



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



## FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

Variaciones batimétricas de la cobertura algal en el talúd  
de sotavento del arrecife Isla Verde, Sistema Arrecifal  
Veracruzano.

**T E S I S**  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**B I Ó L O G O**  
P R E S E N T A  
**DANIEL MARTÍN AULIZ ORTIZ**



DIRECTOR DE TESIS: DR. GUILLERMO JAVIER HORTA PUGA



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

“Nos sentimos asombrados cuando los viajeros nos hablan de las enormes dimensiones de las pirámides y de otras grandes ruinas, pero hasta las más grandiosas de ellas son insignificantes cuando se les compara con estas montañas de piedra acumuladas por varias especies de diminutos y débiles animales.”

Charles Darwin

## Agradecimientos

A Dios por la vida, porque sin ella los biólogos no tendríamos motivo de estudio. Por sus bendiciones a lo largo de mi vida, porque nunca me abandona y por darme facilidad de entendimiento.

Quiero agradecer muy especialmente a mi papá, mi mamá y mi hermano Jonathan por darme un apoyo incondicional en todos los aspectos de mi vida, por ser el motor que me lleva a hacer las cosas y no rendirme, por su cariño, sus consejos, por estar ahí siempre, por tolerarme y por seguir adelante como una familia a pesar de todas las pruebas difíciles. También quiero agradecer mucho a mi abuela Rosa, mi mamá Rosa, porque me recibió en su casa como a un hijo y siempre tuve su apoyo, sus preocupaciones, sus oraciones, sus bendiciones y su cariño, a ella que es la reina del hogar y el motivo por el cual se une la familia porque es el pilar de la misma. Agradezco de igual manera a mis tíos y primos con los que he convivido desde niño. A todos ellos les agradezco, los quiero mucho y siempre cuentan con mis mejores deseos.

A mi Amigo Ricardo porque con él he vivido muchísimas cosas a lo largo de todos éstos años, tantos viajes en prácticas de campo, prácticas de buceo, la realización de la tesis, el servicio social; por su apoyo en momentos muy difíciles por compartir muchas alegrías y también tristezas, porque siempre está ahí aunque yo no le merezca, por su apoyo intelectual en este trabajo y por la calidad de persona que es. Le deseo mucho éxito en lo que se proponga porque es muy bueno en todo lo que hace.

A mis amigos Ricardo, Adán y Laura, por compartir conmigo esta bellísima carrera y las emociones que en ella se viven, por compartir las bellas prácticas de campo, los trabajos frustrantes, el hambre, cansancio, las tristezas, la felicidad y por aguantarme todos estos años. Les deseo lo mejor en sus vidas personales y profesionales.

A mis amigos y compañeros en la carrera, en especial a mis amigos los “Bittlos” Julio, Millán, “Wapo”, “Galeno”, “Pelón”, “Tito”, Arratia, “Zorro”, Saúl y “Pantera” con los que he pasado momentos muy divertidos, unos buenos partidos de fútbol, muchas derrotas unos cuantos triunfos pero siempre divertidos. A mis amigas “las ñoñas”, Sara, Liz, Mirna, Jessica, también a Aurora, Juliana y Dulce. Gracias a todos ellos.

A mis amigos de “La bodeguita” en especial a Ricardo y Anita, por tantas aventuras subacuáticas, tantos momentos de risas y trabajo, por siempre estar conmigo, por compartir tantas cosas. Un reconocimiento muy especial a Adry por que ha sido como una maestra, sin ella no hubiera podido hacer esta tesis, gracias por tu paciencia, comprensión, consejos pero sobre todo gracias por tu amistad, por que más que mi maestra te considero una buena amiga. También a Yoli por los extenuantes trabajos con los foras y ser la mi primer amiga en el laboratorio. También a la profesora Margarita, a la profesora y amiga Marisol Ávila por sus

consejos y momentos divertidos. También quiero agradecer a Abraham, Junuen, Lulú, Milton, Edith y Alfonso. A todos ellos muchas gracias.

A mi amigo Luis Antonio que te fuiste dejando un gran ejemplo de esfuerzo y coraje, de una lucha incansable por los sueños, además una persona extremadamente inteligente y con una gran calidad, gracias Luis.

A todos mis demás amigos de primaria, secundaria y preparatoria que por motivos de espacio no puedo nombrar aquí pero han marcado mi vida.

Un agradecimiento muy especial al Dr. Guillermo Horta Puga por todas sus enseñanzas y ejemplos, por ser exigente, por decir las cosas como son, por sus regaños, porque así es como se mejora y se aprenden a ser mejor las cosas, porque siempre nos motiva a superarnos, a echarle más ganas y a estudiar más porque aún nos falta mucho, gracias. Gracias al Biol. José Luis Tello y al Biol. Felipe de Jesús Cruz, por sus enseñanzas y consejos tanto en lo académico cómo en lo personal. A los tres les agradezco mucho infundirme el gusto por las ciencias marinas, por los arrecifes de coral y también por enseñarme lo que es el trabajo en campo.

A todos mis profesores de la carrera de biología que me han enseñado tanto, en especial al Dr. Elías Piedra Ibarra y al Dr. Jorge Ciro Pérez que si bien mi contacto con ellos fue muy poco me ayudaron a valorarme más a darme cuenta de lo que puedo ser capaz, enseñarme y contagiarme con su modo de pensar, por ser junto con mi tutor y muy probablemente sin darse cuenta los profesores que más me han marcado en mi vida.

Agradezco también a el Proyecto CONABIO GM005 cuyos recursos permitieron la realización de esta tesis, al personal del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano por toda la ayuda en el trabajo de campo, a la beca del programa de Alta Exigencia Académica que me permitió adquirir materiales y equipos necesarios para mi formación y realización de tesis; a la beca otorgada por la Secretaría de Educación Pública que me ayudó en la manutención en el tiempo de titulación.

A la Facultad de Estudios Superiores Iztacala y la Universidad Nacional Autónoma de México por darle la oportunidad a miles de estudiantes como yo de tener educación de nivel superior de manera casi gratuita, por tener el carácter público que la distingue y permitir la manifestación de ideas y un mosaico pluricultural dentro de las instalaciones, gracias.

Por mi raza hablará el espíritu

Daniel

**Índice**

Introducción.....6

Objetivo.....13

Materiales y Métodos.....14

Resultados.....19

Discusión.....25

Conclusiones.....33

Bibliografía.....34

## Introducción

Los arrecifes de coral son considerados los ecosistemas marinos biológicamente más diversos del planeta, los más complejos y de mayor productividad biológica cubren apenas el 0.2% de los océanos y sin embargo contienen cerca del 25% de las especies de todo el océano (Roberts 2003). Los corales hermatípicos, contienen en su gastrodermis algas simbiotas llamadas zooxantelas que requieren luz para poder llevar a cabo el proceso de fotosíntesis, lo cual limita la distribución de los arrecifes a aguas claras someras hasta una profundidad de 60 m en clima tropical y subtropical, donde la temperatura rara vez es menor de los 20°C (Darwin 1842, Ruppert y Barnes 1996). En los sistemas arrecifales, las comunidades coralinas constituyen una asociación de especies de diferentes grupos que viven en múltiples nichos ecológicos, formando una compleja trama de interacciones físicas y biológicas, cuya composición faunística es afectada por factores ambientales, depredación, competencia y catástrofes naturales (Loya 1976). En una comunidad arrecifal sana la mayor cobertura está dada por corales escleractinios; sin embargo, múltiples factores pueden ocasionar disturbios en la comunidad de tal manera que se lleva a cabo el fenómeno conocido como cambio de fase (Hughes *et al.* 1987, McManus y Polsenberg 2004, Ledlie *et al.* 2007). El término cambio de fase se refiere a una reducción en la cobertura de coral vivo asociada a un aumento y permanencia de la cobertura de algas, esto conlleva a la pérdida de la biodiversidad del sistema, además de sus repercusiones culturales, sociales y económicas (McManus y Polsenberg 2004).

Las algas son las principales competidoras de los corales por el sustrato arrecifal (Benayahu y Loya 1981), Los principales grupos taxonómicos de algas presentes en el arrecife son las Cianofitas, Clorofitas, Feofitas y Rodofitas. Las Cianofitas, cianobacterias o algas verdiazules pueden tener formas unicelulares, coloniales o formar filamentos, son organismos procariontes cuyos pigmentos fotosintéticos se encuentran en los tilacoides que a su vez se encuentran libres en el citoplasma celular, poseen clorofila a y carecen de clorofila b y c, también poseen los pigmentos accesorios azules ficocianina y aloficocianina (que le dan su color característico) y el rojo ficoeritrina. Las Clorofitas o algas verdes pueden ser unicelulares o pluricelulares, varían de un verde pálido a brillante así como amarillo o café verdoso, toda esta gama de colores depende de los pigmentos fotosintéticos clorofila a y b aunque poseen otros pigmentos accesorios como xantofilas, luteína, zeaxantina, vilaxantina y neoxantina, crecen en una gran variedad de formas, algunas poseen estructuras calcáreas que contribuyen a la formación de los arrecifes. Las Feofitas o algas cafés sólo tienen formas pluricelulares, tienen clorofila a,  $c_1$  y  $c_2$ , que sin embargo son enmascaradas por el pigmento fotosintético fucoxantina la cuál deriva en colores que varían del café al

amarillo verdoso. Por su parte las Rodofitas o algas rojas son el grupo más diverso de algas, presentan formas multicelulares, además poseen clorofila a y las clorofilas b y c están ausentes, su coloración va del rosa pálido al rojo oscuro que son derivados principalmente del pigmento accesorio fotosintético ficoeritrina, aunque también presentan ficocianina (Van den Hock *et al.* 1995, AGRRA 2006). Las algas llevan a cabo diferentes estrategias para poder apropiarse del sustrato, desde efectos directos como la asfixia del coral, sombreado, abrasión, efectos alelopáticos hasta efectos menos directos como la modificación del hábitat para impedir el reclutamiento coralino (Mc Cook *et al.* 2001, Box y Mumby 2007). Las algas representan productores primarios de gran importancia dentro del arrecife llegando a convertirse en algunos casos en los mayores productores por unidad de área en el arrecife alcanzando el 70-80% de la producción primaria. Por otra parte, las algas cianofitas son capaces de introducir nitrógeno al sistema asimilándolo del medio lo cual repercute en la productividad de todo el ecosistema (Littler y Littler 1984).

Las distintas algas en el arrecife pueden ser agrupadas en gremios algales, que son una forma de organizar a las algas de acuerdo a sus características morfológicas y requerimientos ecológicas (Littler y Littler 1980) se reconocen tres principales gremios de algas: las macroalgas o algas carnosas que cuentan con un talo bien desarrollado, carnoso y con frecuencia de tallas superiores a 10mm, pueden ser Clorofitas, Rodofitas o Feofitas, géneros que ejemplifican a este gremio son *Dictyota*, *Caulerpa*, *Halimeda* y *Lobophora* (Figura 1); las algas filamentosas fácilmente reconocibles por formar un césped en el sustrato, su altura frecuentemente oscila entre 1-10mm, pueden ser Clorofitas, Feofitas o Cianofitas, comprenden géneros tales como *Bryopsis*, *Calothrix*, *Cladophoropsis* y *Cladophora* (Figura 2); por último las algas calcáreas que presentan un talo encostrante muy calcificado, son incluidas en las Rodofitas del Orden Coranillales con géneros como *Hydrolithon*, *Lithophyllum* y *Porolithon* (Figura 3)(Littler 1980, Littler y Littler 1980, 1984, Lehman 2007). Las algas calcáreas contribuyen de manera muy importante a la formación del arrecife y son fundamentales en el reclutamiento de nuevos individuos a la comunidad coralina, ya que representan un sustrato adecuado para el asentamiento de los reclutas coralinos (Maida *et al.* 1994). En condiciones normales dentro del arrecife, los distintos gremios algales se encuentran en bajas proporciones en comparación con los corales, (Szmant 2002, McManus y Polsenberg 2004), sin embargo, pueden incrementar su abundancia rápidamente como consecuencia de distintos disturbios.

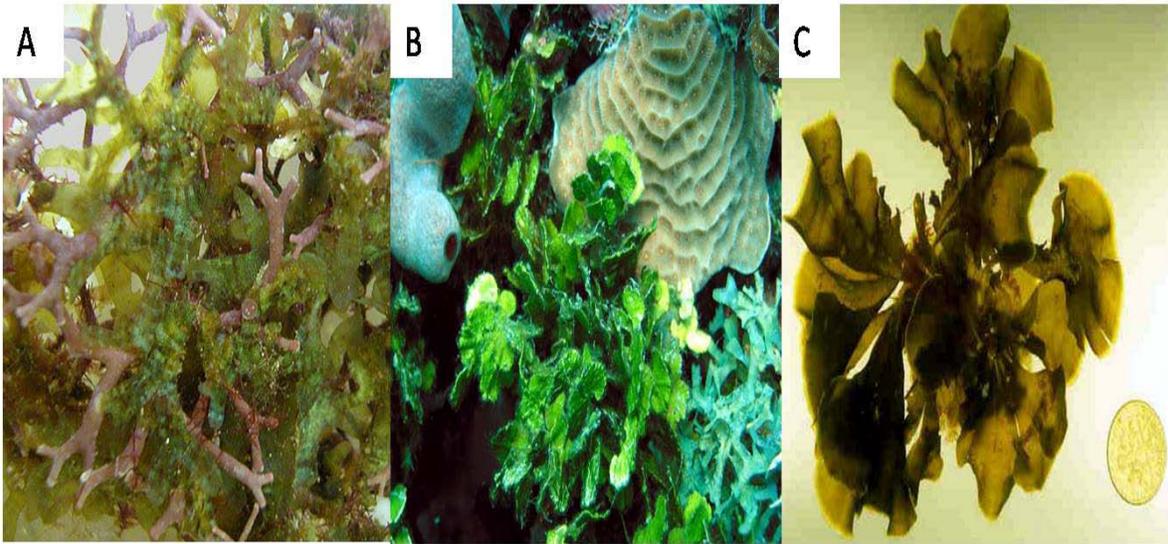


Figura 1: Ejemplos de macroalgas, (A) *Dictyota*, (B) *Halimeda* y (C) *Lobophora*.

