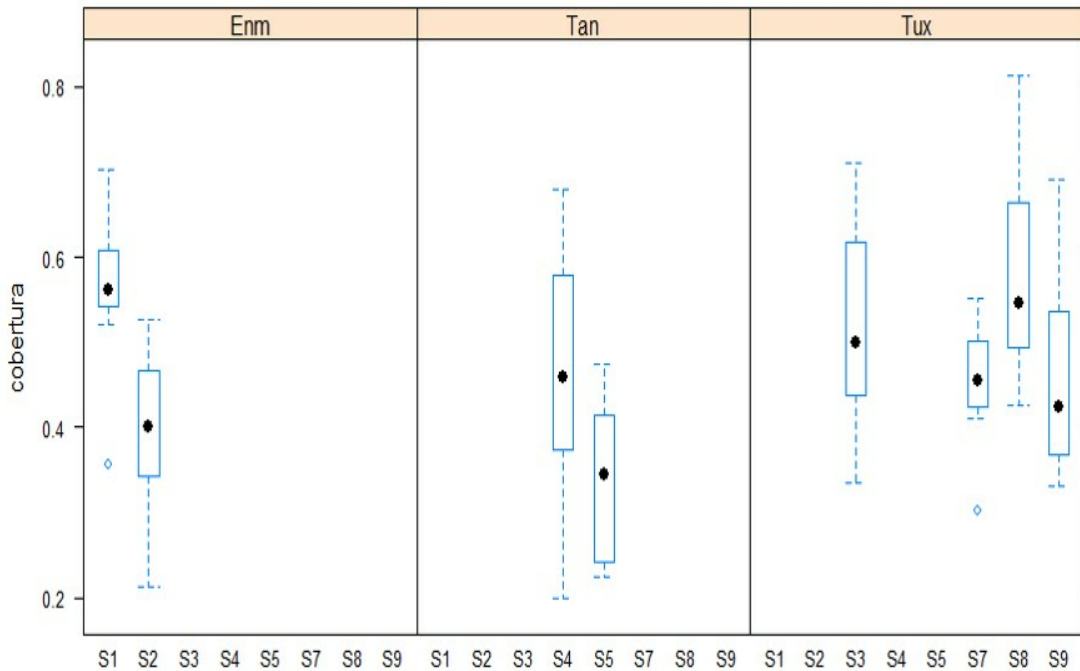


Figura 5. Cobertura coralina de los sitios dentro de los arrecifes de una ANOVA anidada ($F= 1.146$, Grados libertad= 2 $p= 0.3891$).

Tasa media de pérdida de cobertura de coral en el Atlántico.

La tasa media de pérdida de coral es de 3.18 % (95% CI: 2.49, 3.88 %) por año en base a estudios en el Atlántico (Cuadro 3). Es decir que, si la tendencia regional de pérdida de cobertura coralina en el Atlántico se aplica a los arrecifes del SALT, un monitoreo anual debe tener la precisión suficiente para detectar un cambio en cobertura entre 2.49 y 3.88%.

Cuadro 3. Tasa de pérdida descrita por diferentes autores.

Lugar geográfico	Tiempo	Pérdida descrita	Tasa de pérdida anual	Autor (es)
		(%)	(%/año)	
Punta Betín, Caribe Colombiano	1989-2002	29.90%	2.30%	
Morro Grande, Caribe Colombiano	1989-2002	44.96%	3.46%	
E. Granate, Caribe Colombiano	1989-2002	41.95%	3.23%	Martínez y Acosta, 2005
B. Gayraca, Caribe Colombiano	1992-2002	44.79%	4.48%	
Promedio de los 4 arrecifes del Caribe Colombiano	1989-2002	41.82%	3.21%	
Arrecifes del caribe	1970-2000	80%	2.66%	Gardner <i>et al.</i> , 2003
Bahía de todos los Santos, Brazil	2003-2007	19.88%	4%	Cruz <i>et al.</i> , 2015
Sistema Arrecifal de Veracruz	1966-2007	38.46%	0.94%	Horta-Puga <i>et al.</i> , 2015
Arrecife Carysfort, Florida	1981-2000	88.46%	4.66%	Palandro <i>et al.</i> , 2003

Esfuerzo mínimo de muestreo

En la figura 6 se muestra el tamaño de muestra (en número de transectos) en función de la precisión (en proporción) en la medición de la cobertura y el poder de la prueba.

Dado que la tasa de pérdida media anual esperada en cobertura fue de 3.18 % (i.c. 0.318) (en base a la bibliografía), si se desea realizar un muestreo anual que tenga la precisión para poder ver cambios en la cobertura de coral de esa magnitud el número mínimo de transectos sería aproximadamente de 295 para un poder de 0.8. Con esa misma tasa de cambio si el muestreo es a dos años y con el mismo poder se necesitarían solamente 73 transectos de 10 x1 m ya que el análisis muestra que

mientras más pequeña sea la diferencia entre μ_1 y μ_2 mayor será el tamaño de muestra necesario para detectar el cambio (Fig. 6). En este estudio se realizaron un total de 80 transectos por lo que 73 transectos es una meta alcanzable.

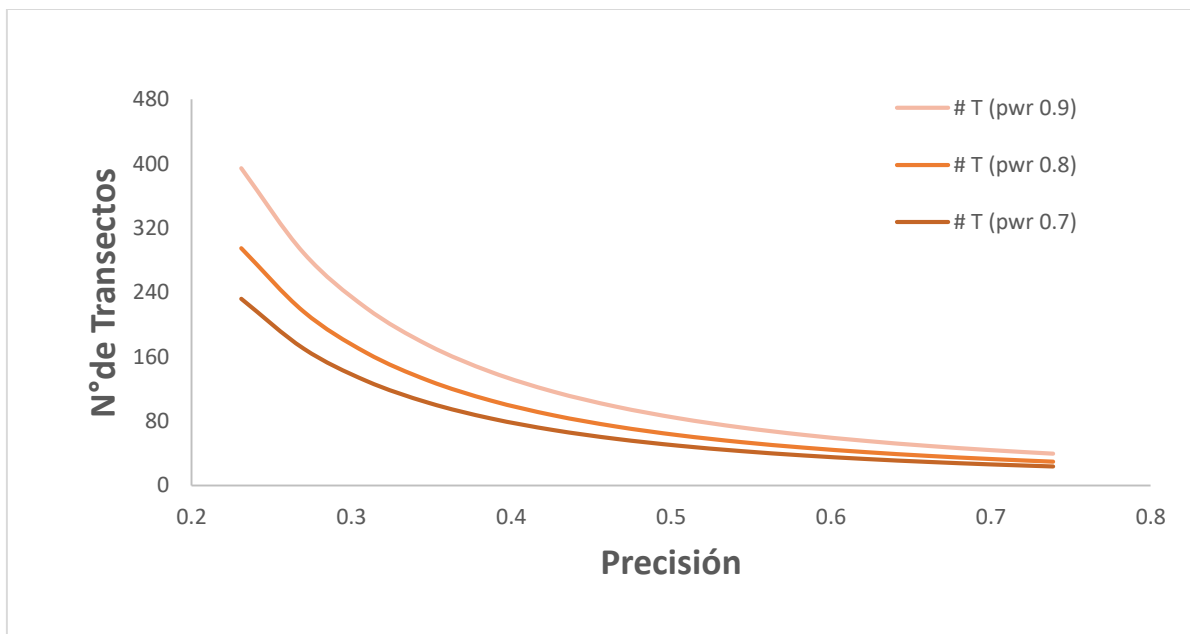


Figura 6. Esfuerzo de muestreo en función de la precisión en la estimación del cambio de cobertura coralina con tres diferentes poderes (0.9, 0.8 y 0.7).

