



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología  
Biología Marina

**“VARIACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA ESTRUCTURA DE LOS  
ENSAMBLES ALGALES ASOCIADOS A DIFERENTES SUSTRATOS EN EL  
ARRECIFE CORALINO EL ZACATOSO, ZIHUATANEJO, GUERRERO”**

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS**

PRESENTA:

**BIÓL. PERLA VÁZQUEZ TEXOCOTITLA**

DIRECTORA DE TESIS: DRA. DENÍ CLAUDIA RODRÍGUEZ VARGAS  
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM.

COMITÉ TUTOR: DR. JUAN PABLO CARRICART-GAVINET. ICMyL, UNAM.  
DR. JOSÉ LUIS CARBALLO CENIZO. ICMyL, UNAM.  
DR. JOAQUÍN RODRIGO GARZA PÉREZ. UMDI-SISAL, UNAM.  
DR. JULIO ESPINOZA ÁVALOS. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología

México, D.F. noviembre 2013.



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.



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.

---

*Hace no mucho tiempo, alguien me preguntó: ¿cuál fue el primer acontecimiento importante de tu vida?*

---

*A lo que contesté: El primer acontecimiento importante de mi vida fue cuando tenía nueve años: mi padre me llevó por primera vez al mar. Al mar he dedicado una buena parte de mi vida y puedo asegurar que delante del mar tuve por primera vez conciencia. El mar tuvo para mí esa fuerza inconcebible de hacer pensar a una niña en el principio de la razón de ser de muchas cosas. Entonces, la fuerza, la energía, la velocidad, el dinamismo que solamente el agua tiene, cupo en mí, en esta pequeña e insignificante persona que ustedes ven.*

Perla.

Enero, 2013.



## *Dedicatoria*

*A mi esposo, David Amo Manzano:*

Cuando me despierto por las mañanas, lo primero en lo que pienso es en ti y me doy cuenta que nos hemos entregado una vez más a los brazos del horizonte como amigos, como esposos, como amantes. Soy feliz de caminar la vida a tu lado, de compartir la entrega absoluta de los sueños, de contemplar la maravillosa sonrisa de tus labios. Amo todo lo que tú eres y todo lo que me has dado. Y aunque sepas las mil razones de mi amor por ti, sigo pensando que tal vez sólo fue cuestión de tiempo, de imaginarnos así, en secreto, porque para enamorarnos, sólo nos bastó existir.

¡Como deseas!

¡Gracias por todo tu incondicional apoyo, esta tesis fue posible gracias a ti!

Perla.

# *Dedicatoria*

## **A mi padre, Carlos:**

Cuando pienso en todos estos años transcurridos en la lejanía, pienso en que todo lo que hice, lo hice por ti. Me diste libertad antes que nadie, me otorgaste esencia, me heredaste tu pasión por la música, tu indestructible fortaleza, y aunque mis palabras aún sean limitadas y pequeñas, lo que hay en tu alma y en tus ojos, se han convertido en mi sueño, un sueño que vive en tu corazón y que por siempre reinarán como mi bandera.

Papá,

¡Gracias por tanto amor, por tanta lucha y por tanta vida!

## **A mi madre, Hortencia:**

Me otorgaste la vida, y tú brillante armadura me hicieron una mujer fuerte y entera. Madre, hubo tantas maneras en las que siempre quise sostenerme en tus brazos y aún en la distancia estuve esperando por ti, por llegar a casa y verte sonreír. Y para no caer, para afirmarme sobre esta tierra y continuar luchando, cerraba los ojos y recordaba la fragancia de tu presencia, el implacable pan de tu dulzura.

Mamá, hay algo que quiero que sepas, eres el amor que siempre estuve esperando.

## **A mi hermana Elsa y mi sobrina Abril:**

Eres más que mi sangre, eres aquella niña que estuvo conmigo hombro a hombro librando las batallas de esta vida. Cuántas enseñanzas me darías, cuánta esperanza y humildad. Gracias por tu bella esencia, por el fruto de tu vida: Abril, ésa niña que me ha doblegado por completo, que una sola de sus sonrisas me causa un revuelco en el corazón. Y todo esto sólo tiene una razón, el gran amor que les tengo, un amor que incluso, va más allá de cualquier océano extenso.