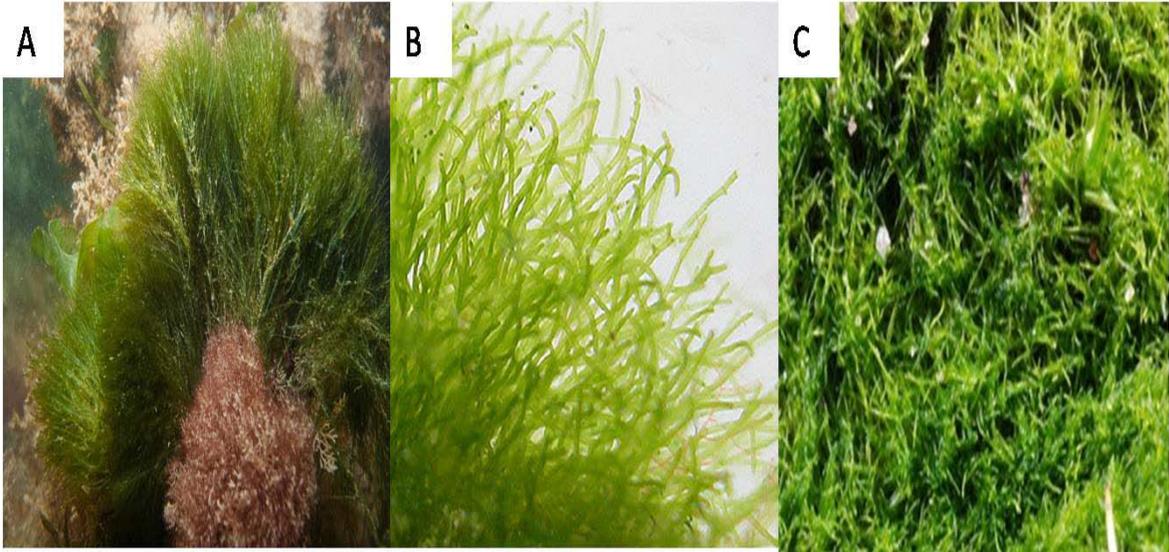


Figura 2: Ejemplos de algas filamentosas, (A) *Bryopsis*, (B) *Cladophoropsis* y (C) *Cladophora*.

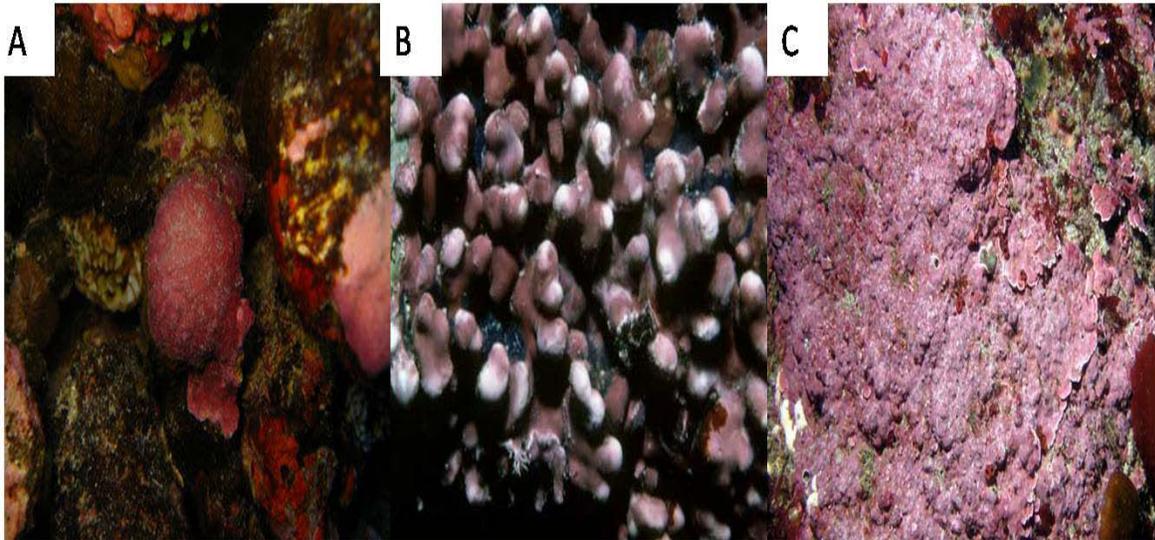


Figura 3: Ejemplos de algas calcáreas, (A) *Hydrolithon*, (B) *Porolithon* y (C) *Lithophyllum*.

El modelo de dominancia relativa propuesto por Littler y Littler (1984) predice las dominancias de los grupos bentónicos fotosintéticos (básicamente algas y corales) bajo diferentes circunstancias (Figura 4), de esta manera los corales son predominantes en condiciones de concentraciones bajas de nutrientes (oligotróficas) y de tasas altas de herbivoría debido a que los corales son competitivamente mejores en estas circunstancias, mientras que en un ambiente oligotrófico y con bajas tasas de herbivoría las algas filamentosas dominarían, ya que este tipo de algas son capaces de tolerar bajas concentraciones de nutrientes y aún así presentar crecimiento rápido bajo tasas de herbivoría moderadas o débiles. Por su parte, la dominancia de macroalgas indicaría un ambiente con alta disponibilidad de nutrientes (eutrofizado) y bajas tasas de herbivoría debido a que este gremio algal responde rápidamente a un aumento en las concentraciones de nutrientes incrementando su tasa de crecimiento, pero son muy susceptibles a la herbivoría. La dominancia de algas calcáreas estaría dada por un ambiente eutrofizado al igual que niveles altos de herbívora, este tipo de algas al presentar un talo calcificado por lo que son muy difícil de ser ingeridas por la comunidad herbívora lo que le da su ventaja frente a otras algas en presencia de altas tasas de herbivoría además de que una mayor tasa de nutrientes incrementa su tasa de crecimiento (Littler *et al.* 2006). De esta manera la concentración de nutrientes y la densidad de la comunidad herbívora juegan un papel central en el fenómeno de cambio de fase (Hay 1985, Lapointe *et al.* 1997, Mc Cook 1999, Lirman 2001, McCook *et al.* 2001, Jompa y McCook 2002, Littler *et al.* 2006, Hughes *et al.* 2007, Lehman 2007, Mantyka y Bellwood 2007).



Figura 4: Diagrama de representación del modelo de dominancia relativa (Littler y Littler 1984).

Se entiende por resiliencia a la habilidad de los arrecifes de coral para absorber y restaurarse de disturbios y cambios, tales como episodios de blanqueamiento o cambios de fase, mientras mantiene sus funciones y servicios (Grimsditch y Salm, 2006). De esta manera en un sistema arrecifal en buenas condiciones, es decir, con una adecuada resiliencia, la comunidad coralina se recuperará con el paso del tiempo (Szmant 2002, Idjadi *et al.* 2006).

Las interacciones de competencia entre los miembros de la comunidad arrecifal están influenciadas por diferentes factores ambientales a los cuáles dichos miembros se han adaptado. Al examinar la distribución de especies y la estructura de los arrecifes, se encuentran tres zonas arrecifales generales: talúd de barlovento, planicie arrecifal y talúd de sotavento. Las diferencias de los patrones de zonación entre el arrecife de barlovento y sotavento está dado principalmente por la adaptación de las especies a la acción del oleaje, mientras que los patrones observados con la profundidad obedecen principalmente a los cambios de la intensidad luminosa; la persistencia de estos gradientes en el tiempo evolutivo permite la expresión máxima de la competencia interespecífica y a su vez estimula el incremento de la biodiversidad de estos ecosistemas (Chávez *et al.* 2007). De esta manera la competencia alga-coral por el sustrato potencialmente varía en dichos gradientes.

En las últimas dos décadas se ha incrementado el registro de cambios de fase alrededor del mundo (Wilkinson 2004). Caso especial el que se presenta en el Caribe donde en 1983-1984 se presentó una disminución del ~93% de la población del erizo de mar *Diadema antillarum* a causa de una epidemia aún no identificada (Lessios *et al.* 1984), los erizos representan los principales herbívoros en el mar Caribe, y debido a esto se propició que en los arrecifes de coral empezaran a experimentar fenómenos de cambio de fase (McManus y Polsenberg, 2004). Gardner y colaboradores (2003) llevaron a cabo un trabajo en el cuál se demuestra una tendencia en todo el mar Caribe al declive de los ecosistemas arrecifales de 1977 al 2002 como reflejo de la pérdida de cobertura coralina de casi un 80% durante dicho periodo de tiempo, la pérdida de la diversidad física y biológica así como el aumento en la extensión espacial y temporal de las algas. Dichos resultados sugieren una sinergia entre factores locales de cada sitio de estudio así como factores que ocurren a gran escala.

Existen algunos trabajos que determinan las coberturas algales en un gradiente batimétrico. Morrison (1988) con el objetivo de caracterizar la abundancia y distribución de algas y herbívoros en un gradiente batimétrico en Discovery Bay Jamaica, evaluó la cobertura de los distintos gremios algales a profundidades de 1-20 m, encontrando que las algas calcáreas son dominantes en las partes más superficiales mientras que la macroalgas son dominantes en las zonas más profundas. Solís (1991) realizó un trabajo para determinar la estructura de la comunidad coralina de la parte sur del arrecife Alacranes, Yucatán y dentro de los parámetros evaluados estuvo la determinación de la distribución batimétrica de los distintos grupos que conforman la comunidad coralina, para lo cual por medio de fotografías submarinas en los taludes de sotavento y barlovento determinó la cobertura de distintas unidades taxofenológicas considerando a los distintos gremios algales, así como corales pétreos, corales blandos y otros zoantideos en tres intervalos de profundidad correspondientes a  $\leq 3$  m, de 3-15 m y  $\geq 15$  m, encontrando como unidad taxofenológica dominante a el sustrato inorgánico y las macroalgas.

Entre los años 1998 y 2000 se llevó a cabo un gran proyecto, la campaña AGRRA (Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment) en el cuál se evaluaron diferentes parámetros ecológicos de los arrecifes de coral del Atlántico occidental, examinando arrecifes con diferentes historias de perturbaciones, condiciones ambientales y presiones de pesca. Se llevaron a cabo 20 estudios que copilaron datos de 302 sitios bentónicos. Dentro de los 15 indicadores que utilizaron para determinar la condición de los arrecifes en esa amplia región se encontró la determinación de la cobertura relativa de los distintos gremios algales, se obtuvo que en promedio la cobertura de las algas filamentosas fue de 48% siendo con

ello el grupo con mayor cobertura, seguido de las algas calcáreas con 29% y por último las macroalgas con 23% de la cobertura relativa (Kramer 2003).

En el Golfo de México (GOM) el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) representa uno de los más importantes sistemas arrecifales por ser el más extenso. Se encuentra ubicado frente al Puerto de Veracruz y el poblado de Antón Lizardo al sur del GOM (Tunnell 2007, Horta-Puga *et al.* 2007). El SAV es considerado uno de los ecosistemas arrecifales con mayor impacto ambiental, fenómenos naturales como la alta descarga fluvial de los ríos Jamapa, Papaloapan y la Antigua, tormentas tropicales, huracanes, frentes fríos, mareas rojas, episodios de blanqueamiento así como enfermedades de la biota arrecifal han ejercido gran influencia disminuyendo la biodiversidad y la abundancia de la biota arrecifal en el SAV. De igual manera se han encontrado altos niveles de hidrocarburos, metales pesados y coliformes fecales como resultado de acción del hombre además que se considera que actividades como la pesca, extracción ilegal de fauna y arena coralina, turismo, buceo recreativo, encallamiento y anclaje de buques y embarcaciones menores, dragado, descarga de aguas de desechos municipales, agrícolas e industriales así como la deforestación de las zonas continentales adyacentes han impactado considerablemente a la comunidad arrecifal (Horta-Puga 2007). Con motivo de la campaña AGRRA se realizó un estudio en los arrecifes de Galleguilla, Isla de Sacrificios e Isla Verde en intervalos de profundidad de 3-6 m y de 9-12 m. Se encontró que el grupo de las algas calcáreas fue el más dominante con un 41% de cobertura, seguidas de las algas filamentosas con un 26.5%, mientras que las macroalgas contaban con apenas el 0.5% de cobertura relativa (Horta-Puga 2003). Para el 2006 se llevó a cabo un estudio en el SAV en 5 arrecifes del grupo Norte y 6 arrecifes del grupo Sur a un intervalo de 9 a 12 m de profundidad para determinar la cobertura de los principales gremios algales, se encontró que el grupo dominante eran las algas filamentosas con un 65.9% de cobertura del total de sustrato, seguidas por las algas Calcáreas con 26.1% mientras que las macroalgas contaban con apenas el 7.9% (Núñez 2008). En 2002 se llevó a cabo un estudio para determinar la condición de 6 arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano, para lo cual se realizaron fototransectos en los cuales se calcularon las coberturas de corales, los distintos gremios algales y otros taxa bénticos a 6, 12, 18 y donde fue posible a 30 m de profundidad. Se encontró que las algas filamentosas y calcáreas fueron las dominantes en la comunidad bentónica en todos los arrecifes y en todas las profundidades (Jones *et al.* 2008).

El antecedente más importante hasta la fecha, está dado por el trabajo realizado por Horta-Puga y Tello (2009) en el Programa de Condición Actual y Monitoreo Permanente del SAV, en el cual entre otros aspectos se determinó la cobertura de

los diferentes gremios algales en 5 arrecifes del grupo Norte y 5 del Sur a un intervalo de profundidad de 9 a 12 m, en las distintas zonas arrecifales (talúd de sotavento, talúd de barlovento y planicie arrecifal). Se determinó que del sustrato no ocupado por coral vivo (aproximadamente el 80.9% del total de sustrato) el 44% se encuentra ocupado por algas filamentosas, el 18.3% por algas calcáreas y el 7.1% por macroalgas.