Tasa de cambio de cobertura coralina del arrecife Tuxpan

Usando datos de 2012, 2014 y 2017 tomados por el método de video-transecto en la misma zona del 2012 se muestra que hay diferencias significativas en la cobertura de coral entre años ($gl=2$, $p= 0.00064$) según la prueba ANOVA (Fig. 7). Las comparaciones múltiples de Tukey nos indica que las comparaciones entre los años 2012 - 2014 y 2014 – 2017 presentan diferencias significativas. Basándonos en los datos obtenidos de los tres años el arrecife Tuxpan tiene una tasa de pérdida de cobertura anual de 2.27 % (± 0.2 % I.C. 95 %).

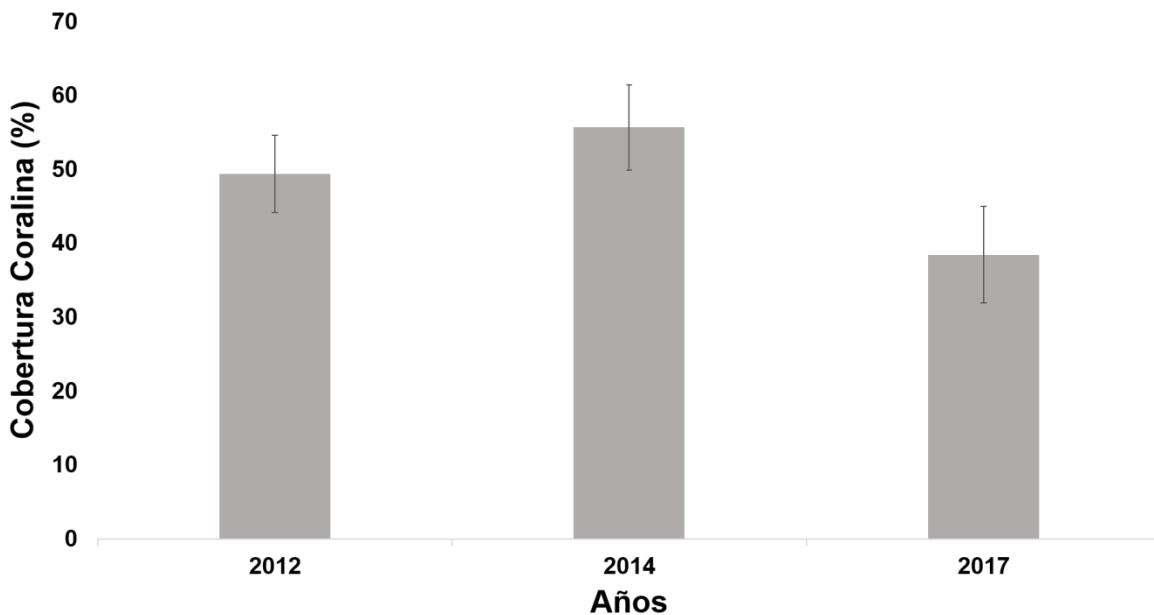


Figura 4. Porcentaje relativo de la cobertura coralina del arrecife Tuxpan con sus intervalos de confianza.

Dadas las diferencias en cobertura de coral entre años se analizaron cambios en la cobertura bentónica considerando todas las categorías del bentos. Un análisis de

nMDS obtuvo una ordenación en dos dimensiones con un valor de estrés de 0.16, el cual indica que es una ordenación útil. En dicha ordenación se observa una similitud entre el año 2014 y 2017 que se alejan del 2012 (Fig.8). Una prueba de hipótesis de ANOSIM corroboró que las diferencias son significativas ($R=0.58$, $p=0.001$). Se encontró una disimilitud entre los tres años, 2012-2014 ($R= 0.62$, $p= 0.003$), 2012-2017 ($R= 0.89$, $p=0.003$) y 2014-2017 ($R= 0.022$, $p=0.003$).

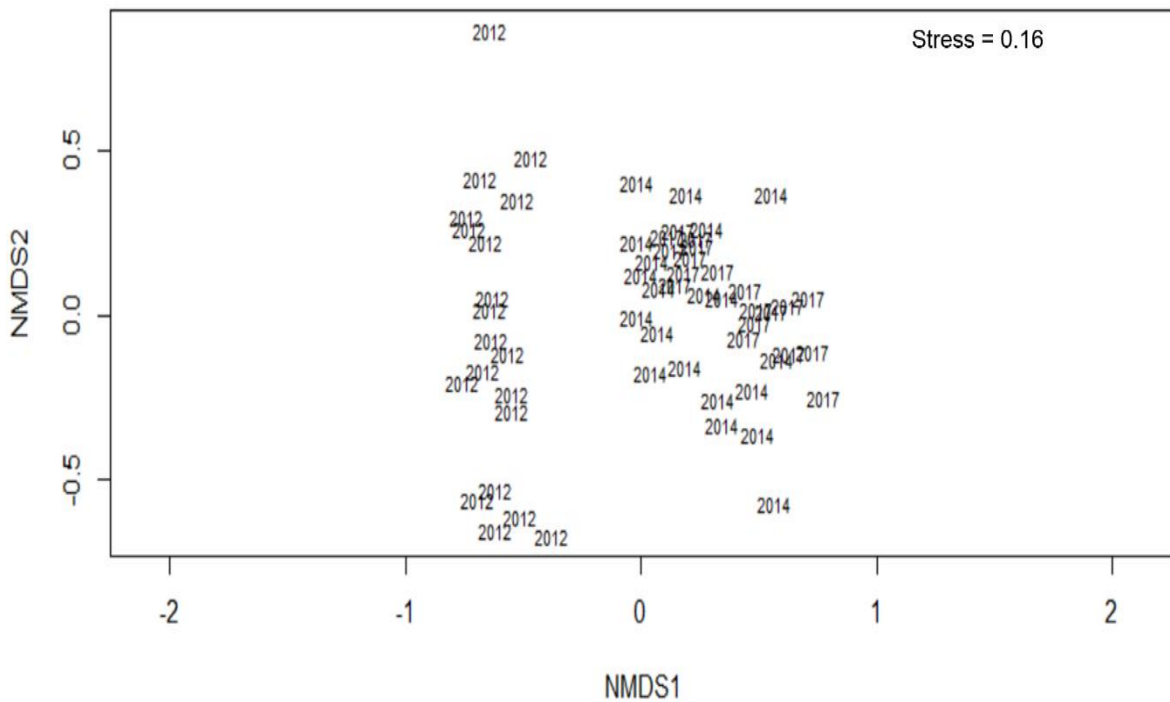


Figura 5. Análisis de Escalonamiento Multidimensional (nMDS), entre muestreos del 2012, 2014 y 2017 del arrecife Tuxpan; Stress=0.16.

Un análisis SIMPER, mostró que las categorías de cobertura coralina, arena, pavimento calcáreo y TURF, contribuyeron con el 90 % de disimilitud para los tres años de muestreo en diferentes proporciones (Cuadro 4)

Cuadro 1. Disimilitud entre los años muestreados del arrecife Tuxpan, en base al análisis SIMPER.