# *Agradecimientos*

**A la Universidad Nacional Autónoma de México**, por permitirme tener un espacio donde cumplir mis sueños, un espacio donde constantemente amé el conocimiento, un espacio donde conocí a los mejores amigos, donde me hice mejor persona, mejor ser humano. Siempre serás mi Alma Máter.

**Al Programa del Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología**, por ser el impulso más grande que tuve para poder continuar estudiando lo que más me apasiona, los extensos océanos, los profundos mares.

**A CONACyT** por proporcionarme el financiamiento a través de una beca para la realización de este trabajo.

**Al Proyecto “Conservación de la Biodiversidad Arrecifal de la Región de Zihuatanejo, Guerrero: Macroalgas, Peces y Corales Hermatípicos” y la UMDI Zihuatanejo**, por ser el vínculo que me permitió seguir adentrándome al maravilloso mundo de las algas y los corales.

**A mi asesora, la Dra. Dení Claudia Rodríguez Vargas**, por todas sus aportaciones y su inigualable visión hacia este trabajo, y que aún a distancia, procuró por él y por mi formación profesional.

**A mi Comité tutorial: Dr. José Luis Carballo Cenizo, Dr. Julio Espinoza Ávalos, Dr. Joaquín Rodrigo Garza Pérez y Dr. Juan Pablo Carricart Gavinet**, por sus sugerencias, aportaciones y su tiempo a esta investigación, pero sobre todo, por estar dispuestos a contribuir en mi formación académica y al enriquecimiento del conocimiento científico sobre los arrecifes de coral.

**A mi asesora externa, la Dra. Norma Angélica López Gómez y el M. en C. Carlos Candelaria Silva**, por su enorme apoyo durante los muestreos de campo, por su formidable visión hacia este trabajo, por la confianza y el aprecio durante muchos años.

**Al M. en C. David Salinas Torres**, por la confianza para la realización de la fase de laboratorio y gabinete en el Aula de Cómputo de Posgrado, Facultad de Ciencias. Por el cariño, las risas y las maravillosas anécdotas que nunca olvidaré.

**Al M. en C. Edgardo Manuel López Valerio**, por su invaluable ayuda en los análisis estadísticos de este trabajo, pero sobre todo, por tu generosidad, tu nobleza y tu tiempo, ¡gracias, gracias, gracias!

## *A mis amigos...*

**Eloísa Reyes:** eres mucho más que una amiga, eres como una hermana. Gracias por tu mente y esencia maravillosas, por tu entrega y humildad. Siempre estaré contigo.

**Hiram Cáceres Lucero:** un hombre que se ha entregado absolutamente a esta hermosa amistad. A ti te debo mi ingreso a este posgrado. Nunca olvidaré que estuviste conmigo en los peores momentos; eres mi campeón, mi ruiseñor, mi gran amigo.

**Fernando Mezquite García:** “bailaban hembra y hombre con zapatosnegros como ataúdes que brillaban y se adherían uno a una comolas ventosas del mar, entre el tabaco,el agrio vino, las conversaciones,las carcajadas verdes”. Tu mente maravillosa, tu esencia única y nuestro gusto por Edgar Allan Poe y Pink Floyd nos hicieron amigos para la eternidad. Gracias por todo mi diamante loco.

**Zaira Edith Romero Velázquez:** Tu gran corazón y tú enorme sonrisa me han alegrado la vida por muchos años. Hermana, te quiero con tanta luz, con tanto fervor y tanta entrega.

**David Chicalote García:** has hecho de muchos de mis días los más alegres, las carcajadas, las risas, las locuras y las charlas siempre permanecerán en mi corazón.

**Alejandra Dolores Fuentes** (Hamilton Beach): hiciste de mí una mujer con más esencia, con más sencillez, con mayor firmeza. Gracias por haber vivido conmigo maravillosas experiencias, te extraño.