Es importante hacer estudios sobre este tipo ecosistemas debido a que son altamente diversos, productivos y de gran importancia económica, además en las décadas más recientes se ha producido su declive. En el SAV existen evidencias que sugieren que las condiciones ambientales y ecológicas del sitio están llevando al sistema a un cambio de fase, no obstante los datos con los que se cuenta nos dicen lo que pasa únicamente a un pequeño intervalo de profundidad, por lo que existen lagunas de información en cuanto a si las condiciones del sitio tienen la misma repercusión sobre la comunidad bentónica en un mayor intervalo de profundidad en el talúd arrecifal, ya que es bien sabido que los cambios dados con la profundidad en una comunidad bentónica son influenciados por parámetros ambientales como la atenuación de la luz con la profundidad y por las interacciones biológicas que no son constantes en dicho gradientes. Por otra parte este tipo de estudios nos permite hacer una comparación del estado general de los sistemas coralinos estudiados en distintas regiones del mundo permitiendo conocer su estado de conservación e impactos que pueden estar ocurriendo en los mismos. Por todo lo anterior se propone lo siguiente:

**Objetivo:**

Determinar la cobertura relativa de los principales gremios algales, a lo largo de un gradiente batimétrico en el talúd de sotavento arrecife Isla Verde, Sistema Arrecifal Veracruzano.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

El área de estudio corresponde al arrecife Isla Verde del Sistema Arrecifal Veracruzano (Figura 5), es un arrecife de tipo plataforma, situado a los 19°12'03"N y 96°04'14.1"W, a 5.6 km de la costa. Mide en su eje más largo (NO-SE) 1.1 km con 750 m de ancho, presenta un cayo emergido de 225 m de largo por 125 m de ancho conocido como Isla Verde, es considerado un arrecife moderadamente impactado principalmente por la actividad pesquera (Horta-Puga y Tello 2009).

El talúd de Sotavento es la zona protegida del arrecife, es una zona relativamente tranquila, los hábitats en sotavento constituyen las áreas más variables del arrecife, el grado de desarrollo y de especies presentes en dicho talúd varían con la distancia a la costa y los cambios en la tasa de sedimentación asociados a ésta (Chávez *et al.* 2007). Es la zona de crecimiento activo de los corales, presenta la mayor cobertura de coral vivo, en lo que respecta a las algas la zona de sotavento en el SAV tiene una mayor cobertura de algas filamentosas con un 60.1% (Horta-Puga y Tello 2009).

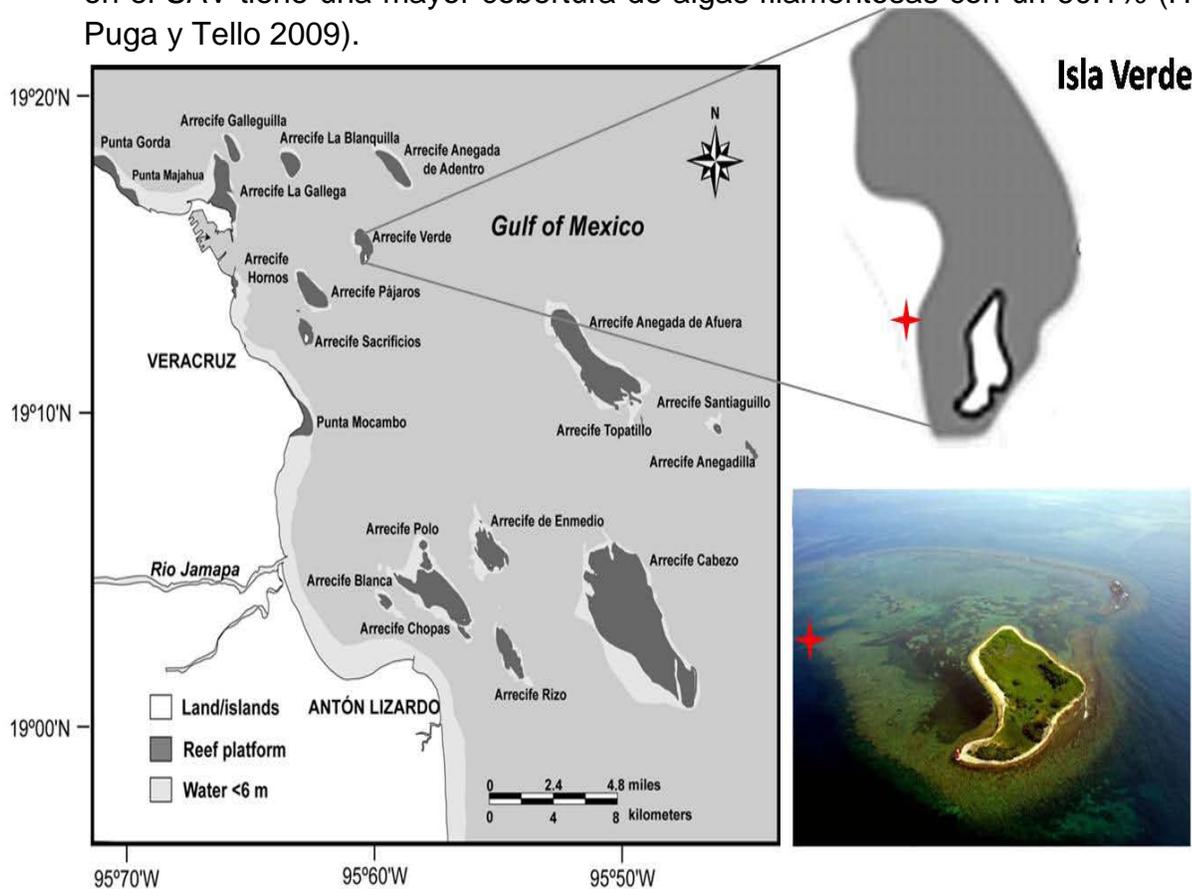


Figura 5. El área de estudio el sotavento del arrecife Isla Verde del SAV, la cruz en rojo indica el punto de muestreo ubicado en 19°12'03.0" latitud Norte y 96°04'14.1" longitud Oeste.

## Trabajo de campo

Se utilizó como base la metodología que corresponde al Protocolo de Evaluación Rápida aplicado en la campaña AGRRA (Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment, Lang *et al.* 2010), con algunas modificaciones tal como se emplea por Horta-Puga y Tello (2009). Para determinar la cobertura algal se empleó la técnica del cuadrante, tomando una fotografía digital (fotocuadrante) a un área de 25x25cm delimitados por una estructura de PVC con un soporte superior en el cual se fijó una cámara digital con una resolución de 5 megapíxeles (Figura 6).

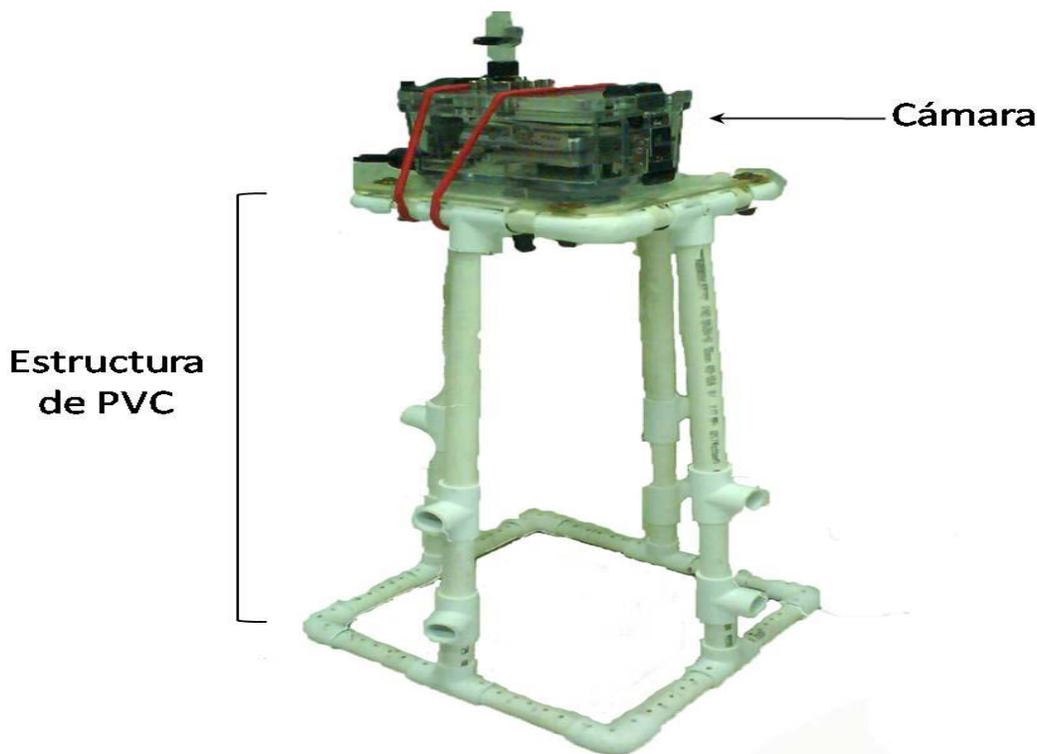


Figura 6: Estructura de PVC sobre la cual se monta una cámara para la toma de fotografías en el estudio.

El muestreo se llevó a cabo en 2 salidas de campo una correspondiente a Octubre del 2010 y la otra en Junio del 2011, estableciendo diferentes estaciones cada 3 m de profundidad sobre el talúd de sotavento hasta donde la profundidad lo permitió (Figura 7), en cada estación de muestreo se tomaron fotografías en áreas no cubiertas por coral vivo ni otro tipo de invertebrados grandes (>25 cm), tampoco se incluyeron las zonas cubiertas totalmente por arena ni con un sustrato muy accidentado para evitar errores en la estimación, se tomaron tantos fotocuadrantes como para completar un área no menor a 5 m<sup>2</sup> (80 fotocuadrantes o más) (Figura 8).

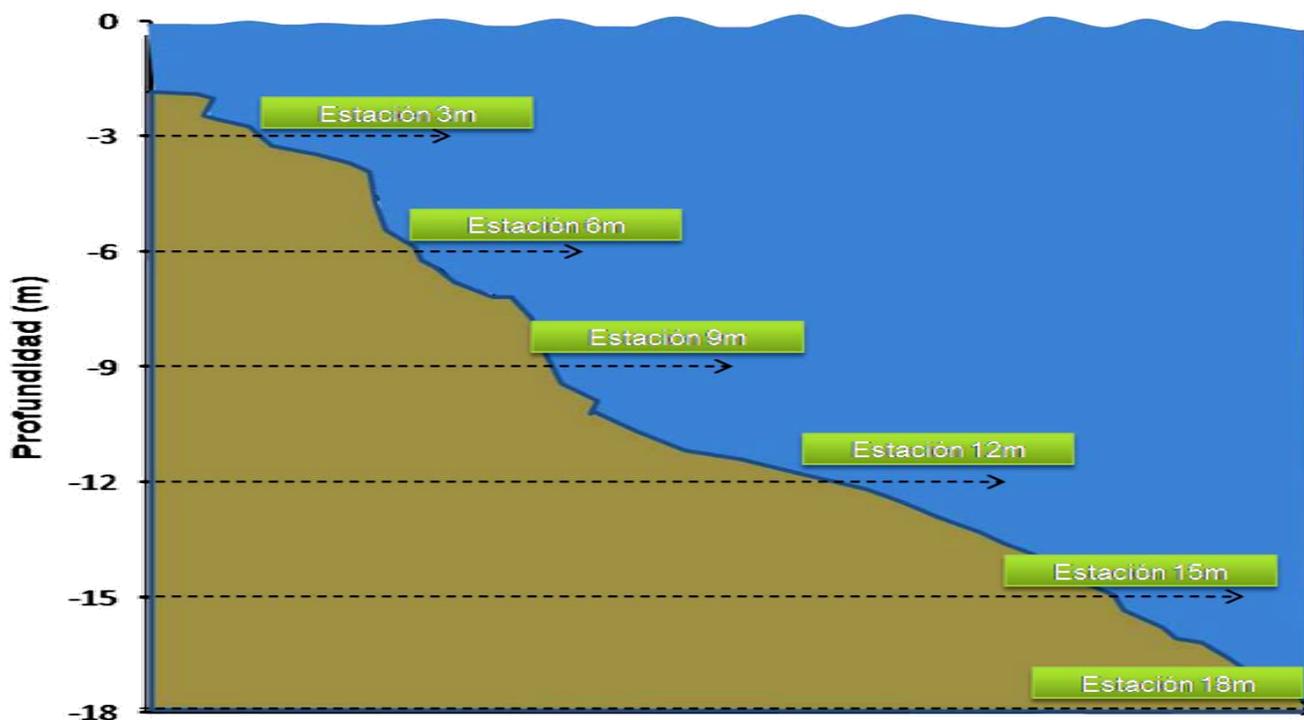


Figura 7: Esquema del perfil batimétrico del sotavento del arrecife Isla Verde (Modificado de (Pérez-España y Vargas-Hernández 2008), en él se indican las estaciones de muestreo para el presente trabajo. Las profundidades de 3 a 15 m fueron muestreadas en Octubre del 2010 y 18 m en Junio del 2011.