COMPARACIÓN: 2012_2014			
	Disimilitud promedio	Importancia relativa 2012	Importancia relativa 2014
Cobertura coralina	0.31	53	45.32
Pavimento calcáreo	0.58	2.7	16.09
Arena	0.80	11	5.42
TURF	0.93	5.8	4.53

COMPARACION: 2012_2017			
	Disimilitud promedio	Abundancia relativa de 2012	Abundancia relativa de 2017
Arena	0.27	11	20.94
Cobertura coralina	0.53	53	44.94
Pavimento calcáreo	0.77	2.7	18.54
TURF	0.92	5.8	10.65

COMPARACION: 2014_2017			
	Disimilitud promedio	Abundancia relativa de 2014	Abundancia relativa de 2017
Arena	0.27	5.42	20.94
Cobertura coralina	0.52	45.32	44.94
Pavimento calcáreo	0.77	16.09	18.54
TURF	0.93	4.53	10.65

Discusión

Cobertura en 2012

Se encontraron 17 especies de corales pétreos (Anexo A), de estas siete fueron las más abundantes, contribuyendo con un 41 % total de la cobertura coralina. Estas siete especies de corales escleractínios son comunes en los arrecifes de Veracruz en zonas someras (5 a 10 m de profundidad) (Horta-Puga *et al.*, 2015; Barragán, 2012; De la Cruz, 2013; Ortiz-Lozano *et al.*, 2013, Barragán, 2015; Jordán-Garza *et al.*, 2017). Es posible que esta similitud de especies de coral entre los arrecifes del sur y el norte de Veracruz se deba a una buena conectividad dentro del corredor arrecifal como lo proponen Ortiz-Lozano *et al.* (2013). Las especies de coral, *Colpophyllia natans*, *Montastraea cavernosa*, *Orbicella annularis*, *O. faveolata*, *O. franksi*, *Pseudodiploria clivosa* y *P. strigosa*, son constructores primarios de los sistemas arrecifales y son colonias masivas que pueden alcanzar grandes tamaños y contribuyen a la cobertura y formación del arrecife (Glynn y Manzello, 2015). Además, estas especies son “ovuladoras” es decir que expulsan sus gametos al agua en donde se da la fecundación y posterior formación de larva, que tiene un alto potencial de dispersión (Szmant, 1986; Soong, 1991).

Aunque estas especies de coral tienen el potencial de alcanzar grandes tamaños y ocupar un amplio espacio del fondo, la cobertura de coral varía dependiendo de muchos factores como son el hábitat o la zonación, el grado de sedimentación, bioerosión o turbidez, la profundidad, energía del oleaje la proximidad a la costa (Torres y Morelock, 2002; Murray *et al.*, 2006; Arias-González, 2011; Ortiz-Lozano *et al.*, 2013 Glynn y Manzello, 2015; Horta-Puga *et al.*, 2017). La cobertura coralina

en el Caribe ha declinado hasta un 40 % en 30 años y la cobertura coralina media (considerando una gran variedad de hábitats) es, en la actualidad, cercana al 10 % (Gardner *et al.*, 2003). En el golfo de México en el SAV la mayor cobertura reportada es de sotavento (32.7%) aunque varía mucho dependiendo del arrecife y la zona (Horta-Puga *et al.*, 2015). Los valores de la pendiente de sotavento (entre 5-10m) en los arrecifes del polígono sur tienen una cobertura coralina alta en comparación con otras zonas y arrecifes de la región (Horta-Puga *et al.* 2015). El análisis de varianza anidada comparando los tres arrecifes no detectó diferencias significativas en la cobertura de coral entre los sitios dentro de los arrecifes, esto indica una cierta homogeneidad espacial en la pendiente de sotavento (entre 5 y 10 m) entre los tres arrecifes del polígono sur con un promedio de 47.04 % (± 2.8 % I.C. 95%) de cobertura coralina. Esto indica que la cobertura de coral muestra poca variabilidad entre los transectos (decenas de metros), entre los sitios (centenas de metros) y entre los arrecifes del polígono sur (algunos kilómetros). Este nivel de homogeneidad espacial también fue observado por Murdoch y Aronson (1999) en Florida. Jordán-Dahlgren y Rodríguez-Martínez (2003) ya habían hecho notar que, para los arrecifes del golfo de México, en zonas protegidas del oleaje, cuando la profundidad excede unos pocos metros, la composición de especies y cobertura son similares. Sin embargo, la zona de sotavento puede mostrar mayor variabilidad en cobertura coralina particularmente en zonas más someras (< 5m) y hacia los extremos norte y sur de los arrecifes en dónde reciben mayor influencia del oleaje (Chávez *et al.* 2007). Por ejemplo, en los arrecifes del polígono Tuxpan los valores de cobertura en sotavento por Antonio, (2009) y González-González *et al.* (2016) para el arrecife Enmedio son de 31 % y 39.2 % (± 19.7) (método AGRAA con

cuadrantes de 25 x 25, transectos de 50 m de largo con cuadrantes de 1m²) a una profundidad entre 4 a 15 m; el arrecife Tanhuijo con 23.4 % (punto interceptado) por Jacovo-Montiel, (2011) y en el arrecife Tuxpan Calle-Triviño (2014) con un 67.66 % (transectos permanentes de 25 m de largo utilizando foto-transecto) a una profundidad de 9 a 12 m.

La variación en la comparación de las coberturas entre los autores se debe al tipo de metodología que utilizaron y que probablemente muestrearon en hábitats diferentes a nuestros muestreos, como lo mencionan Jokel *et al.* (2015) y Roberts *et al.* (2016) que diferentes tipos de muestreos dan diferentes resultados de cobertura aun evaluando los mismos sitios; sin embargo se observa con estos resultados que en los arrecifes muestreados en un hábitat de entre 5 y 10 m de profundidad con un método estratificado la cobertura de coral es similar entre los tres arrecifes (Murdoch y Aronson 1999).

Observando los resultados de los análisis multivariados, los tapetes de algas filamentosas y arena son los más abundantes en los arrecifes, lo cual, nos indica que la sedimentación también es abundante y favorece el ambiente para las algas filamentosas que potencialmente influyen negativamente en el crecimiento, la reproducción y la eficiencia de alimentación de los ensambles de corales, (McCook, 2001; McCook *et al.*, 2001; Granja Fernández y López Pérez, 2008; Vermeij *et al.*, 2010). Algunos corales son más sensibles que otros por ejemplo el género *Orbicella* es sensibles a tasas altas de sedimentación y los tapetes de algas filamentosas (Torres y Morelock, 2002).

Esfuerzo de muestreo

A nivel mundial el 20 % de los arrecifes coralinos se han perdido en las últimas décadas (Carballo *et al.*, 2010; Carballo *et al.*, 2012) y para el atlántico se calculó una tasa de pérdida anual del 3.18 % de cobertura coralina. Por ello, es necesario que un plan de monitoreo sea capaz de detectar cambios en la cobertura de coral en el SALT de al menos ese valor para poder tomar decisiones de manejo pertinentes (Aronson *et al.*, 1994). Sin embargo, cuanto más pequeño sea el cambio que se quiere detectar más grande va ser el tamaño de la muestra (Zar, 2010). Es por ello que, si quisiéramos detectar un cambio de cobertura de 3.18 % en 1 año, siguiendo un diseño de muestreo similar al presentado en este trabajo, necesitaríamos un tamaño de muestra demasiado grande dado las restricciones logísticas de trabajar bajo el agua (295 transectos) (Segal y Castro, 2001). Una opción viable para reducir el tamaño de muestra es realizar el muestreo cada dos años usando 77 transectos (Nadon y Stirling, 2006). Los transectos se colocarían de manera aleatoria en la zona de sotavento somero (entre 5 y 10 m de profundidad) de los tres arrecifes del polígono sur del SALT cuidando de mantenerlos siempre dentro del mismo hábitat (muestreo estratificado). Sin embargo, hay que señalar que el tipo de monitoreo y por lo tanto el diseño de muestreo dependerán del tipo de pregunta que sea necesario contestar para el manejo (Rogers *et al.*, 1994; Hill y Wilkinson, 2003). Y dado que en este caso se plantea una propuesta para estimar cambios en la cobertura del bentos; principalmente considerando a los corales escleractínios, los dos años que se está proponiendo es tiempo suficiente para realizar los respectivos muestreos, el análisis de los datos y sacar las conclusiones

del estado del sistema arrecifal sin que el cambio en la cobertura sea demasiado grande, por otro lado se debe estar en constante vigilancia para poder detectar cualquier anomalía en los ensambles de coral que puedan indicar otros problemas como los epizootias de enfermedades, el blanqueamiento de coral, la sedimentación que presenten las colonias coralinas entre otras.