**Diana Carimela:** tus palabras, tu nobleza y tus charlas siempre estarán presentes en mis pensamientos. Nunca olvides tu libertad, te adoro amiga mía.

**Jannis Michell y Elizabeth Vázquez:** amigas mías, el seguir caminando conmigo en el transcurso de esta vida, me hace una mujer muy afortunada. Gracias por tantos años y tana vida. Las quiero.

**Nabor y Marina:** el haberlos encontrado en el camino me permitió construir nuevas melodías de vida, aprendí a sonreír de forma distinta y aun cuando eran diferentes en esencia, ambos me dieron instrumentos lingüísticos para formar nuevos paisajes de madera.

**Alex Valdez Mondragón:** tus quelas y tus telarañas fueron un ejemplo de lucha constante, los tomé de alguna manera, los pase de la tierra al mar y pude mirar al horizonte como sueles hacerlo tú. Gracias por hacerme mirar siempre hacia enfrente.

## *A mis demás amigos...*

Rey, Xóchitl, Miguel, Manzana, Óscar, Germis, Erick, Bárbara, Hunahpu, Pavel, Carlos, Felipe, María José, Marco, Luis Chán y Rubén, gracias por las maravillosas anécdotas, por las andanzas y las risas, por hacer de la maestría una etapa maravillosa.

## ÍNDICE GENERAL

Índice general.....	7
Contenido.....	7
Lista de figuras.....	10
Lista de tablas.....	12
Resumen.....	14

## CONTENIDO

1. Introducción.....	15
1.1. Arrecifes de coral: un ecosistema único y amenazado.....	15
1.2. Macroalgas bentónicasmarinas.....	16
1.3. Ensamblés algales.....	17
1.4. Estudio de ensamblés algales en la región de Zihuatanejo, Guerrero.....	19
2. Antecedentes.....	21
3. Objetivos.....	30
3.1. General.....	30
3.2.Específicos.....	30
4. Área de estudio.....	31
4.1. Litoral de Guerrero.....	31
4.2. Franja arrecifal El Zacatoso.....	31
5. Materiales y métodos.....	36
5.1. Fase de campo.....	36

5.1.1. Muestreo de ensamblajes algales.....	36
5.1.2. Cobertura total de ensamblajes algales .....	38
5.1.3. Medición de factores ambientales.....	39
5.2. Fase de laboratorio.....	40
5.2.1. Identificación de grupos forma-función.....	40
5.2.2. Determinación de la abundancia de los grupos forma-función.....	41
5.2.3. Identificación de los tipos de ensamblajes algales.....	42
5.2.4. Identificación taxonómica de las especies algales.....	42
5.2.5. Movimiento de agua.....	43
5.3. Fase de gabinete.....	45
5.3.1. Captura de datos .....	45
5.3.2. Análisis de datos y pruebas estadísticas.....	45
5.3.2.1. Ensamblajes algales.....	45
5.3.2.2. Grupos forma-función.....	46
5.3.2.3. Especies algales.....	47
6. Resultados.....	48
6.1. Composición y riqueza de especies.....	48
6.2. Grupos forma-función y ensamblajes por tipo de sustrato.....	53
6.3. Tipo de ensamblaje por sustrato, profundidad y área .....	53
6.4. Análisis estadísticos.....	55
6.4.1. Ensamblajes algales.....	55
6.4.2. Grupos forma-función.....	56
6.4.3. Especies algales.....	60

6.5. Temperatura, intensidad de luz y movimiento de agua.....	64
6.5.1. Temperatura e intensidad de luz.....	64
6.5.2. Movimiento de agua.....	69
7. Discusión y conclusiones.....	70
7.1 Composición y riqueza de especies.....	70
7.2 Grupos forma -función y tipos de ensamble.....	76
7.3. Análisis estadísticos.....	81
7.3.1. Ensamblés algales.....	81
7.3.2. Grupos forma-función.....	82
7.3.3 Especies algales.....	84
8. Referencias bibliográficas.....	90
Anexos.....	99