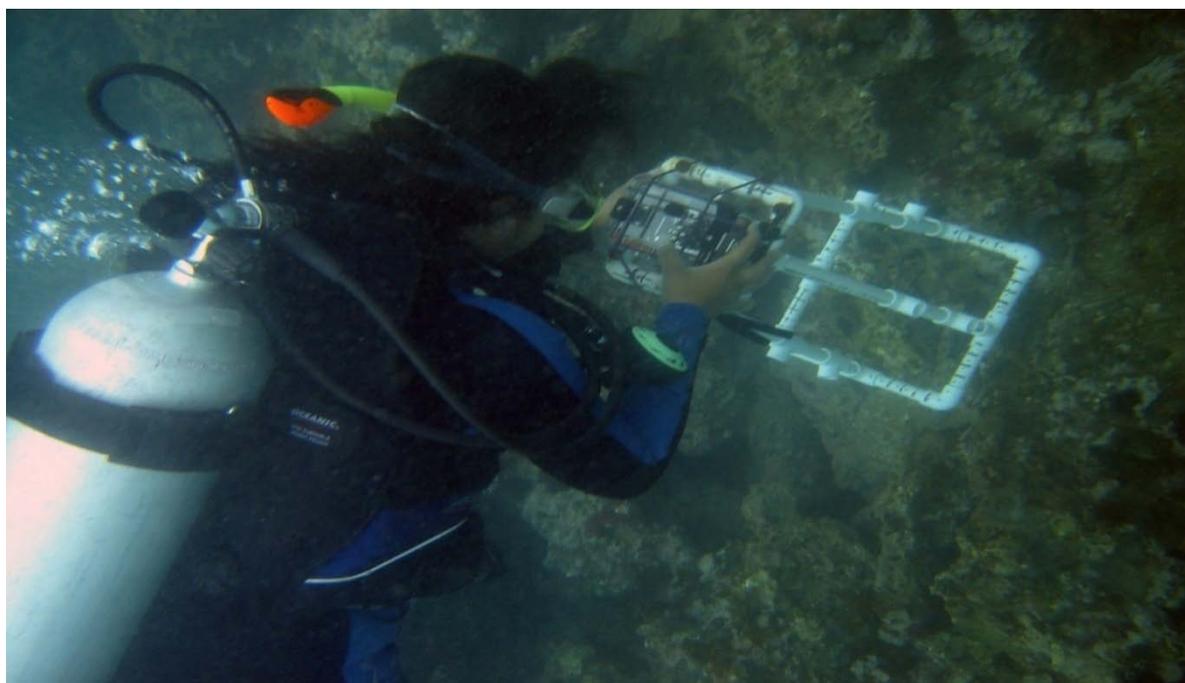


Figura 8: Toma de fotocuadrantes en el sustrato arrecifal.

## Trabajo de Gabinete

La imagen digitalizada se analizó visualmente y se estimó el porcentaje de cobertura relativa de los distintos gremios algales, que para el presente estudio son: macroalgas, algas filamentosas y algas calcáreas, cada una fue reconocida por sus características distintivas (ver introducción). También fueron registrados todo aquel otro organismo bentónico (esponjas, poliquetos, anémonas etc.) que se encontró en los fotocuadrantes. Los porcentajes de cobertura de cada grupo anteriormente mencionado se promediaron para la realización de gráficos y el análisis de resultados.

A continuación se muestra un ejemplo de fotocuadrante en el cual al hacer la estimación visual de los porcentajes de cobertura relativa del sustrato se pueden observar aproximadamente un 25% de Macroalga, 5% de Alga filamentosas, 40% de alga Calcárea, 15% de Roca coralina, 5% de Arena y 10% de Otros organismos que para este caso incluye un erizo, octocoral Alcionaceo y esponja.

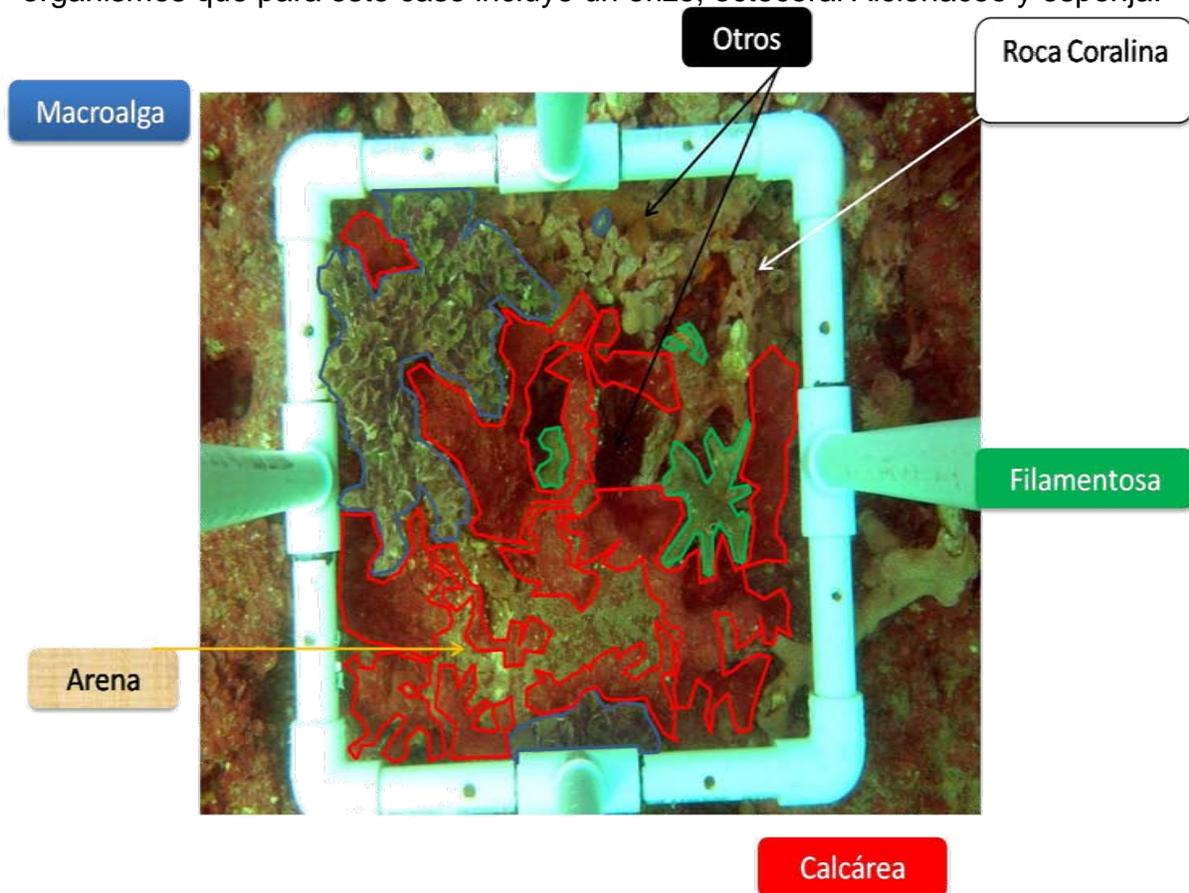


Figura 9: Ejemplo de un fotocuadrante en el cual se pueden encontrar los grupos bentónicos registrados para el presente trabajo. Se sobresaltan las macroalgas con azul, las algas filamentosas con verde y las algas calcáreas con rojo. Nótese la distribución en forma de parches de los gremios algales.

En la figura 10 se muestra como se ven los distintos gremios algales al analizar la imagen digitalizada del fotocuadrante

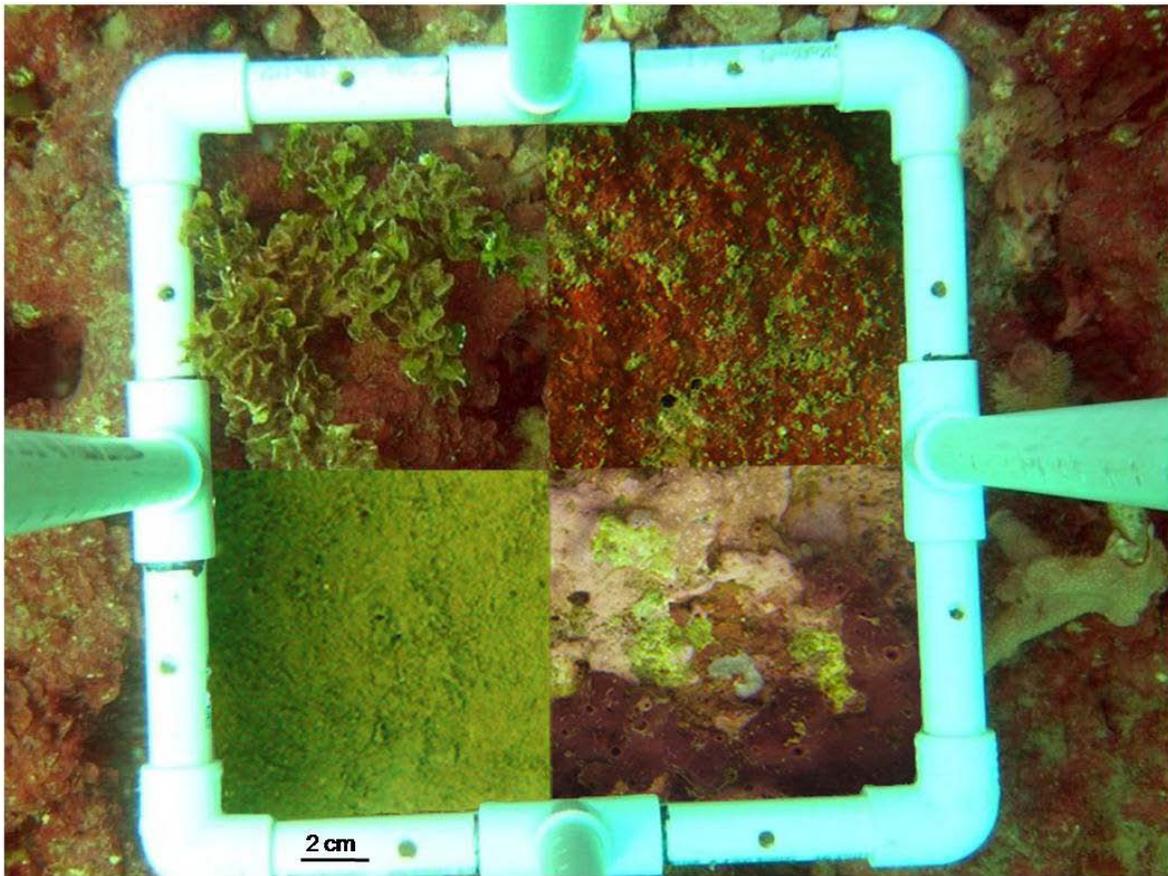


Figura 10: Modificación de un fotocuadrante para poder observar los distintos gremios algales. En la esquina superior izquierda se muestra una macroalga, en la esquina superior derecha se muestra alga calcárea con algunos pequeños parches de alga filamentosa, en la esquina inferior izquierda se muestra alga filamentosa y por último en la esquina inferior derecha se muestran esponjas, además de roca coralina y un poco de alga filamentosa.

## Resultados

### Resultados generales

Se analizaron un total de seis profundidades, en las cuales se tomaron un promedio de 108 fotocuadrantes por cada profundidad, en total se analizaron 648 fotocuadrantes de los cuales se obtuvieron los promedios de cobertura de los distintos grupos bentónicos que se presentan en la tabla 1.

Tabla 1: Cobertura ( $\% \pm 1\sigma$ ) de los distintos gremios algales a distintas profundidades en el talúd de sotavento de arrecife Isla Verde, SAV.

Profundidad	Macroalgas	Filamentosas	Calcáreas	Roca coralina	Arena	Otros
3m	$0.3 \pm 3$	$29.2 \pm 17.8$	$20.5 \pm 18.3$	$42.4 \pm 20.9$	$1 \pm 2$	$8.2 \pm 7$
6m	$1.6 \pm 5.3$	$12.9 \pm 6.4$	$69 \pm 11.2$	$12.9 \pm 9.5$	$0.3 \pm 1.4$	$3.4 \pm 4.5$
9m	$1.3 \pm 4.5$	$86.9 \pm 9.7$	$1.8 \pm 4.1$	$6.2 \pm 4.6$	$2.3 \pm 3.7$	$2.5 \pm 3$
12m	$0.2 \pm 1.2$	$36.8 \pm 19.8$	$52.7 \pm 19.9$	$7.9 \pm 7.4$	$0.9 \pm 2$	$1.6 \pm 2.8$
15m	$0.3 \pm 1.8$	$31.1 \pm 21.5$	$54.6 \pm 23$	$13.4 \pm 10.4$	$0.1 \pm 0.6$	$1.6 \pm 2.9$
18m	$19.1 \pm 14.9$	$44 \pm 25.7$	$24.2 \pm 21.8$	$11.1 \pm 13.4$	$1.1 \pm 2.4$	$0.5 \pm 2$
Promedio	$3.8 \pm 7.5$	$40.1 \pm 25.1$	$37.1 \pm 25.5$	$15.6 \pm 13.4$	$1.0 \pm 0.8$	$3.0 \pm 2.7$

El grupo con mayor cobertura en el talúd de sotavento del Arrecife Isla Verde fue el de las algas Filamentosas con  $40.1 \pm 25.1\%$  seguidas por las algas calcáreas con  $37.1 \pm 25.5\%$  y las macroalgas presentaron una cobertura de  $3.8 \pm 7.5\%$  (Figura 11) (Tabla 1).

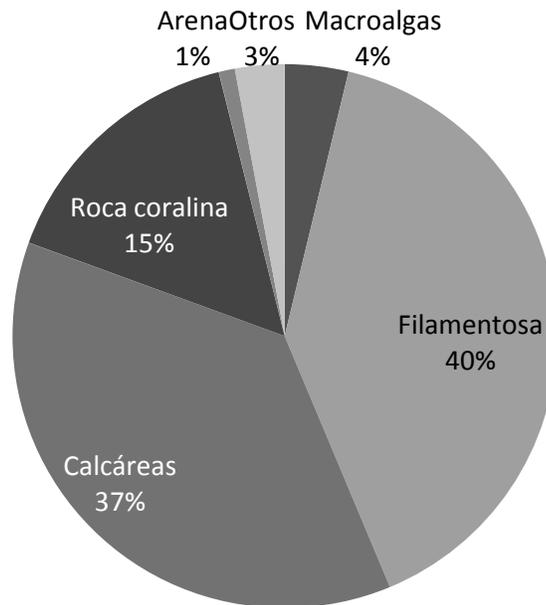


Figura 11: Promedio general de la cobertura (%) de los distintos gremios algales en talúd de sotavento de Isla Verde.