Cambios en el arrecife Tuxpan

La cobertura coralina media para el arrecife Tuxpan tuvo una pérdida de cobertura del 2012 al 2017 de 11.39 % en 5 años, esto sugiere una tasa de pérdida anual del 2.27 (0.2 I.C.) %. Dicha tasa de pérdida estimada es menor que la tasa de pérdida esperada que se calculó para el atlántico (3.22 %) pero mayor que la tasa estimada de pérdida de cobertura para el Golfo de México por Horta-Puga (2015) de cambio de cobertura del SAV que es de 0.7 % anual. Existen diferentes causas que podrían contribuir a la degradación de un arrecife, por un lado el calentamiento global que conlleva a diferentes efectos negativos para los arrecifes como, la acidificación de los océanos, los cambios de temperatura en el océano que trae el blanqueamiento de los corales y los hace más propicios a enfermedades, en conjunto lleva a una erosión más rápida de los corales y el continuo aumento en la intensidad de los huracanes, vinculado al calentamiento del océano, podría dificultar la recuperación de los corales (Calderón-Aguilera *et al.*, 2007; Alfaro y Rivera, 2008; Alcolado *et al.*, 2009; Blanchon *et al.*, 2010; Mumby *et al.*, 2014) y por el otro lo local, la sedimentación, deforestación y erosión de suelos, la agricultura, descargas de aguas domésticas sin tratamiento, contaminación industrial, la falta de boyas de

anclaje en los arrecifes, el turismo (Guzmán y Guevara, 1998; Knowlton, 2001; Alfaro y Rivera, 2008; Santander-Botello y Frejomil, 2009); diferencias en los efectos de estos factores entre sistemas podrían determinar las diferentes tasas de pérdida de cobertura (Fabricius, 2005; Burke y Maidens, 2005; Burke *et al.*, 2011). También es posible que la tasas observada sea mayor dado que la zona somera de sotavento (entre 5 y 10 m) posee una alta cobertura coralina, lo que la hace más susceptible a los efectos de factores estresantes (Hughes *et al.*, 2007). Los cambios en cobertura coralina se acompañaron también con cambios en la cobertura de otros organismos bentónicos. En el arrecife Tuxpan se observa que antes de haber una disminución de la cobertura coralina, se manifestó un aumento en las algas filamentosas denominadas como TURF (Cuadro 4). Estas algas Turf son altamente competitivas y pueden dañar a los corales vecinos, disminuyendo la probabilidad de recuperación del arrecife al inhibir el reclutamiento (Roy 2004, Vermeij *et al.*, 2010;). las formas de crecimiento masivas de corales escleractínios son las más afectadas por las algas Turf (Vermeij *et al.*, 2010, Rodríguez-Martínez *et al.* 2011); entonces si estos corales constructores disminuyen, quedarían los corales pequeños y de vida corta que tienen una capacidad de dispersión limitada en la fase larval, aumentando la degradación del hábitat y su fragmentación, lo cual podría conducir al establecimiento de grupos genéticamente aislados de corales endogámicos con poca capacidad para formar arrecifes (Knowlton, 2001, Burman *et al.* 2012).

Si la tendencia de cambio de 2.27 % anual sigue, en 20 años se habrá perdido más del 40 % de la cobertura en el arrecife Tuxpan por lo que las acciones de monitoreo son esenciales para tomar a tiempo decisiones de manejo.

Conclusiones

1. El bentos en la pendiente de sotavento somero (5 a 10 m) está dominado por cobertura coralina y de pavimento calcáreo, el promedio de cobertura coralina fue similar entre los transectos, sitio y los tres arrecifes del polígono Tuxpan.
2. Un método de muestreo estratificado completamente al azar bianual y (sin usar transectos permanentes) colocando 77 transectos en la zona de sotavento somera (5 a 10 m) de los tres arrecifes del polígono sur, tiene la precisión adecuada para detectar el cambio en la cobertura coralina considerando una tasa de pérdida de 3.18% anual (según la literatura).
3. En el arrecife Tuxpan se estimó una tasa de pérdida de cobertura coralina anual de 2.27 % (entre 2.07 y 2.47%; I.C. 95%) y un aumento relativo de las algas Turf, potenciales competidores por espacio de los corales.

Implicaciones de conservación y manejo

Los resultados de la presente investigación que se llevó a cabo en el polígono Tuxpan del Sistema arrecifal Lobos-Tuxpan contribuyen con una propuesta para el cumplimiento del objetivo que tiene la Política Nacional de Mares y Costas de México del 2015. Los arrecifes en todo el mundo están perdiendo cobertura, esto es particularmente grave en los arrecifes del Atlántico cuya tasa observada de pérdida de cobertura coralina es de 3.22% (IC95%). Dado este grave problema es necesario implementar un monitoreo que sea capaz de detectar pequeños cambios en la cobertura de coral para conocer la tendencia a largo plazo. Usando transectos en la zona de sotavento somero entre 5 y 10 metros de profundidad de los tres arrecifes del polígono sur del SALT, demostramos que un muestreo estratificado al azar con 77 transectos de 10*0.5m es suficiente para detectar el cambio en cobertura en muestreos bianuales.

Con esta información será posible comprender las tendencias del cambio en la cobertura coralina en los arrecifes, y planear los mecanismos que favorezcan la recuperación y estabilidad de estos arrecifes.

Para complementar la información que se está generando en este trabajo se recomienda establecer bollas de anclaje en el arrecife, para que las embarcaciones no dañen las colonias de coral, seguir monitoreando los arrecifes y prestar atención a los tapetes de algas filamentosas (Turf), que también son causantes de la muerte de los corales y si la tendencia de cambio reportada en este documento siguiera ocurriendo lo mejor para el arrecife sería cerrar toda actividad dentro del él (pesca, turismo etc.) y dejar que el sistema arrecifal se recupere. Como una opción muy

extrema sería apoyar algún proyecto de siembra de coral y monitorear la efectividad de estas siembras, es recomendable que las siembras se realicen en temporadas de secas cuando no hay tormentas y nortes.

Plan de monitoreo

El plan de monitoreo que se recomienda para que se lleve a cabo en el polígono Tuxpan es el siguiente: seguir los ocho sitios que ya se tienen ubicados (cuadro 5), realizando las observaciones en esos sitios mínimo cada dos años para poder vigilar el cambio en la cobertura, la metodología a seguir es la que se presenta en métodos en este trabajo. Tomar atención a las algas filamentosas (TURF), ya que en este estudio se observó que va en aumento su cobertura, a este monitoreo se debe complementar con el monitoreo de peces, condiciones ambientales como la temperatura, nutrientes, turbidez, salinidad y pH; ya que esta información ayudara a complementar como se encuentra la salud del arrecife, pues si la población de peces fuera en disminución se alteraría el ecosistema, por ejemplo algunos peces se encargan de limpiar al arrecifes de las algas que crecen sobre los corales y al disminuir dichos peces las algas irían en aumento. De igual manera, monitorear las actividades humanas (turismo, pesca, etc.), para que el resultado integral brinde más respuestas a la salud del sistema arrecifal del polígono Tuxpan.