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Área de estudio. Estado de Guerrero (arriba), Ixtapa-Zihuatanejo (centro) y El Zacatoso (abajo).....	32
<b>Figura 2:</b> A) Ubicación de área 1 y 2, y B) diseño de muestreo de campo.....	38
<b>Figura 3:</b> Porcentaje de cobertura de ensamble de macroalgas creciendo sobre coral vivo (arriba a la izquierda), coral muerto (centro) y roca (derecha). Los marcos metálicos miden 10 x10 cm.....	38
<b>Figura 4:</b> Registradores HOBOS Pendant en gabinete (izquierda) y ubicación de HOBOS y esferas de escayola en el campo (derecha).....	40
<b>Figura 5:</b> Muestra en proceso (arriba), observaciones al microscopio de <i>Ceramium equisetoides</i> (abajo a la izquierda), parte apical de <i>Gelidium pusillum</i> (abajo al centro) y corte transversal de <i>Gelidium pusillum</i> (abajo a la derecha).....	43
<b>Figura 6:</b> Riqueza de especies por Phylum.....	48
<b>Figura 7:</b> A) nMDS de la abundancia de los grupos forma-función en los tres sustratos, B) interacción sustrato-estacionalidad en secas, C) interacción sustrato-estacionalidad en lluvias; yD) CAP de las abundancias de los grupos forma-función en los tres sustratos en secas y lluvias. CV=coral vivo, CM= coral muerto y R= roca. ....	60
<b>Figura 8:</b> nMDS de la composición de especies utilizándolas como unidad de análisis en: A) sustratos (CV=coral vivo, CM= coral muerto y R=roca), B) zona de profundidad, C) estacionalidad y D) área. Las especies más frecuentes se muestran en los diagramas. ....	63

**Figura 9:** Secas. Variación de temperatura e intensidad de luz en la zona somera, media y profunda. Área 1: A, B y C. Área 2: D, E y F.....65 y 66

**Figura 10:** Lluvias. Variación de temperatura e intensidad de luz en la zona somera, media y profunda. Área 1: G, H e I. Área 2: J, K y L.....67 y 68

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Especies algales con importancia comercial en El Zacatoso (Vázquez-Delfín, 2008).....	35
<b>Tabla 2:</b> Categorías de grupos forma-función de macroalgas (Littler y Littler, 1980).....	40
<b>Tabla 3:</b> Especies y grupos forma-función de Rhodophyta, Chlorophyta Ochrophyta registradas en El Zacatoso en secas y lluvias. Fil=filamentosas, Ram=ramificadas, Lam=láminas, CA=calcáreas articuladas y Cos=costrosas.....	49
<b>Tabla 4:</b> Frecuencia relativa de aparición de las especies en los ensamblajes algales en secas y lluvias.....	50
<b>Tabla 5:</b> Especies exclusivas por tipo de sustrato.....	52
<b>Tabla 6:</b> Tipo de ensamblaje por tipo de sustrato y época del año.....	53
<b>Tabla 7:</b> Riqueza específica y tipo de ensamblaje por tipo de sustrato y zona de profundidad en secas. Fil=filamentoso, Ram=ramificado, CA=calcáreo articulado y Cos=Costroso.....	54
<b>Tabla 8:</b> Riqueza específica y tipo de ensamblaje por tipo de sustrato y zona de profundidad en lluvias. Fil=filamentoso, Ram=ramificado, CA=calcáreo articulado y Cos=Costroso.....	55
<b>Tabla 9:</b> PERMANOVA multifactorial de la cobertura total de los ensamblajes algales de El Zacatoso.....	56
<b>Tabla 10:</b> Análisis Post-Hoc de la cobertura total de los ensamblajes algales entre sustratos.....	56

**Tabla 11:** PERMANOVA multifactorial del porcentaje de cobertura de los grupos forma función de los ensambles algales de El Zacatoso.....57

**Tabla 12:** Análisis Post-Hoc del porcentaje de cobertura de los grupos forma-función entre sustratos.....57

**Tabla 13:** PERMANOVA multifactorial de la composición de especies de los ensambles algales de El Zacatoso.....61

## RESUMEN

La presente investigación forma parte del proyecto “Conservación de la Biodiversidad Arrecifal de la Región de Zihuatanejo, Guerrero: Macroalgas, Peces y Corales Hermatípicos” y contribuye al conocimiento en la variación espacio-temporal de la estructura de los ensamblajes algales asociados a diferentes sustratos en la franja arrecifal El Zacatoso.