### Resultados por profundidad

El grupo con mayor cobertura en el talúd de sotavento del arrecife Isla Verde a 3 m de profundidad fue el de la roca coralina con  $42.4 \pm 20.9\%$ , seguido por las algas filamentosas con  $29.2 \pm 17.8\%$  y las algas calcáreas con  $20.5 \pm 18.5\%$ . A 6 m de profundidad se tiene que el grupo con mayor cobertura es el de las algas calcáreas con un  $69 \pm 11.2\%$ , posteriormente se encuentran las algas filamentosas y la roca coralina con  $12.9 \pm 6.4\%$  y  $12.9 \pm 9.5\%$  respectivamente. Las algas filamentosas fueron el grupo con mayor cobertura ( $86.9 \pm 9.7\%$ ) a una profundidad de 9 m, el segundo grupo con mayor cobertura se trató de la roca coralina con apenas  $6.2 \pm 4.6\%$ , además que los grupos macroalgas, algas calcáreas, arena y otros organismos bentónicos tuvieron una cobertura que oscila entre el 1% y 3% a dicha profundidad. Los grupos con mayor cobertura a 12 m de profundidad en talúd de sotavento son las algas calcáreas y algas filamentosas con  $52.6 \pm 19.9\%$  y  $36.8 \pm 19.8\%$  respectivamente. En el caso de la profundidad de 15 m los grupos más dominantes en términos de cobertura fueron las algas calcáreas ( $54.6 \pm 23\%$ ), algas filamentosas ( $31.1 \pm 21.5\%$ ) y la roca coralina ( $13.4 \pm 10.4\%$ ). A los 18 m de profundidad el grupo dominante fueron las algas

filamentosas con  $44 \pm 25.7\%$ , posteriormente las algas calcáreas con  $24.2 \pm 21.8\%$ , mientras que las macroalgas con  $19.1 \pm 14.9\%$  ocuparon el tercer lugar en cobertura (Figura 12, tabla 1).

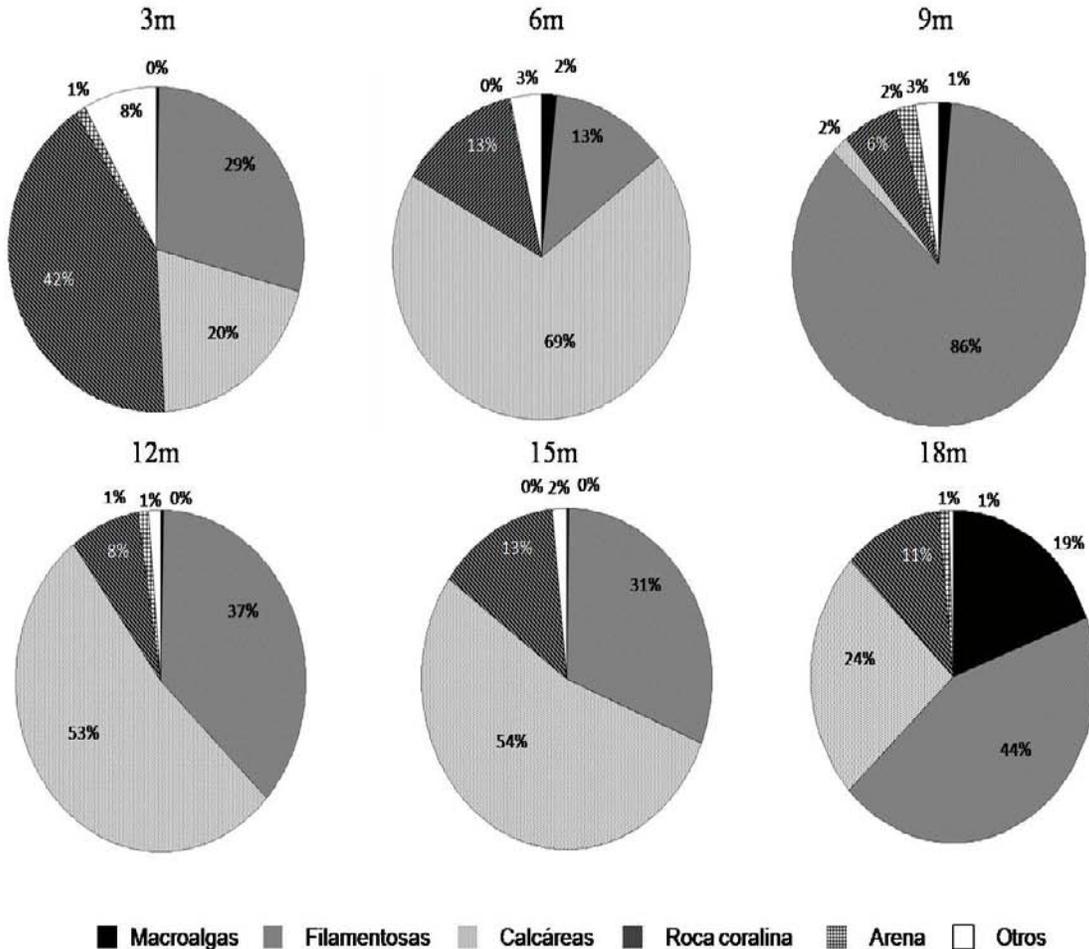


Figura 12: Se presentan las coberturas (%) de los distintos grupos bentónicos registrados en el presente trabajo a cada profundidad.

### Gremios algales

La figura 13 muestra la suma de las coberturas de los 3 gremios algales en todas las profundidades se nota que tienen menor cobertura a 3 m, pero ésta aumenta con la profundidad aunque posteriormente se estabiliza llegando a cerca del 90% de cobertura del sustrato no ocupado por coral vivo.

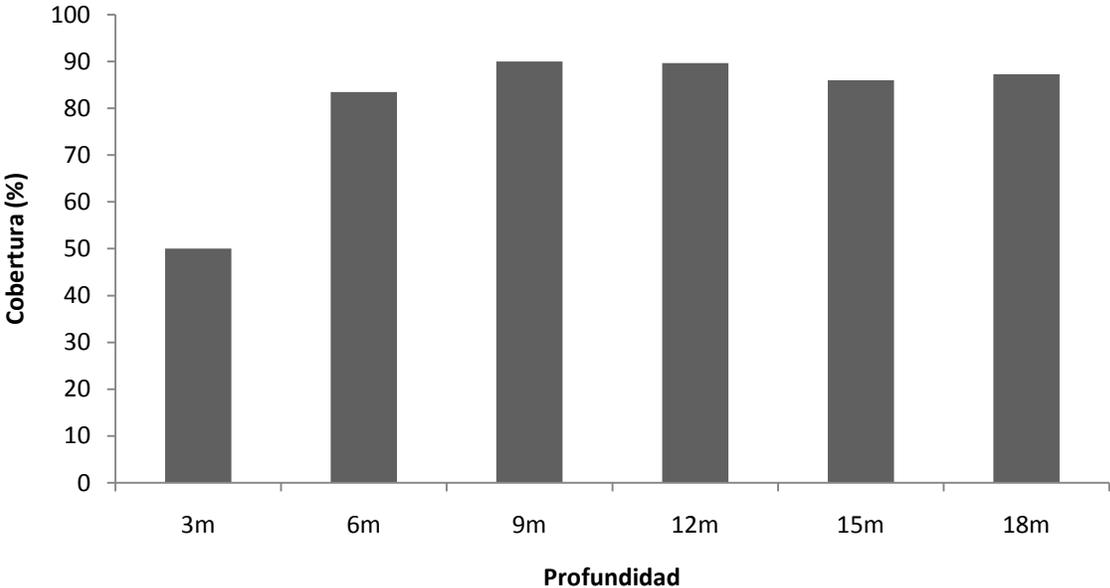


Figura 13: Suma de las coberturas de los gremios algales a todas las profundidades registradas durante el estudio.

La roca coralina presenta un comportamiento inversamente proporcional a la profundidad (Tabla 1), al hacer una regresión para saber si la disminución de la cobertura de la roca coralina está asociada al aumento de la cobertura de los gremios algales ésta resulta ser significativa ( $R^2=0.99$ ,  $p<0.05$ ) (Figura 14)

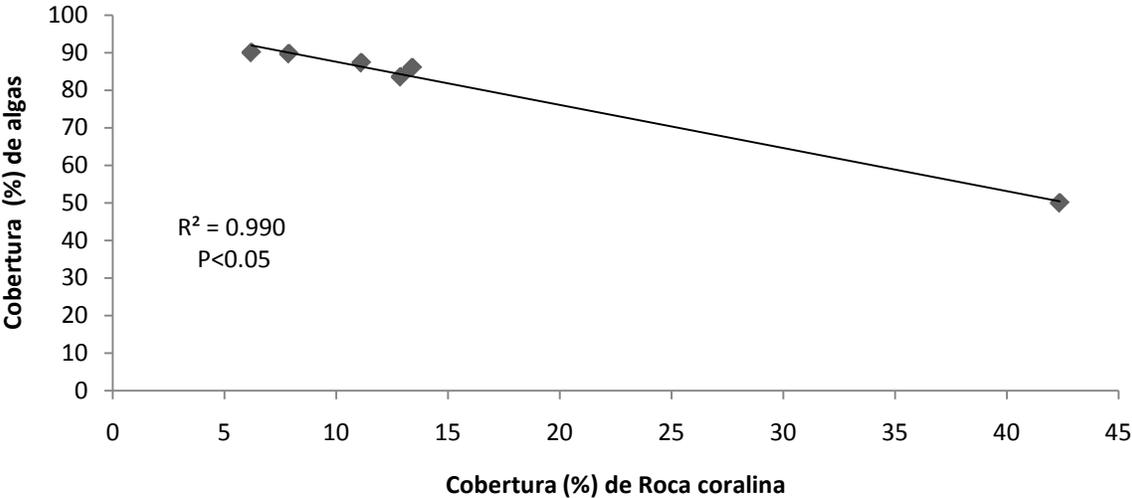


Figura 14: Regresión de la cobertura de la roca coralina contra la suma de la cobertura de los 3 gremios en el gradiente de profundidad.

En promedio los gremios algales ocuparon el  $81.1 \pm 15.4\%$  del total del sustrato analizado en el presente estudio. Se hizo una conversión de datos con el objetivo de analizar únicamente lo que pasa con los gremios algales, para lo cual la suma de los promedios de la cobertura de los gremios algales se tomaron como 100% y con ello se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 2: Cobertura ( $\% \pm 1\sigma$ ) de los distintos gremios algales resultado de la conversión de datos que se hizo al tomar en cuenta únicamente a las algas.

Profundidad	Macroalgas	Filamentosas	Calcáreas
3m	0.7 $\pm$ 6.3	58.4 $\pm$ 35.6	40.9 $\pm$ 36.6
6m	1.9 $\pm$ 6.2	15.4 $\pm$ 7.6	82.6 $\pm$ 13.3
9m	1.4 $\pm$ 4.8	96.6 $\pm$ 10.8	2 $\pm$ 4.6
12m	0.2 $\pm$ 1.3	41 $\pm$ 22.1	58.7 $\pm$ 22.2
15m	0.3 $\pm$ 2.1	36.2 $\pm$ 25.1	63.5 $\pm$ 26.7
18m	21.9 $\pm$ 17.1	50.4 $\pm$ 29.5	27.7 $\pm$ 25
Promedio	4.4 $\pm$ 8.6	49.7 $\pm$ 27.2	45.9 $\pm$ 28.6

La figura 15 se efectuó con los datos de la tabla 2, muestra la dinámica de las coberturas de los distintos gremios algales en el gradiente batimétrico en el talúd de sotavento del arrecife Isla Verde. Las Macroalgas presentan bajos porcentajes de cobertura de los 3 a los 15 m de profundidad, sin embargo a los 18 m de profundidad el porcentaje de su cobertura sube alcanzando 21.9  $\pm$  17.1%. Las algas filamentosas y las algas calcáreas muestran un comportamiento muy peculiar, a lo largo del gradiente batimétrico las algas filamentosas y las algas calcáreas se alternan la dominancia del sustrato. A una profundidad de 3 m las algas filamentosas presentan mayor cobertura, pero a los 6 m de profundidad las algas calcáreas les rebasan y alcanzan su mayor cobertura con 82.6  $\pm$  13.3%; sin embargo a la profundidad siguiente las algas filamentosas presentan una apabullante cobertura del 96.6  $\pm$  10.8% dejando al resto con menos de 2%. A continuación en la profundidad de 12 m y 15 m las algas calcáreas vuelven a remontar colocándose como el gremio con mayor porcentaje de cobertura, y por último a la mayor profundidad que se evaluó que corresponde a 18 m las algas filamentosas sobrepasan al resto con 50.4  $\pm$  29.5% de cobertura del sustrato.