Este plan de monitoreo es aplicable también para el polígono norte, pero hay que tener en cuenta las siguientes características: los arrecifes deben ser forma de plataforma y emergentes. Algo importante es calcular el tamaño de muestra y la variabilidad entre transectos, sitios y arrecifes para asegurar que el plan es

adecuado o si es necesario alguna modificación. Teniendo los transectos mínimos se calculara el número de sitios teniendo en cuenta que encada sitio se aran 10 transectos y los sitios se seleccionaran de manera aleatoria en todo el sistema arrecifal, una vez seleccionado los sitios serán los que se muestrearan siempre siguiendo la metodología que se muestra en métodos de este documento y de igual maneara complementar el monitoreo con un monitoreo de peces, condiciones ambientales como la temperatura, nutrientes, turbidez, salinidad y pH y monitorear las actividades humanas (turismo, pesca, etc.) realizadas en este sistema arrecifal, para que el resultado integral de más respuestas a la salud del sistema arrecifal.

Cuadro 5. coordenadas de los sitios muestreados.

	Sitio	Longitud	Latitud
Arrecife Tuxpan	TQ3	-97.1932	21.02485
	TQ7	-97.2712	21.13627
	TQ8	-97.1948	21.02564
	TQ9	-97.1967	21.02778
arrecife Enmedio	TQ1	-97.254	21.08203
	TQ2	-97.254	21.08203
Arrecife Tanhuijo	TQ4	-97.2709	21.13915
	TQ5	-97.2712	21.13627

Bibliografía

- Alcolado, P.M., Hernández-Muñoz, D., Aragón, H.C., Busutil, L., Valderrama, S.P. y Hidalgo, G. 2009. Efectos de un inusual período de alta frecuencia de huracanes sobre el bentos de arrecifes coralinos. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, **1(1)**: 73-93.
- Alfaro, W. y Rivera, L. 2008. Cambio climático en Mesoamérica: temas para la creación de capacidades y la reducción de la vulnerabilidad. https://www.researchgate.net/profile/Luis_Rivera61/publication/306216571_Cambio_Climatico_en_Mesoamerica_Temas_para_la_Creacion_de_Capacidades_y_la_Reducion_de_la_Vulnerabilidad/links/57b3768b08aeac3177849a1d/Cambio-Climatico-en-Mesoamerica-Temas-para-la-Creacion-de-Capacidades-y-la-Reduccion-de-la-Vulnerabilidad.pdf
- Alvarez-Filip, L., Isabelle, M.C., Jennifer, A.G., Andrew, R.W. y Nicholas K.D. 2011. Region-wide temporal and spatial variation in Caribbean reef architecture: is coral cover the whole story?. *Global Change Biology* **17(7)**: 2470-2477.
- Antonio-Cruz A.R. 2009. Evaluación del estado de condición de la comunidad coralina del arrecife Enmedio, Veracruz. Tesis de licenciatura. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.
- Arias-González, J.E., Núñez-Lara, E., Rodríguez-Zaragoza, F.A. y Legendre, P. 2011. Indicadores del paisaje arrecifal para la conservación de la biodiversidad de los arrecifes de coral del Caribe. *Ciencias marinas*, **37(1)**: 87-96.
- Aronson, R.B., Edmunds, P.J., Precht, W.F., Swanson, D.W. y Levitan, D.R. 1994. Large-scale, long-term monitoring of Caribbean coral reefs: simple, quick,

- inexpensive techniques. Ed. National Museum of Natural History Smithsonian Institution, Washington, D.C., U.S.A. 19 pp.
- Aswani, S., Albert, S., Sabetian, A. y Furusawa, T. 2007. Customary management as precautionary and adaptive principles for protecting coral reefs in Oceania. *Coral Reefs*. **26(4)**: 1009-1021.
- Beltrán-Torres, A. y Carricart-Ganivet, J.P. 1999. Lista revisada y clave para los corales pétreos zooxantelados (Hydrozoa: Milleporina; Anthozoa: Scleractinia) del Atlántico mexicano. *Revista Biología Tropical*, **47(4)**: 813-829.
- Benzie, J.A. 1999. Genetic structure of coral reef organisms: ghosts of dispersal past. *American Zoologist*. **39(1)**: 131-145.
- Beukers, J.S. y Jones, G.P. 1998. Habitat complexity modifies the impact of piscivores on a coral reef fish population. *Oecologia*. **114(1)**: 50-59.
- Blanchon, P.R., Iglesias-Prieto, E., Jordán Dahlgren y Richards S. 2010. Arrecifes de coral y cambio climático: vulnerabilidad de la zona costera del estado de Quintana Roo. p. 229-248. En: A.V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, y J.L. Rojas Galaviz (ed.). *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*. Semarnat-INE, unam-icmyl, Universidad Autónoma de Campeche. 514 Pp.
- Bruno, J.F. y Selig, E.Z. 2007. Regional decline of coral cover in the Indo-Pacific: timing, extent, and subregional comparisons. *PLoS One*. **2 (8)**: 1-8.
- Burman, Scott G., Richard B., Aronson, y Robert van Woesik. 2012. Biotic homogenization of coral assemblages along the Florida reef tract. *Marine Ecology Progress Series* **467 (2012)**: 89-96.

- Burke, L. y Maidens, J. 2005. Arrecifes en peligro en el Caribe. World Resources Institute. Washintong, D. C. 80 pp.
- Burke, L., Reytar, K., Spalding, M. y Perry, A. 2011. Reefs at Risk. Washington, D. C., EE. UU.: World Resources Institute. 130 pp
- Caballero, H., Alcolado, P.M. y Semidey, A. 2011. Condición de los arrecifes de coral frente a costas con asentamientos humanos y aportes terrígenos: El caso del litoral habanero, Cuba. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*. **1 (1)**: 49-72.
- Calderón-Aguilera, L.E., Reyes-Bonilla, H. y Carriquiry, J.D. 2007. El papel de los arrecifes coralinos en el flujo de carbono en el océano: estudios en el Pacífico mexicano. *Carbono en Ecosistemas Acuáticos de México*. SEMARNAT/INE, CICESE, México. 12 pp.
- Calle-Triviño, J. 2014. Implementación de un programa de Monitoreo permanente en el Arrecife Tuxpan, Veracruz, México. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Ver.
- Carballo, J. L., Bautista-Guerrero, E., Nava, H., y Cruz-Barraza, J. A. 2010. Cambio climático y ecosistemas costeros, Bases fundamentales para la conservación de los arrecifes de coral del Pacífico este. Pp. 183-193. En. *La biodiversidad en ecosistemas marinos y costeros del litoral de Iberoamérica y el cambio climático: I. Memorias del Primer Taller de la RED CYTED BIODIVMAR*. La Habana.
- Carballo, J. L., Cruz-Barraza, J. A., Bautista-Guerrero, E., Nava, H. y Chávez, J. A. 2012. Efecto de la bioerosión por esponjas en arrecifes afectados por el cambio climático pp. 40-53. En. *La biodiversidad en ecosistemas marinos y*