Se efectuaron dos muestreos en diferentes épocas climáticas, uno en secas (noviembre 2011) y otro en lluvias (junio 2012). Se establecieron dos áreas distintas en la planicie arrecifal y se determinó la estructura de los ensamblajes algales en tres diferentes sustratos (coral vivo, coral muerto y roca) ubicados en tres profundidades distintas (somera, media y profunda).

Se determinaron la composición y riqueza de especies, la abundancia relativa y la distribución de los ensamblajes a través del estudio de grupos forma-función. Además, se midieron factores ambientales como la temperatura, la intensidad de luz y el movimiento de agua.

Para comparar la abundancia relativa de los ensamblajes y los grupos forma-función, se realizó un análisis permutacional de varianza (PERMANOVA por su abreviatura en inglés) multifactorial, seguido de una prueba de rango Post-Hoc, un Análisis no paramétrico Multidimensional (nMDS) y un análisis de Coordenadas Principales (CAP); para comparar la composición de algas se realizaron los mismos análisis, a excepción del último.

Se encontró un total de **56 especies de macroalgas**, de las cuales, 75% pertenecen a Rhodophyta, 16% a Chlorophyta y 9% a Heterokontophyta-Phaeophyceae.

Los ensamblajes del Zacatoso estuvieron dominados por algas calcáreas articuladas y costosas, los cuales fueron más abundantes en el sustrato coral muerto y roca, y el ensamblaje filamentoso fue exclusivo del coral vivo. La riqueza específica fue más alta en el sustrato rocoso, seguido del coral muerto y el coral vivo. Los análisis PERMANOVA y Post-Hoc mostraron que la variación espacio-temporal de los ensamblajes y los grupos forma-función, se debe principalmente a la topografía del sustrato; y las diferencias en la distribución de las especies estuvieron en función de la interacción de todos los factores (sustrato, profundidad, época del año y área del arrecife).

Los factores ambientales no se pudieron relacionar estadísticamente con la variación espacio-temporal de los ensamblajes algales debido a la carencia de datos en registros continuos.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Arrecifes de coral: un ecosistema único y amenazado.

Los arrecifes coralinos representan uno de los ecosistemas con mayor biodiversidad en el mundo, su belleza singular y su gran variedad de colores, formas y texturas los hace un ecosistema único. Las especies arrecifales descritas son aproximadamente noventa mil y se estima que podrían llegar a ser hasta cinco millones de especies, considerando las no descritas aún (Reaka-Kudla, 2001).

La complejidad de los sistemas arrecifales se manifiesta en un sin número de adaptaciones específicas y en una complicada red de interacciones entre sus especies. No obstante, estos ecosistemas actualmente se encuentran severamente amenazados por las actividades antropogénicas, tales como el anclaje de los botes, el buceo, la sobrepesca, la minería y la contaminación. A nivel mundial, la degradación de los arrecifes debido a los impactos de la actividad humana, va en aumento. Por más de una década, se ha publicado el estado actual de los arrecifes en el mundo, en el cual se concluye que el 19% de la superficie total de arrecifes de coral se ha perdido; que el 15% se encuentra en estado crítico o bajo seria amenaza para ser perdido en las próximas dos décadas; que el 20% está bajo amenaza de pérdida en un plazo de 20-40 años, y que el 46% están en relativamente buenas condiciones “sin amenazas identificadas”, salvo las impredecibles sinergias de los impactos resultantes del cambio climático global (Wilkinson, 2008). Además, sumado a éste último, también ha aumentado el número, la intensidad y la frecuencia de perturbaciones naturales como huracanes y ciclones que constituyen un conjunto de eventos estresores que

ponen en riesgo la salud y quizá la sobrevivencia de los arrecifes de coral (Díaz-Pulido y McCook, 2008).