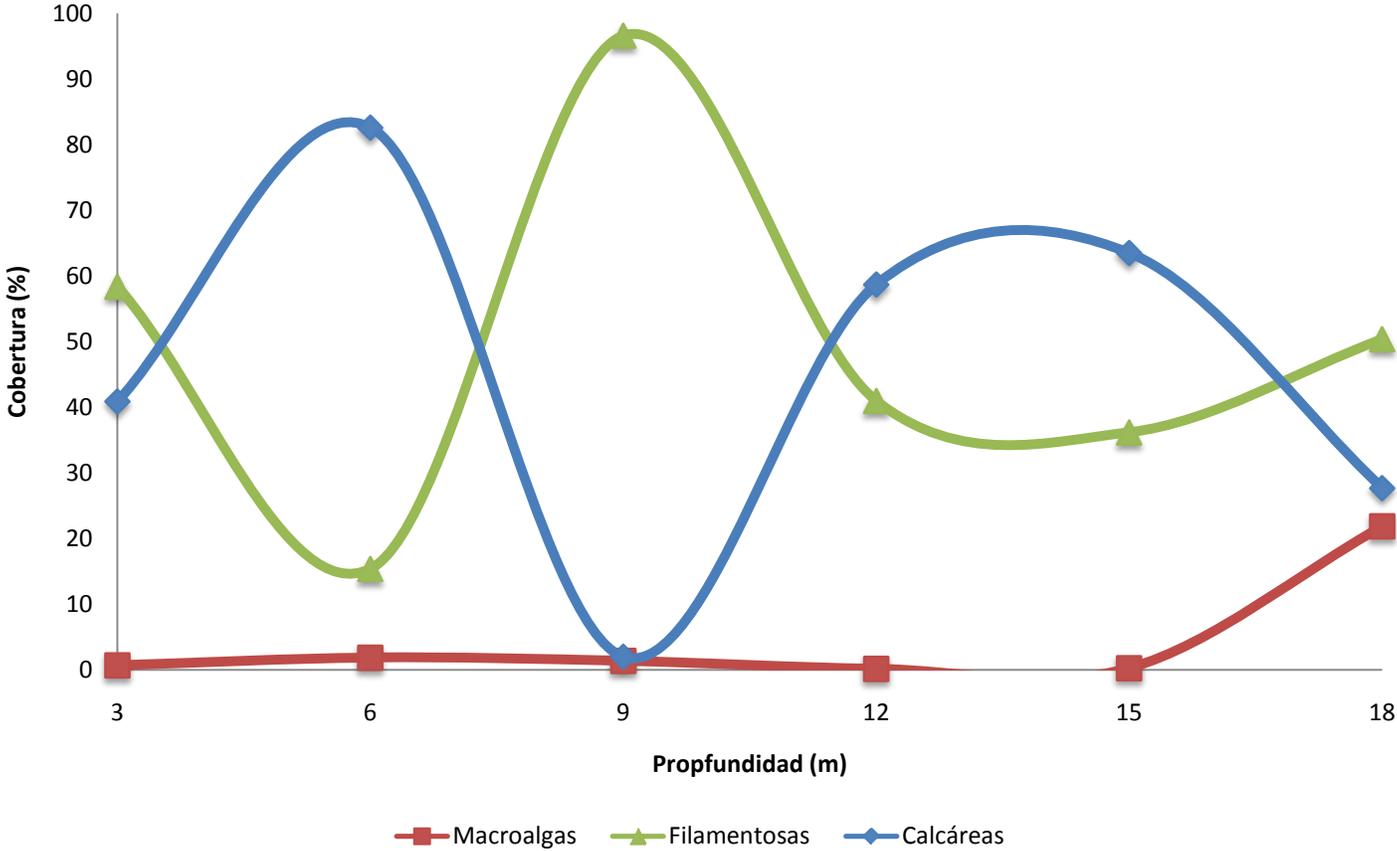


Figura 15: Promedio de la cobertura (%) de los distintos gremios algales y su dinámica con la profundidad.

## Discusión

En general las algas fueron el grupo dominante del sustrato arrecifal no ocupado por coral vivo a todas las profundidades, si se suman las coberturas de los gremios algales se puede encontrar que a 3 m de profundidad cuentan con el 50% de cobertura, y que conforme aumenta la profundidad la cobertura aumenta a alrededor del 90% con un promedio de 81.1%, y esto tiene efecto sobre una menor cobertura significativa de la roca coralina desnuda en el gradiente de profundidad ( $R^2=0.99$ ,  $p<0.05$  Figura 14) debido a que más espacios son ocupados por el alga, sugiriendo que las algas monopolizan el sustrato en el perfil batimétrico, lo que es consistente con otros trabajo en que las algas son los mayores competidores de los corales por el sustrato arrecifal (Benayahu y Loya 1981, Littler y Littler 1984, Jones *et al.* 2008). Si tomamos como 100% de cobertura, a la cobertura dada únicamente por las algas, podemos comparar los datos del presente trabajo con los reportados para el Atlántico Tropical Occidental (ATO) obtenidos durante la campaña AGRRA (Tabla 3), de esta manera tenemos que en el presente trabajo se encontraron casi un 80% menos cobertura de Macroalgas que en el ATO, la cobertura de algas filamentosas es muy similar aunque es ligeramente mayor en el presente trabajo con 49.7%, por otra parte se encontró mayor cobertura de algas calcáreas con 45.9% para el presente trabajo y 29.7% para el ATO. El hecho de encontrar menor cobertura del gremio de las macroalgas en los resultados encontrados por Horta-Puga (2003) y Horta-Puga y Tello (2009) en comparación con varias comunidades del ATO resulta en que el SAV presenta un estado intermedio de conservación, ya que las macroalgas refleja una mayor concentración de nutrientes en la columna de agua así como una comunidad herbívora más impactada además de que la dominancia de estas algas dificulta más la recuperación del arrecife en comparación con dominancia por los otros gremios, ya que son más difíciles de remover por herbívoros y comprometen el reclutamiento coralino (Liittler y Littler 1984, Steneck 1988, Lapointe 1997, Littler *et al.* 2006). Las coberturas bajas de macroalgas en el SAV sugieren que los nutrientes presentes en columna de agua no se encuentran con la suficiente biodisponibilidad para permitir el crecimiento de este gremio algal en particular, sin embargo las algas filamentosas son el grupo dominante en el SAV (Horta-Puga y Tello 2009), lo que sugiere que la comunidad de herbívoros, principalmente peces y erizos, ha sido impactada por la sobrepesca, tal como ha sido reportado en otras localidades del ATO (Hay 1984, Morrison 1988, Miller *et al.* 1999, Kramer 2003, Korenzen *et al.* 2011).

El sotavento del arrecife Isla Verde es en general tiene la misma tendencia con el promedio del SAV, ya que en ambos casos las algas filamentosas son el gremio de mayor cobertura seguidas de las algas calcáreas mientras que las macroalgas

presentan bajas coberturas. Ahora bien, al hacer la comparación de lo encontrado por Horta-Puga y Tello (2009) para el caso específico del sotavento del arrecife Isla Verde con el presente trabajo, se encuentra un mismo patrón con las algas filamentosas como dominantes, seguidas de las algas calcáreas y por último las macroalgas; no obstante la cobertura de algas filamentosas en el trabajo en curso es mucho menor que lo reportado por Horta-Puga y Tello (49.7% y 76.47% respectivamente), mientras que las algas calcáreas cuentan con el 45.9% para este trabajo y con 21.5% para el elaborado por Horta-Puga y Tello, estas variaciones pueden deberse a la diferencia en las estaciones de muestreo, ya que Horta-Puga y Tello únicamente llevan a cabo el muestreo a 9 m de profundidad debido a que se toman en cuenta otros arrecifes más, mientras que este trabajo se enfocó en saber qué es lo que pasa en un gradiente batimétrico. Los resultados encontrados en este trabajo también coinciden con lo encontrado por Pérez-España y Vargas-Hernández (2008) en su trabajo de caracterización ecológica y monitoreo del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, en el cual presentan datos de coberturas de distintos grupos bentónicos en un perfil batimétrico para varios arrecifes del SAV, reportan como el grupo más representativo a las algas filamentosas en todas las profundidades y todos los arrecifes muestreados, teniendo un promedio de ~9% de 0 a 12 m y aumentando a 20% a el intervalo que va de 18 a 21 m de profundidad, además de que otro grupo muy representativo fue el de las algas coralinas con promedios de cobertura que van de 7 a 8.1 % de 0 a 12 m alcanzando un máximo de 14% en el intervalo de 12 a 15 m, aunque su presencia disminuyó con la profundidad a ~5%. Los promedios generales para los gremios algales del trabajo en curso sugieren que el sotavento del arrecife Isla Verde presenta un estado intermedio de conservación; sin embargo la comunidad de herbívoros presente ha sido diezmada permitiendo la proliferación de algas filamentosas.

Tabla 3: Resultados de la evaluación AGGRA, se muestran sólo las coberturas coralinas y de los gremios algales. El porcentaje de cobertura coralina es con respecto a todo el sustrato arrecifal por ende lo que no está ocupado por coral está ocupado por muchos otros organismos bentónicos. Por su parte la cobertura algal corresponde precisamente a lo no ocupado por coral vivo, nótese que para la mayoría de los sitios la cobertura algal es mayor a la coralina.

Localidad	Cobertura coralina (%)	Cobertura algal (%)		
		Macroalgas	Algas filamentosas	Algas Calcáreas
Abrohol, Brasil	12.7	13.7	70.9	15.4
Abaco Island, Bahamas	14.3	34.0	46.5	20.0
Andros Island, Bahamas	26.0	46.5	19.3	33.1
Salvador Island, Bahamas		44.3	30.5	25.2
Turks and Caicos	18.0	18.4	52.2	55.7

María la Gorda, Cuba	19.1	52.0	32.3	15.5
Cayman Islands	19.7	41.0	18.0	41.5
Vigin Islands	18.4	42.6	49.9	20.2
Islas Barlovento Antillas Holandesas	18.0	7.0	51.3	42.0
Horseshoe Reef, St. Vencent, West Indies	34.3	29.8	24.0	46.3
Curazao, Antillas Holandesas	29.7	21.8	56.5	21.7
Los Roques, Venezuela	29.8	3.0	59.8	37.5
Cahuita, Costa Rica	2.4	30.0	43.1	26.9
Cental Belice		25.8	45.7	17.9
Akumal, México	17.3	43.8	34.6	21.7
Xcalak, México	16.9	20.1	53.9	26.0
Caribe Mexicano Centro	12.9	24.8	50.2	24.9
Caribe Mexicano Sur	11.5	18.4	54.3	27.4
Flower Gardens Bank, USA	51.5	9.0	75.5	15.3
SAV, México (1999)	17.0	0.7	39.0	60.3
<b>Promedio ATO</b>	<b>20.5</b>	<b>26.3</b>	<b>45.4</b>	<b>29.7</b>
SAV, México (2006-2007)	19.1	10.3	63.7	26.0
<b>Este trabajo</b>		<b>4.4</b>	<b>49.7</b>	<b>45.9</b>

Si se enfoca la atención con lo que sucede con los gremios algales en todo el perfil batimétrico (Tabla 2, Figura 15), se notará inmediatamente que las macroalgas son un grupo muy escaso en casi todas las profundidades con frecuencia con menos del 2% de la cobertura total de los gremios algales, esto sugiere en principio una baja concentración de nutrientes, sin embargo en la segunda etapa del programa de monitoreo permanente del SAV se llevan a cabo mediciones de las concentraciones de los principales nutrientes (fosfatos, nitratos, nitritos y amonios) y se reportan para el caso del sotavento de Isla Verde en Marzo y Junio del 2010 un promedio de 0.22 mg/l de  $\text{NO}_3$ , 0.01 mg/l de  $\text{NO}_2$ , 0.02 mg/l de  $\text{NH}_4$  y 0.05 mg/l de  $\text{PO}_4$  que rebasan los límites establecidos en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (1989) para la protección de la vida acuática marina que son de 0.04 mg/l de  $\text{NO}_3$ , 0.002 mg/l de  $\text{NO}_2$ , 0.01 mg/l de  $\text{NH}_4$  y 0.002 mg/l de  $\text{PO}_4$ . Por otra parte al hacer la conversión de los valores obtenidos para el SAV a  $\mu\text{M/l}$  se obtienen 0.52 $\mu\text{M}$  de  $\text{PO}_4$ , 1.33 $\mu\text{M}$  de  $\text{NH}_4$ , 0.21 $\mu\text{M}$  de  $\text{NO}_2$  y 3.54 $\mu\text{M}$  de  $\text{NO}_3$  (Horta-Puga y Tello trabajo aún no publicado) lo cual según Lapointe (1997 y 1999) rebasa los umbrales de concentración de nutrientes normales para los arrecifes de coral tropicales, que son de 1.0  $\mu\text{M}$  de Nitrógeno Inorgánico Disuelto ( $[\text{NH}_4]+[\text{NO}_2]+[\text{NO}_3]$ ) y 0.1-0.2 $\mu\text{M}$  de Fósforo Reactivo Soluble ( $\text{PO}_4$ ), más allá de los cuáles se presentaría un cambio de fase en el cuál se esperaría una abundancia de Macroalgas (Littler *et al.* 2006).

No obstante se reconoce, que a pesar de encontrar nutrientes en la columna de agua esto no necesariamente lleva a una dominancia algal debido a que existe factores como la turbidez y la carga de sedimentos que afectan su disponibilidad; se sabe que este último toma gran importancia el talúd de sotavento donde una de las principales fuerzas directrices de las adaptaciones de los organismos presentes aquí son precisamente la carga de sedimentos (Chávez *et al.* 2007), dichos sedimentos podrían adsorber a los nutrientes dejándolos fuera de la fracción biodisponible. Por otra parte existen arrecifes que rebasan estos umbrales de concentración de nutrientes sin experimentar una superabundancia de macroalgas, por lo que varios autores presumen que se necesitan más que sólo una abundancia en las concentraciones de nutrientes para poderse llevar el cambio de fase (McCook 1999, Miller *et al.* 1999, Hughes *et al.* 1999, Smith *et al.* 2001), ya que los arrecifes de coral se presentan diferentes factores ecológicos que estructuran la comunidad y responden de manera desigual a la concentraciones de nutrientes, además de que están sometidos a diferentes situaciones tróficas, variedades de perturbaciones, enfermedades y episodios de blanqueamiento a lo largo de todo el mundo y por ello es difícil establecer un umbral de concentración de nutrientes universal para todos los ecosistemas coralinos. (Steneck 1988 y Szmant 2002)

A 18 m de profundidad la cobertura de macroalgas sube a 21.9%, el cuál está dado principalmente por *Lobophora* (observación personal, identificación con base a Littler *et al.* 1989), esto coincide con otros reportes que implican que las macroalgas suelen tener coberturas superiores a mayores profundidades (Van den Hock *et al.* 1978, Hay 1985, Morrison, 1988, revisión por Steneck 1988). Los resultados pueden explicarse gracias a que se sabe que en general, los patrones de herbivoría en arrecifes impactados en su comunidad herbívora (Hay 1984), como es el caso de Veracruz, son que la abundancia de herbívoros es inversamente proporcional a la profundidad, debido que a mayor profundidad la complejidad orográfica del arrecife reduce brindando menores espacios a los peces herbívoros para refugiarse de depredadores, o bien la disponibilidad y calidad de alimento es menor debido a que la atenuación de la luz con la profundidad provoca menores tasas fotosintéticas por parte de las algas lo cual les hace menos atractivas alimentariamente para los herbívoros (Hay 1985, Lewis y Wainwright 1985). Por otra parte se sabe que algunas macroalgas, incluyendo a *Lobophora*, presentan defensas químicas que dificultan mucho su ingestión por parte de herbívoros permitiéndole incrementar su cobertura (Littler y Littler 1980, Steneck 1988, McCook *et al.* 2001, Jompa y McCook 2003, Cheal *et al.* 2010).