- costeros del litoral de Iberoamérica y el cambio climático: II. Hernandez-Zanuy, A.C. y Alcolado, P.M. (Eds). Santa Catarina, Brasil.
- Carpenter K.E., Abrar, M., Aeby, G., Aronson, R.B., Banks, S., Bruckner, A. y Edgar, G.J. 2008. One-third of reef-building corals face elevated extinction risk from climate change and local impacts. *Science*. **321**: 560-663.
- Caso, M., Pisanty, I. y Ezcurra E. 2004. Diagnóstico Ambiental del Golfo de México. Secretaría de Medio Ambiente y recursos Naturales. Harte Research Institute for Gulf of Mexico, Studies. **625**: 125-126.
- Cederstav, A., Lawrence, J. y Quintanilla, V. 2015. La protección de los arrecifes de coral en México: Rescatando la biodiversidad marina y sus beneficios para la humanidad. Asociación Internacional para la Defensa del Ambiente (AIDA). 40pp.
- Champely S. 2017. pwr: Basic Functions for Power Analysis. R package version 1.2-1. <https://CRAN.R-project.org/package=pwr>
- Chávez E.R., Tunnell J.W., y Withers K. 2007. Reef zonation and ecology: Veracruz shelf and Campeche Bank. pp 41-67. En. Coral Reefs of the Southern Gulf of Mexico, W. Tunnel, EA Chávez and K. Withers (eds.). Texas University Press, Huston.
- Chávez, E.A., Hidalgo, E. y Sevilla, M.L. 1970. Datos acerca de las comunidades bentónicas del arrecife Lobos, Veracruz. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*. **30**: 211-281.
- Chávez, E. A., Tunnell, J. W. Jr. y Withers, K. 2010. Zonación y Ecología de los Arrecifes: Plataforma Veracruzana y Banco Campeche. Pp. 40-100. En J. W.

- Tunnell Jr., E. A. Chávez y K. Withers (Eds.). Instituto Politécnico Nacional *Arrecifes Coralinos del Sur del Golfo de México*. México.
- Cinner, J., Marnane, M., McClanahan, T. y Almany, G. 2006. Periodic closures as adaptive coral reef management in the Indo-Pacific. *Ecology and Society*, **11(1)**: 31.
- Cleary, D.F., Ana, R.M.P., Willem, R., Bert, W.H., Jackie, W., Yosephine T. y Nicole, J. de V. 2014. Coral reefs next to a major conurbation: a study of temporal change (1985-2011) in coral cover and composition in the reefs of Jakarta, Indonesia. *Marine Ecology Progress Series*. **501**: 89-98
- Cohen, J. 1988. *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Connell, J.H. 1980. Diversity and the coevolution of competitors, or the ghost of competition past. *Oikos*. **35 (2)**: 131-138.
- Cortés, J. 1994. A reef under siltation stress: a decade of degradation, pp. 240-246. En. R.N. Ginsburg (compiler). *Proc. Colloquium on Global Aspects of Coral Reefs: Health, Hazards and History*, 1993. RSMAS, Univ. Miami, Miami, Florida, EUA.
- Costello, M.J., McCrea, M., Freiwald, A., Lundälv, T., Jonsson, L., Bett, B.J. y Allen, D. 2005. Role of cold-water *Lophelia pertusa* coral reefs as fish habitat. Pp. 771-805. En. the NE Atlantic. In *Cold-water corals and ecosystems*. Springer. Berlin, Heidelberg.

- Cruz, I., Kikuchi, R.K., Longo, L.L. y Creed, J.C. 2015. Evidence of a phase shift to *Epizoanthus gabrieli* Carlgreen, 1951 (Order Zoanthidea) and loss of coral cover on reefs in the Southwest Atlantic. *Marine Ecology*. **36(3)**: 318-325.
- Cruz-Ferrer M.I. 2012. Distribución y Abundancia de *Ircinia strobilina* e *Ircinia fistularis* (Demospongiae: Irciniidae) y su fauna asociada en el arrecife Tuxpan, Veracruz. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Veracruz, México.
- De la Cruz-Francisco, V. 2013. Estructura de las comunidades macrobentónicas y nectónicas asociadas a los sustratos rocosos coralinos del arrecife Lobos, Veracruz, México. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias.
- De'ath, G., Fabricius, K.E., Sweatman, H. y Puotinen, M. 2012. The 27-year decline of coral cover on the Great Barrier Reef and its causes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. **109(44)**: 17995-17999.
- Díaz-Pulido, G., Sánchez, J. A., Sven, Z., Díaz, J. M., and Garzón-Ferreira, J. 2012. Esquemas de distribución espacial en la comunidad bentónica de arrecifes coralinos continentales y oceánicos del Caribe colombiano. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*. **28 (108)**: 337-347.
- DOF. 2009. Decreto por el que se declara área natural protegida, con el carácter de Área de Protección de Flora y Fauna, la región conocida como Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, localizada frente a las costas de los municipios de Tamiahua y Tuxpan, en el Estado de Veracruz. http://diariooficial.segob.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5093566&fecha=05/06/2009&print=true

- Escobar-Vásquez, C. 2015. Estructura de la comunidad coralina del arrecife de Isla Lobos, Veracruz, México. Tesis maestría. Universidad Autónoma de Baja California sur.
- Escobar-Vásquez, C., y Chávez, E. 2012. Coral community structure at Isla Lobos reef, Gulf of Mexico pp. 9-13. En. Proceedings of the 12th International Coral Reef Symposium. Biodiversity and systematic: general session. Cairns, Australia.
- Fabricius, K.E. 2005. Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis. *Marine pollution bulletin*, **50(2)**: 125-146.
- Fabricius, K. E. (2006). Effects of irradiance, flow, and colony pigmentation on the temperature microenvironment around corals: implications for coral bleaching?. *Limnology and Oceanography*, **51(1)**: 30-37.
- Fonseca, A.C., Salas, E. y Cortés, J. 2006. Monitoreo del arrecife coralino Meager Shoal, Parque Nacional Cahuita, Costa Rica (sitio CARICOMP). *Revista de biología tropical*, **54(3)**: 755-763.
- Freiwald, A., Fossa, J.H., Grehan, A., Koslow, T. y Roberts, J.M. 2004. Cold-water coral reef. Out of sight – no longer out of mind. UNEP Coral Reef Unit, World Conservation Monitoring Centre. Reino Unido. 86 pp
- García, D., González, R.M. y Elena, M. 2010. Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán. Mérida, Yucatán, México. Centro de Investigación Científica de Yucatán. Mérida, Yucatán. 496 pp.
- Gardner, T.A., Côté, I.M., Gill, J.A., Grant, A. y Watkinson, A.R. 2003. Long-Term Region-Wide Declines in Caribbean Corals. *Science*. **301 (5635)**: 958–960.

- Glynn, P.W. y Manzello, D.P. 2015. Bioerosion and coral reef growth: a dynamic balance pp. 67-97. En. Coral reefs in the Anthropocene. Birkeland C. (ed) Springer Netherlands. Departamento de Biología de la Universidad de Hawai en Manoa Honolulu EE.
- González Gándara, C., Lozano Vilano, M.D.L., de la Cruz Francisco, V. y Domínguez Barradas, C. 2013. Peces del sistema arrecifal Lobos-Tuxpan, Veracruz, México. Universidad y ciencia. **29(2)**: 191-208.
- González-Gándara, C. 2003. Ictiofauna de los arrecifes coralinos del norte de Veracruz. Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Serie Zoología. **74(2)**:163-177.
- González-Gándara, C., Domínguez-Barradas, C., De la Cruz Francisco, V., Solís-Marín, F.A. y Carricart-Ganivet, J.P. 2015. Esponjas, corales escleractinios, equinodermos y peces de arrecifes coralinos del norte y sur de Veracruz. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto No. JF124. México D.F. 59 pp
- González-González, M., de la Cruz-Francisco, V., Morales-Quijano, I. y Orduña-Medrano, R.E. 2016. Diversidad y cobertura de la comunidad bentónica del arrecife Enmedio, Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, México. Revista Ciencias Marinas y Costeras. **8(2)**: 47-65.
- Google Inc. 2016. Google Earth Pro. <https://google-earth-pro.softonic.com/>
- Granja Fernández, M.R. y López Pérez, R.A. 2008. Sedimentación en comunidades arrecifales de Bahías de Huatulco, Oaxaca, México. Revista de Biología Tropical. **56(3)**: 1179-1187.

- Guzmán, H.M. y Guevara, C.A. 1998. Arrecifes coralinos de Bocas del Toro, Panamá: distribución, estructura y estado de conservación de los arrecifes continentales de la Laguna de Chiriquí y la Bahía Almirante. *Revista de Biología Tropical*. **46(3)**: 601-623.
- Hill, J., y Wilkinson, C.L.I.V.E. 2004. *Methods for ecological monitoring of coral reefs*. Australian Institute of Marine Science. Townsville. 117 pp.
- Horta-Puga, G. y J.P. Carricart-Ganivet. 1993. Corales pétreos (Cnidaria: Milleporina, Stylasterina y Scleractinia de México. Pp. 66-80. En: S.I. Salazar-Vallejo y N.E. González (eds.). *Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO y CIQRO, México.
- Horta-Puga, G., J.L. Tello-Musi, A. Beltrán-Torres, J.P. Carricart-Ganivet, J.D., Carriquiry, J. y Villaescusa-Celaya, 2015. Veracruz Reef System: a hermatypic coral community thriving in a sedimentary terrigenous environment. pp. 181-208. En: *Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México*. Universidad Autónoma de Campeche.
- Horta-Puga, G., Vargas-Hernández, J.M., y Carricart-Ganivet, J.P. 2007. *Corales de los arrecifes. Arrecifes coralinos del sur del Golfo de México*. Texas A&M University Press, Huston. 101 pp.
- Hughes, T.P. 1989. Community structure and diversity of coral reefs: the role of history. *Ecology*. **70(1)**: 275-279.
- Hughes T.P., Rodrigues M.J., Bellwood D.R., Ceccarelli D., Hoegh-Guldberg O., McCook L., Moltchanivskyj N., Pratchett M.S., Steneck R.S. y Willis B. 2007.

Phase shifts, herbivory, and the resilience of coral reefs to climate change. *Current Biology*. 17(4):360-5.

Jacovo-Montiel, Y.A. 2011. Corales pétreos en el Arrecife Tanhuijo, Tuxpan Veracruz, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Tuxpan, Ver.

Jokiel, P.L., Rodgers, K.S., Brown, E.K., Kenyon, J.C., Aeby, G., Smith, W.R. y Farrell, F. 2015. Comparison of methods used to estimate coral cover in the Hawaiian Islands. *PeerJ*. **3**: 954.

Jordán-Dahlgren, E. 1993. El ecosistema arrecifal coralino del Atlántico Mexicano. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural*. **44**: 157-175.

Jordán-Dahlgren, E. y Rodríguez-Martínez, R.E. 2003. The Atlantic Coral Reefs of Mexico. pp. 131-158. En J. Cortés (Ed.), *Latin American Coral Reefs*. Elsevier Science. Amsterdam.

Kleypas, J.A., Buddemeier, R.W. y Gattuso, J.P. 2001. The future of coral reefs in an age of global change. *International Journal of Earth Sciences*. **90(2)**: 426-437.

Knowlton, N. 2001. The future of coral reefs. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. **98(10)**: 5419-5425.

Lorente, I., Gamo, D., Gómez, J.L., Santos, R., Flores, L., Camacho, A. y Navarro, J. 2004. Los efectos biológicos del cambio climático. *Revista Ecosistemas*. **13(1)**: 103-110.

Magdaong, E.T., Fujii, M., Yamano, H., Licuanan, W.Y., Maypa, A., Campos, W.L. y Martinez, R. 2014. Long-term change in coral cover and the effectiveness of

- marine protected areas in the Philippines: a meta-analysis. *Hydrobiologia*. **733(1)**: 5-17.
- Martínez, S. y Acosta, A. 2005. Cambio temporal en la estructura de la comunidad coralina del área de Santa Marta-Parque Nacional Natural Tayrona (Caribe colombiano). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*. **34**: 161-191.
- Maruri-Cruz, M. 2012. Evaluación de la comunidad de los corales pétreos del arrecife no emergente Oro Verde, Tuxpan, Veracruz. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias.
- McCook, L. 2001. Competition between corals and algal turfs along a gradient of terrestrial influence in the nearshore central Great Barrier Reef. *Coral Reefs*, **19(4)**: 419-425.
- McCook, L., Jompa, J. y Diaz-Pulido, G. 2001. Competition between corals and algae on coral reefs: a review of evidence and mechanisms. *Coral reefs*, **19(4)**: 400-417.
- Moberg, F. y Folke, C. 1999. Bienes y Servicios Ecológicos de los Ecosistemas de Arrecifes de Coral, *Economía Ecológica*. **29 (2)**: 215-216.
- Monreal-Gómez, M.A., Salas-de-León, D.A. y Gracia-Gasca., A. 2004. Golfo de México, Circulación y Productividad. *Ciencias*. **76**: 24-33.
- Mora C .2008. A clear human footprint in the coral reefs of the Caribbean. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. **275 (1636)**: 767–773.
- Mumby, P.J. y Anthony, K.R., 2015. Resilience metrics to inform ecosystem management under global change with application to coral reefs. *Methods in Ecology and Evolution*. **6(9)**:1088-1096.

- Mumby, P.J., Jason, F., Liana C., Stephen, J.B., Yves-Marie, B., Clare F., Johanna, F., David, G., Griffith-Mumby, R., Hazel, A.O., Angelie, M.P., Selina, M.S., Rachel, A.T., Philip, T., Pieter, J.H. van, B., Francesca, B., Hannah, J.B., Cabañillas-Terán, N., Steven, W.J.C., Carricart-Ganivet, P.J., John, C., Charlie, D., Fleur. C. van D., Susana, E., Joostden, H., Iglesias-Prieto R., Emma V.K., Robin M., Benjamin M., Steven P.N., Maggy M.N., Jorge C.N., Leonard N., Ronald O., Claire B.P., Dirk P., Nicholas V.C.P., Cristina S., Stijn S., Jamie R.S., Henri V., Mark J.A.V., Petra M.V., Emma W. y Stacey M.W. 2014. Cambio climático y efecto en los arrecifes coralinos del caribe. pp. 52-63. En : Hacia la resiliencia del arrecife y medios de vida sustentables : Un manual para los administradores de arrecifes de coral del Caribe. University of Exeter, Exeter.
- Murdoch, T. J., y Aronson, R. B. 1999. Scale-dependent spatial variability of coral assemblages along the Florida Reef Tract. *Coral Reefs*. **18(4)**: 341-351.
- Murray, R.J., Wheeler, A.J. y Freiwald, A. 2006. Reefs of the Deep: The Biology and Geology of Cold-Water Coral Ecosystems. *Science*. **312 (543)**: 543-547.
- Nadon, M.O. y Stirling, G., 2006. Field and simulation analyses of visual methods for sampling coral cover. *Coral Reefs*. **25(2)**:177-185.
- Ortiz-Lozano, L.A.L., Gutiérrez-Velázquez, A. Granados-Barba, y C. González Gándara. 2015. El Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México: retos y oportunidades para el manejo del Sistema Arrecifal Veracruzano. pp. 303-312. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal y C. González-Gándara (eds.). Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche.