Las algas filamentosas y calcáreas presentan un comportamiento que está correlacionado negativamente ( $r = -0.95$ ,  $p < 0.05$ ), ya que en general cuando se

presentan mayores coberturas de una se presentan bajas coberturas de la otra, en otras palabras existe una alternancia del dominio del sustrato arrecifal (Figura 15). En un gradiente batimétrico en un arrecife de coral los patrones de distribución de las algas están menormente explicados por factores físicos, están más promovidos como resultado de las diferencias de las presiones de herbivoría y la respuesta de las adaptaciones evolutivas por parte de las algas a estas presiones (Hay 1981, 1985, Hay *et al.* 1983, Lewis y Wainwright 1985, Lewis 1986, Steneck 1988, Morrison 1988, Fox y Bellwood 2007, Softka y Hay 2009). Por tanto los resultados sugieren que existen diferentes presiones de herbivoría a lo largo del gradiente de profundidad, de esta manera se encuentran mayor cantidad de algas filamentosas a profundidades de 3, 9 y 18 m, lo cual indica que en estas profundidades la presión de herbivoría es menor. Se sabe que en un talúd arrecifal las zonas más someras así como las de mayor profundidad representan refugios para las algas en los cuáles suelen presentarse en mayores densidades debido a que es aquí donde se presentan menor densidad de herbívoros (Van den Hock *et al.* 1978, Hay 1985, Morrison 1988, revisión por Steneck 1988), lo que podría explicar el comportamiento de los datos de 3 y 18m de profundidad.

Por otra parte existen trabajos donde se sabe que los peces herbívoros llegan a tener preferencias por alguna profundidad dada, debido a las diferencias en los microhábitats particulares en el talúd, parámetros físicos tales como presión, temperatura, intensidad luminosa, interacciones con otros organismos como competencia y depredación lo que repercute en tasas de sobrevivencia y de crecimiento diferentes dependiendo de la profundidad (Srinivanson 2003). Lewis y Wainwright (1985) describen las variaciones de la distribución y la abundancia de peces herbívoros y erizos en varias zonas arrecifales situadas a diferentes profundidades en la barrera de arrecifes de Belice encontrando una distribución diferencial en los peces herbívoros en la que los acantúridos preferían zonas más someras mientras que los lábridos se distribuían en zonas de mayor profundidad. En el caso del SAV Pérez-España y Vargas-Hernández (2008) encuentran que en el arrecife Isla Verde los peces son más abundantes en la zona profunda del arrecife (15 m de profundidad) mientras que el número de especies es mayor en la zona somera (3 m de profundidad) lo que sugiere una preferencia de hábitat por parte de algunos peces; sin embargo no muestran datos específicos para los principales peces herbívoros (Lábridos Acantúridos y Kifósidos).

Además se sabe que los erizos de mar representan un papel muy importante en la herbivoría de los arrecifes de coral principalmente los del género *Diadema* (Hay 1984, Hay y Taylor 1985, Hughes *et al.* 1987, Hughes *et al.* 1999). Sin embargo la abundancia del erizo *Diadema antillarum* en el Caribe decreció en ~ 93% en la década de los 1980's (Lessios *et al.* 1984). Horta-Puga (2003) reporta para el

Arrecife Isla Verde un promedio de densidad de 0 ind/m<sup>2</sup> de *Diadema antillarum* y de 4.5 ind/m<sup>2</sup> del erizo *Echinometra*, por otra parte ya para el 2006-2007 se registran en el talúd de sotavento de Isla Verde una densidad de apenas 0.3 ind/m<sup>2</sup> de los cuáles el 100% eran *Echinometra* (Horta-Puga y Tello 2009), lo que nos habla de que la recuperación de la población de erizos *Diadema* en Veracruz no se ha llevado a cabo lo que se ve reflejado en una menor presión de herbivoría facilitando el establecimiento y permanencia de las algas.

Es importante considerar que en el sitio de estudio del presente trabajo existe la presencia de pomacéntridos territoriales mejor conocidos como peces damisela (Rangel-Avalos *et al.* 2007, Pérez-España y Vargas-Hernández 2008), que por su comportamiento pueden tener efecto sobre la abundancia de algas principalmente las filamentosas. Los peces damisela son organismos territoriales que se apropian de pequeñas parcelas del sustrato arrecifal y en ellas “cultivan” algas impidiendo la proliferación de otros organismos sésiles como los corales. Se tienen reportes en los cuales los peces damisela tiene un efecto directo sobre el incremento de la biomasa, diversidad y producción de las algas filamentosas (Hixon y Brostoff 1983, Klumpp *et al.* 1987) además existen estudios que indican una sobre abundancia de este tipo de peces en lugares donde se presentan problemas de sobrepesca debido a que se extraen los competidores y depredadores los peces damisela, y que esto tiene efecto en la abundancia de algas filamentosas (Ceccarelli *et al.* 2006). Morrison (1988) llevó a cabo un estudio con el objetivo de caracterizar la composición, abundancia y distribución de algas y herbívoros en un gradiente batimétrico en un arrecife de Discovery Bay Jamaica, en este estudio encuentra que las algas filamentosas cuentan con poca cobertura (<25%) en casi todas las profundidades, sin embargo existe un pico de cobertura a 15 m de profundidad con cerca del 30%, este resultado es atribuido a la presencia a esa profundidad de una mayor densidad del pez damisela *Pomacentrus planifrons* encontrando 3 territorios de este pez en su transecto de muestreo. Se sabe que Veracruz es un lugar sometido a sobrepesca (Horta-Puga 2007, Pérez-España y Vargas-Hernández 2008) lo que podría tener un efecto de cascada trófica sobre una abundancia de peces damisela, sin embargo no se cuentan con datos al respecto por lo que el efecto de los peces damisela sobre la abundancia de algas filamentosas debe ser debidamente estudiado. Si bien se sabe que algas filamentosas y algas calcáreas pueden coexistir esto resulta ser difícil, debido a que las algas filamentosas suelen retener bastantes sedimentos lo que provoca el enterramiento y asfixia de las algas calcáreas que se encuentre debajo (Steneck 1988).

En resumen las algas filamentosas pueden presentar la distribución y abundancia que se encuentra en este trabajo debido a diferencias en las presiones de

herbivoría a lo largo del gradiente batimétrico, ya que en donde se encuentre una menor presión o bien donde el efecto dado por los peces damisela sea bastante significativo se presentarán mayores coberturas de algas filamentosas tomando con ello ventaja sobre otros gremios algales tales como las algas calcáreas excluyéndolos competitivamente por mecanismos como su función de trampa de sedimentos, lo que a su vez explicaría la distribución de las algas calcáreas para este trabajo. Cabe mencionar que la mayor abundancia de las algas filamentosas a 9 m de profundidad es similar a la encontrada por Horta-Puga y Tello (2009) en el mismo sitio a esa misma profundidad, lo que sugiere que ese comportamiento es mantenido por las situaciones ecológicas y ambientales del sitio, por lo que se propone estudiar más a fondo al respecto, poniendo énfasis en el efecto que pueden tener los peces damisela sobre la cobertura algal.

Es importante considerar que el SAV está sometido a múltiples perturbaciones de origen natural y antropogénico (Horta-Puga 2007) que pueden resultar en la mortalidad parcial o completa de las colonias de coral que constituyen el arrecife, lo cual deja espacios disponibles para la colonización de organismos bentónicos como son las algas, entre las que destacan las filamentosas que se propagan con facilidad y tienen crecimiento rápido (Steneck 1988), por lo cual la pérdida de cobertura coralina es un factor muy importante en la presencia de una mayor cobertura de algas. Horta-Puga y Tello (2009) reportan que más de la mitad de la comunidad coralina (54.3%) presenta problemas de mortalidad parcial, enfermedades o fenómeno de blanqueamiento, lo que nos da una idea de lo impactada que se encuentra la comunidad coralina, además existen reportes de una disminución de la cobertura coralina de cerca de 60% desde 1960 (Jones *et al.* 2008) y que actualmente se estima en 19.1% (Horta-Puga y Tello 2009). Algunos autores sugieren que el aumento de la cobertura algal es un producto de la disminución de la cobertura coralina más que una causa de la misma (Hughes *et al.* 1999, McCook 1999, Szmant 2002) aunque es bien sabido que las algas cuentan con mecanismos para excluir competitivamente a los corales en la lucha por el sustrato (McCook *et al.* 2001, Jompa and McCook 2003, Softka y Hay 2009)

Es de resaltar que las coberturas tanto de algas filamentosas como de algas calcáreas es alta (49.7% y 45.9% respectivamente), los roles que juegan estas algas en el ecosistema arrecifal son muy importantes, las algas filamentosas son fuente alimenticia de peces herbívoros y erizos, además de invertebrados menores como gasterópodos, polioplacóforos, malacostracos y poliquetos (Steneck 1988). Por otra parte las algas calcáreas son de vital importancia en la construcción del arrecife debido a su estructura calcárea, por otra parte estimulan el reclutamiento coralino, ya que representan un sustrato adecuado para el asentamiento de la larva plánula del coral (Littler y Littler 1984, Maida *et al.* 1994).

Algunos estudios registran que niveles bajos o intermedios de herbivoría estos dos grupos de algas son dominantes (Van den Hoek *et al.* 1978, Hay 1985, Morrison 1988, Steneck 1988, McCook 1999, Szmant 2002), aunque una mayor abundancia de filamentosas puede comprometer el reclutamiento coralino lo que estabiliza la alta cobertura algal y la baja cobertura coralina.

El presente trabajo aporta evidencias que indican que el sotavento del arrecife isla verde está sufriendo un aumento de la cobertura por parte de las algas principalmente filamentosas y calcáreas en todo el perfil batimétrico, sin embargo no se cuentan con datos de cobertura de coral vivo en el espectro batimétrico para el sitio, aún así se cuentan con estudios que documentan una disminución de la cobertura coralina a lo largo del tiempo en el SAV (Jones *et al.* 2008) y en otras regiones (Gardner *et al.* 2003), de seguir manteniéndose las condiciones que propician este fenómeno la riqueza biológica, económica y servicios ambientales que presenta el SAV podrían perderse.

Los resultados en su conjunción sugieren que el sotavento del arrecife Isla Verde presenta un nivel intermedio de conservación, se presenta poca cobertura de macroalgas, altas coberturas de algas filamentosas y calcáreas. Los factores que más impactan la comunidad bentónica son la sobrepesca, además de perturbaciones naturales y antropogénicas que resultan en una menor cobertura de coral y una mayor cobertura algal.

## Conclusiones

La mayor cobertura del sustrato arrecifal no cubierto por coral vivo está ocupada por algas de las cuales el gremio de las algas filamentosas presenta la mayor cobertura con 40.1%, seguido de 37.1% de las algas calcáreas y por último las macroalgas con 3.8%.

Las algas en conjunto presentan un promedio de cobertura del 81.1% a lo largo del gradiente batimétrico, lo que sugiere que se apropian del sustrato dejando poco disponible para otros organismos bentónicos.

La cobertura de los gremios algales varió en el gradiente batimétrico sugiriendo que existen diferentes presiones de herbivoría en éste.

A una profundidad de 9m se presentó un pico en la cobertura de algas filamentosas que parece ser constante en el tiempo, sugiriendo que las condiciones ecológicas y ambientales del sitio le estabilizan.

Las bajas coberturas de macroalgas indican que la biodisponibilidad de los nutrientes en columna de agua es pobre.

Los resultados sugieren que la comunidad de herbívoros está impactada y no es suficiente para disminuir la cobertura de las algas filamentosas.

El talúd de sotavento del arrecife Isla Verde presenta un estado intermedio de conservación en comparación con arrecifes del Atlántico Occidental Tropical

## Bibliografía

- Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment 2006. Background (on line) <<http://www.agrra.org/background/algaeback.html>>[Consultado 28 de Octubre del 2011]
- Benayahu, Y. y Loya, Y. 1981. Competition for space among coral reef sessile organisms at Eilat, Red Sea. *Bulletin of Marine Science*, 31(3):514-522
- Box, S.J. y Mumby, P.J. 2007. Effect of macroalgal competition on growth and survival of juvenile Caribbean corals. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 342:139-149.
- Ceccarelli, D.M., Hughes, T.P. y McCook, L.J. 2006. Impact of simulated overfishing on the territoriality of coral reef damselfish. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 309: 255-262
- Chávez, E., Tunnel, J.W. y Withers, K. 2007. Reef Zonation y Ecology: Veracruz Shelf and Campeche Bank Chapter 5. In: Tunnel, J.W., Chávez, E.A. y Withers, K. [eds.]. *Coral Reefs of the Southern Gulf of Mexico*. Texas A&M University Press. Pag 60-100.
- Cheal, A.J., MacNeil, A.M., Cripps, E., Emslie, M.J., Jonker, M., Schaffelke, B. y Sweatman, H. 2010. Coral-macroalgal phase shift or reef resilience: links with diversity and functional roles of herbivorous fishes on the Great Barrier Reef. *Coral Reefs*. 29:1005-1015.
- Diario Oficial de la Federación, 1989. Criterios ecológicos de calidad del agua. CE-CCA-001/89 Acuerdo por el que se Establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (2 Diciembre de 1989).
- Darwin, C. 1842. *The Structure and Distribution of Coral Reefs*. The Library of The Sedgwick Museum Cambridge. Published by Smith, E. y co., Cornhill. London. pag 60-71.
- Fox, R.J. y Bellwood, D.R. 2007. Quantifying herbivory across a coral reef depth gradient. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 339: 49-59.
- Gardner, T.A., Côté, I.M., Gill, J.A., Grant, A. y Watkinson, A.R. 2003. *Science*. 301: 958-960.
- Grimsditch, G.D. y Salm, R.V. 2006. *Coral Reef Resilience and Resistance to Bleaching*. IUCN, Gland Switzerland. 52pp.
- Hay, M.E. 1981. Spatial patterns of grazing intensity on a Caribbean barrier reef: herbivory and algal distribution. *Aquatic Botany*. 11:97-109.