- Ortiz-Lozano, L., Pérez-España, H., Granados-Barba, A., González-Gándara, C., Gutiérrez-Velázquez, A. y Martos, J. 2013. The Reef Corridor of the Southwest Gulf of Mexico: Challenges for its management and conservation. *Ocean. Coast. Manage.* **86**: 22-32.
- Palandro, D., Andréfouët, S., Dustan, P. y Muller-Karger F.E. 2003. Change detection in coral reef communities using Ikonos satellite sensor imagery and historic aerial photographs. *International Journal of Remote Sensing.* **24 (4)**: 873-878.
- Pandolfi, J. M., Bradbury, R. H., Sala, E., Hughes, T. P., Bjorndal, K. A., Cooke, R. G., y Warner, R. R. 2003. Global trajectories of the long-term decline of Coral Reef ecosystems. *Science.* **301 (5635)**: 955–958.
- Perry, C.T. Murphy, G.N., Kench, P.S., Smithers, S.G., Edinger, E.N., Steneck, R.S. y Mumby, P.J. 2013. Caribbean-wide decline in carbonate production threatens coral reef growth. *Nature Communications.* **4 (1402)**: 1-7
- Plaisance, L., Caley, M.J., Brainard, R.E. y Knowlton, N. 2011. The diversity of coral reefs: What are we missing? *Plos One.* **6(10)**: 25-26.
- Quintana, J. 1991. Resultados del programa de investigaciones en arrecifes veracruzanos del Laboratorio de Sistemas Bentónicos Litorales. *Hidrobiológica*, **1(1)**: 73-86.
- Roberts, T.E., Bridge, T.C., Caley, M.J. y Baird, A.H., 2016. The point count transect method for estimates of biodiversity on coral reefs: improving the sampling of rare species. *PloS one.* **11(3)**: 1-10.
- Rodríguez-Martínez, R.E., Jordan-Garza, A.G., Maldonado, M.A. y Blanchon, P. 2011. Controls on coral-ground development along the Northern Mesoamerican Reef Tract. *PloS one.* **6(12)**: 1-8.

- Rogers, C.S., Garrison, G., Grober, R., Hillis, Z.M. y Franke, M.A., 1994. Coral Reef Monitoring Manual for the Caribbean and Western Atlantic. Virgin Islands National Park. 87 pp.
- Roy, R.E.A., 2004. Turf algal/sediment (TAS) mats: a chronic stressor on scleractinian corals in Akumal, México. Tesis doctoral. Universidad de Texas.
- Salas-Pérez, J.J., Ocaña-Valencia A.N. y González-Gándara C. 2015. Temperatura superficial del mar y concentración de Clorofila- a en zonas arrecifales y desembocadura de sus ríos en el golfo de México occidental, pp. 315-332. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal y C. González-Gándara (eds.). Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche.
- Santander-Botello, L.C. y Frejomil, E.P. 2009. Impacto ambiental del turismo de buceo en arrecifes de coral. Cuadernos de turismo. **24 (2009)**: 207-227.
- Schutte, V.G.W., Selig, E.R. y Bruno, J.F. 2010. Regional spatio-temporal trends in Caribbean coral reef benthic communities. Marine Ecology Progress Series. **402**: 115–122.
- Segal, B. and Castro, C.B., 2001. A proposed method for coral cover assessment: a case study in Abrolhos, Brazil. Bulletin of Marine Science. **69(2)**: 487-496.
- SEMARNAT, CONANP, 2014. Programa de Manejo Área de Protección de Flora y Fauna Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan. Printed and bound in Mexico. Tlalpan. 180 pp.
- Soong, K. 1991. Sexual reproductive patterns of shallow-water reef corals in Panama. Bull. Mar. Sci. **49 (3)**: 832-846.

- Sweatman, H., Delean, S. y Syms, C. 2011. Assessing loss of coral cover on Australia's Great Barrier Reef over two decades, with implications for longer-term trends. *Coral Reefs*. **30 (2)**: 521-531.
- Szmant, A.M. 1986. Reproductive ecology of Caribbean reef corals. *Coral Reef*. **5 (1)**: 43-54.
- Torres, J.L. y Morelock, J.A.C.K. 2002. Effect of terrigenous sediment influx on coral cover and linear extension rates of three Caribbean massive coral species. *Caribbean Journal of Science*. **38(3/4)**: 222-229.
- Torres-Freyermuth, A., Mariño-Tapia, I., Coronado, C., Salles, P., Medellín, G., Pedrozo-Acuña, A. y Iglesias-Prieto, R. 2012. Wave-induced extreme water levels in the Puerto Morelos fringing reef lagoon. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. **12 (12)**: 3765-3773.
- Vega-Sequeda, J., Rodríguez-Ramírez, A., Reyes-Nivia, M. C., y 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.
- Vermeij, M.J., Van Moorselaar, I., Engelhard, S., Hörnlein, C., Vonk, S.M. y Visser, P.M. 2010. The effects of nutrient enrichment and herbivore abundance on the ability of turf algae to overgrow coral in the Caribbean. *PloS one*. **5(12)**: 1-8.
- Veron, J.E., Hoegh-Guldberg, O., Lenton, T.M., Lough, J.M., Obura, D.O., Pearce-Kelly, P. y Rogers, A.D. 2009. The coral reef crisis: The critical importance of <350 ppm CO₂. *Marine Pollution Bulletin*. **58 (10)**: 1428–1436.
- Wilkinson, C. 2004. Status of Coral Reefs of the World, 2004 Townsville, Australia: Australian Institute of Marine Science. **1 (14)**: 301.

Wilkinson, C. y Souter, D. 2008. Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005, GCRMN and Reef and Rainforest Centre. Townsville, Australia. 150 pp.

Wilkinson, T., Wiken, E., Bezaury-Creel, J., Hourigan, T., Agardy, T., Herrmann, H. y Padilla, M. 2009. Ecorregiones marinas de América del Norte. Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal. 200 pp.

Anexos

Anexo A. Cuadro de las 17 especies de coral en los tres arrecifes del Polígono Tuxpan, con su respectiva cobertura coralina.

Especies de coral	Tuxpan	En medio	Tanhuijo
<i>Acropora cervicornis</i>	0.04550971	0.00389105	-
<i>Acropora palmata</i>	-	0.46756439	-
<i>Agaricia agaricites</i>	0.03956707	0.04168228	-
<i>Colpophyllia natans</i>	13.6498738	26.47219	9.26915576
<i>Millipora alcicornis</i>	0.55565454	0.37049199	0.17632366
<i>Montastraea cavernosa</i>	4.72927153	1.24470921	1.59675862
<i>Mycetophyllia lamarckiana</i>	0.00405835	0.02775137	-
<i>Orbicella annularis</i>	20.4802778	13.2294441	25.6978476
<i>Orbicella faveolata</i>	4.51263168	0.51432533	0.87202134
<i>Orbicella franksi</i>	2.51934607	-	0.01221894
<i>Porites astreoides</i>	0.23470535	0.21798264	0.29606651
<i>Porites branneri</i>	0.0091545	0.30402531	-
<i>Pseudodiploria clivosa</i>	0.05703081	1.13067445	-
<i>Pseudodiploria strigosa</i>	2.35599413	2.70285119	1.73503165
<i>Siderastrea radians</i>	0.85918021	0.15219201	0.35421708
<i>Siderastrea siderea</i>	0.12931935	0.36975284	0.01579083
<i>Stephanocoenia michelinii</i>	0.01732343	0.35777187	-