- Hay, M.E. 1984. Patterns of fish and urchin grazing on Caribbean coral reefs: Are previous results typical? *Ecology*. 65(2): 446-454.
- Hay, M.E. 1985. Spatial patterns on herbivore impact and their importance in maintaining algal species richness. In: C. Gabrie y B. Salvat (eds.). *Proceeding of The Fifth International Coral Reef Congress*. Tahiti. 27May-1June1985. Vol. 4 Symposia and Seminars.
- Hay, M.E. y Taylor, P.R. 1985. Competition between fish and urchins on Caribbean reefs. *Oecologia*. 65:591-598.
- Hay, M.E., Colburn, T. y Downing, D. 1983. Spatial and temporal patterns in herbivory on a Caribbean fringing reef: the effects on plant distribution. *Oecologia*. 58:299-309.
- Hixon, M.A. y Brostoff, W.N. 1983. Damselfish as Keystone Species in Reverse: Intermediate Disturbance and Diversity of Reef Algae. *Science*. 220(4596): 511-513.
- Horta Puga, G. y J. L. Tello Musi. 2009. Sistema Arrecifal Veracruzano: condición actual y programa permanente de monitoreo: Primera Etapa. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DM005. México D. F.
- Horta-Puga, G. 2003. Condition of Selected Reef Sites in the Veracruz Reef System (Stony Corals and Algae). In: Lang, J.C.(ed.) *Status of Coral Reefs in the western Atlantic: Results of initial Surveys*. Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA) Program. *Atoll Research Bulletin* 496: 360-369.
- Horta-Puga, G.J. 2007. Environmental Impacts Chapter 12. In: Tunnell, J.W., Chávez, E.A. y Withers, K. [eds.]. *Coral Reefs of the Southern Gulf of Mexico*. Texas A&M University Press. pag. 183-205.
- Horta-Puga, G.J., Vargas-Hernández, J.M. y Carricart-Gavinet, J.P. 2007. Reef Corals Chapter 8. In: Tunnell, J.W., Chávez, E.A. y Withers, K. [eds.]. *Coral Reefs of the Southern Gulf of Mexico*. Texas A&M University Press. pag. 141-148.
- Hughes, T. Reed, D.C. y Boyle, M. 1987. Herbivory on coral reefs: community structure following mass mortalities of sea urchins. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 113:39-59.
- Hughes, T., Szmant, A.M., Steneck, R., Carpenter y R., Miller, S. 1999. Algal blooms on Coral Reefs: What are the Causes? *Limnology and Oceanography*. 44(6):1583-1586.
- Hughes, T.P., Rodrigues, M.J., Bellwood, D.R., Ceccarelli, D., Hoegh-Guldberg, O., McCook, L., Moltschanivsky, N., Pratchett, M.S., Steneck, R.S. y Willis, B. 2007.

Phase Shifts, Herbivory, and Resilience of Coral Reefs to Climate Change. *Current Biology*. 17: 360-365.

Idjadi, J.A., Lee, S.C., Bruno, J.F., Precht, W.F., Allen-Requa, L. y Edmunds, P.J. 2006. Rapid phase-shift reversal on Jamaican coral reef. *Coral Reefs*. 25: 209-211.

Jompa, J. y McCook, L.J. 2002. Effects of competition and herbivory on interactions between a hard coral and a brown alga. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 271: 25-39.

Jompa, J. y McCook, L.J. 2003. Coral-algal competition: macroalgae with different properties have different effects on corals. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 258:87-95.

Jones, J., Withers, K. y Tunnel, J.W. Jr. 2008. Comparison of Benthic Communities of Six Coral Reefs in the Veracruz Reef System (Mexico). *Proceeding of the 11<sup>th</sup> International Reef Symposium*. Ft. Lauderdale, Florida. pp 757- 760

Klumpp, D.W. McKinnon, D. y Daniel, P. 1987. Damselfish territories: zones of high productivity on coral reefs. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 40:41-51.3

Korezen, L., Israel, A. y Abelson, A. 2011. Grazing effects of Fish versus Sea Urchins on Turf Algae and Coral Recruits: Possible Implications for Coral Reef Resilience and Restoration. *Journal of Marine Biology*. 2011: 1-8.

Kramer, P.A. 2003. Synthesis of coral reef health indicators for the western atlantic: results of the AGGRA program (1997-2000). In: Lang, J.C.(ed.) *Status of Coral Reefs in the western Atlantic: Results of initial Surveys*. Atlantic and Gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA) Program. *Atoll Research Bulletin*. 496: 1-55.

Lang, J.C., Marks, K.W., Kramer, P.A., Kramer, P.R. y Ginsburg, R.N. 2010. AGRRA protocols version 5.4 (on line) <<http://www.agrra.org/method/AGRRA-V5.4-2010.pdf>> [Consultado 14 de Marzo del 2012]

Lapointe, B.E. 1997. Nutrient thresholds for bottom up control of macroalgal blooms on coral reefs in Jamaica and southeast Florida. *Limnol. Ocenogr.* 42(5):1119-1131.

Lapointe, B.E. 1999. Simultaneous Top-Down and Bottom-Up Forces Control Macroalgal Blooms on Coral Reefs (Reply to the Comment by Hughes et al.). *Limnology and Oceanography*. 44(6):1586-1592.

Lapointe, B.E., Littler, M.M. y Littler, D.S. 1997. Macroalgal overgrowth of fringing coral reefs at Discovery Bay, Jamaica: bottom-up versus top-down control. In Lessios, H.A., MacIntyre, I.G. y McGee, M[eds.], *Proceedings of the Eighth International Coral Reefs Symposium*, Panama, 24-29 June. Pages 927-932. Smithsonian Tropical Research Institute, Panama City, Panama.

- Ledlie, M.H., Graham, A.J., Bythell, J.C. Wilson, S.K., Jennings, S., Polunin, N.V.C. y Hardcastle, J. 2007. Phase shifts and the role of herbivory in the resilience of coral reefs. *Coral Reefs*. 26: 641-653.
- Lehman, R.L. 2007. Reef Algae Chapter 7. In: Tunnell, J.W., Chávez, E.A. y Withers, K. [eds.]. *Coral Reefs of the Southern Gulf of Mexico*. Texas A&M University Press. pag. 129-140.
- Lessios, H.A. Robertson, D.R. y Cubit, J.D. 1984. Spread of *Diadema* Mass mortality through the Caribbean. *Science*. 226: 335-337
- Lewis, S.M. 1986. The Role of Herbivorous fishes in the Organization of Caribbean Reef Community. *Ecological Monographs*. 56(3): 183-200.
- Lewis, S.M. y Wainwright. 1985. Herbivore abundance and grazing intensity on a Caribbean Coral Reef. *J. Mar. Biol. Ecol.* 87:215-228.
- Lirman, D. 2001. Competition between macroalgae and corals: effects of herbivore exclusion and increased algal biomass on coral survivorship and growth. *Coral Reefs*. 19:392-399.
- Littler, D.S., Littler, M.M., Bucher, K.E. y Norris, J.N. 1989. *Marine Plants of the Caribbean, A field guide from Florida to Brazil*. Smithsonian Institution press. Washington D.C. pag. 114-116.
- Littler, M.M. 1980. Morphological Form and Photosynthetic Performance of Marine Macroalgae: Test of a Functional/Form Hypothesis. *Botanica Marina*. 22:161-165.
- Littler, M.M. y Littler, D.S. 1980. The Evolution of Thallus Form and Survival Strategies in Benthic Marine Macroalgae: Field and Laboratory Test of a functional Form Model. *The American Naturalist*. 116(1): 25-44.
- Littler, M.M. y Littler, D.S., 1984. Models of Tropical reef biogenesis: the contribution of algae. *Prog Phycol Res* 3: 323-364.
- Littler, M.M., Littler, D.S., y Brooks, B.L. 2006. Harmful algae on tropical coral reefs: Bottom-up eutrophication and top-down herbivory. *Harmful Algae*. 5:565-585.
- Loya, Y. 1976. Effects of water turbidity and sedimentation on the community structure of Puerto Rican corals. *Bulletin of marine science*. 26(4): 450-466.
- Maida, M., Coll, J.C. y Samarco, P.W. 1994. Sheading new light on scleractinian recruitment. *Journal on Experimental Marine Biology and Ecology*. 180: 189-202.

- Mantyka, C.S y Bellwood, D.R. 2007. Direct evaluation of macroalgal removal by herbivorous coral reef fishes. *Coral Reefs*. 26: 435-442.
- McCook, L.J. 1999. Macroalga, nutrients and phase shift on coral reefs: scientific issues and management consequences for the Great Barrier Reef. *Coral Reefs*. 18:357-367.
- McCook, L.J., Jompa, J. y Diaz-Pulido, G. 2001. Competition between coral and algae on coral reefs: a review of evidence and mechanisms. *Coral Reefs*. 19: 400-417.
- McManus, J.W. y Polsenberg, J.F. 2004. Coral-algal phase shifts on coral reefs: ecological and environmental aspects. *Progress in Oceanography* 60:263-279.
- Miller, M.W., Hay, M.E., Miller, S.L., Malone, D., Sotka, E.E. y Szmant, A.M. 1999. Effects of nutrients versus herbivorous on reef algae: A new method for manipulating nutrients on coral reefs. *Limnol. Oceanogr.* 44(8):1847-1861.
- Morrison, D. 1988. Comparing Fish and Urchins Grazing in Shallow and Deeper Coral Reef Algal Communities. *Ecology*. 69(5): 1367-1382.
- Núñez R., J. 2008. Cobertura de los principales gremios algales del Sistema Arrecifal Veracruzano. Tesis de Licenciatura (Biología), Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, México. 58p.
- Pérez España, H. y J. M. Vargas Hernández, 2008. Caracterización ecológica y monitoreo del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano: Primera Etapa. Universidad Veracruzana. Centro de Ecología y Pesquerías Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DM002. México D. F.
- Pinet, P.R, 2006 *Invitation to Oceanography*. 4th edition Ed. Jones and Bartlett Publishers. Ontario, Canada.
- Rangel-Avalos, M. A., Jordan, L.K.B., Walker, B.K., Gilliam, D.S., Carvajal H., E., Spieler, R.E. 2007. Fish and Coral Reef Communities of Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (Veracruz Reef System National Park) Veracruz, Mexico: Preliminary Results. *Proceedings of the 60th Gulf and Caribbean Fisheries Institute* 60:427-435.
- Roberts, E. 2003. Scientists warn of coral reef damage from climate change *Marine Scientist* 2: 21-23
- Ruppert, E.E. y Barnes, R.D. 1996, *Zoología de los invertebrados*, 6ª edición, Ed. Mc Graw-Hill Interamericana. México, D.F. pag. 159-165.

- Smith, J.E. Smith, C.M. y Hunter, C.L. 2001. An experimental analysis of the effects of herbivory and nutrient enrichment on benthic community dynamics on a Hawaiian reef. *Coral Reefs*. 19:332-342.
- Softka, E.E. y Hay, M.E. 2009. Effects of herbivores, nutrient enrichment and their interaction on macroalgal proliferation and coral growth. *Coral Reefs*. 28:555-568.
- Solís, W.R.S.R., 1991. Estructura de la comunidad bentónica de la parte sur del Arrecife Alacranes, Yucatán, México, Tesis de maestría, Recursos del Mar del Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida.
- Srinivasan, M. 2003. Depth distribution of coral reef fishes: the influence of microhabitat structure, settlement, and post-settlement processes. *Oecologia*. 137: 76:84.
- Steneck, R.S. 1988. Herbivory on Coral Reefs: A Synthesis. Proceeding of the 6<sup>th</sup> International Coral Reef Symposium, Australia, 1988, Vol. 1.
- Szmant, A.M., 2002, Nutrient Enrichment on Coral Reefs: Is it a Major Cause of Coral Reef Decline?. *Estuaries*. 25(4):743-766.
- Tunnell, J.W. Jr., 2007. Reef Distribution Chapter 2. In: Tunnell, J.W., Chávez, E.A. y Withers, K. [eds.]. *Coral Reefs of the Sourthen Gulf of Mexico*. Texas A&M University Press.
- Van den Hock, C., Mann D.G. y Johns H.M. 1995. *Algae, an introduction to phycology*. Cambridge University Press, London UK .p 13-302.
- Van den Hoek, C. Breeman, A.M. Bak, R.P.M. y Van Buurt. 1978. The distribution of algae, coral, and goronians in relation to depth, light attenuation, water movement and grazing pressure in the fringing coral reef of Curaçao, Neatherlands Antilles. *Aquatic Botany*. 5 :1-46.
- Wilkinson, C. 2004. Executive Summary. In Wilkinson, C. (eds) *Status of Coral Reefs of the World*. Australian Institut of Marine Science, pag. 7-34.

“Nothing in Biology makes sense except in  
the light of evolution”

Theodosius Dobzhanski