El daño físico a los organismos de los arrecifes coralinos representa una enorme presión sobre este complejo pero frágil ecosistema, ya que su capacidad de respuesta ante diferentes perturbaciones es variada, debido a la diferencia en la estructura de sus comunidades. Es por esto que resulta importante conocer la estructura de algunos de sus ensamblajes más importantes, como los animales y las macroalgas (Muñiz-Irigoyen, 2004).

## **1.2. Macroalgas bentónicas marinas**

Las macroalgas son un grupo muy diverso en especies y formas que ocupan una amplia variedad de hábitats, como zonas someras y profundas del arrecife, así como lugares inter-arrecifales, fondos de arena, fragmentos de coral y sustratos rocosos, entre otros y algunas especies son endolíticas y epífitas de corales y otras algas (Díaz-Pulido y McCook, 2008).

Desde el punto de vista ecológico, las macroalgas juegan un papel muy importante en los arrecifes de coral: contribuyen al 80% de la producción primaria del arrecife, lo cual las convierte en el alimento principal de una amplia variedad de herbívoros, así mismo, constituyen un hábitat para la protección, refugio e incubación de muchas especies de peces e invertebrados de importancia ecológica y económica. También son parte fundamental de los ciclos biogeoquímicos al fijar una considerable cantidad de nitratos y fosfatos (Williams y Carpenter, 1998); y algunas especies juegan un papel crítico en la degradación de los arrecifes, cuando los corales a menudo son reemplazados por abundantes macroalgas que puede ser resultado de la sobrepesca de peces herbívoros, o de la contaminación por exceso

de nutrientes y sedimentos (Reaka-Kudla, 2001; Díaz-Pulido y McCook, 2008; Tribollet *et al.*, 2010).

### **1.3. Ensamblés algales**

Los ensamblés algales presentan variaciones espacio-temporales en su estructura, debido a la interacción con factores bióticos y abióticos que operan en diferentes escalas de espacio y tiempo (Carballo *et al.*, 2002), por ejemplo, la temperatura, la cantidad de luz y la disponibilidad de nutrientes influyen en la capacidad fotosintética, la tasa de crecimiento y la producción de biomasa; la sedimentación causa efectos abrasivos y de sofocamiento, y el pastoreo de herbívoros y la competencia influyen en la pérdida de biomasa (Aronson y Precht, 2001; Airoidi, 2003; McManus y Polsenberg, 2004; Zhuang *et al.*, 2004).

El sustrato que suele ser muy diverso dentro del arrecife (corales vivos, rocas, rodolitos, cascajo, arena, etc.), constituye uno de los factores que afecta la distribución, composición y riqueza de los ensamblés macroalgales. Características como su composición química, posición, inclinación y estabilidad, limitan a las especies que son capaces de asentarse y desarrollarse con especificidad en alguno de ellos, por lo que las especies macroalgales ocupan diferencialmente el sustrato debido a sus particulares capacidades de respuesta y a sus límites de tolerancia que influye en su distribución heterogénea (Baynes, 1999; Glasby, 2000; Benedetti-Cecchi, 2001; Goldberg y Forster, 2002; Irving y Connell, 2002; Piazzini *et al.*, 2004). El ensamblé macroalgal puede ser diferente dependiendo del sustrato y de las condiciones asociadas a éste (Connell, 1983; Aronson y Precht, 2001) en el gradiente de profundidad (calidad y cantidad de luz, turbidez,

temperatura, movimiento de agua, sedimentación, etc.) produciendo en cada caso interacciones muy particulares (Fabricius *et al.*, 2005).

Conocer la estructura (composición, riqueza, abundancia y distribución) y la dinámica espacio-temporal de los ensamblajes macroalgales en diversos tipos de sustrato es importante, ya que permite ampliar el conocimiento sobre el papel ecológico que cumplen los productores primarios dentro del arrecife, el cual, está estrechamente relacionado con las interacciones bióticas que guardan con los corales y otras especies de algas. Por lo tanto, este estudio permitirá incrementar de manera general el conocimiento sobre la dinámica y estructura del sistema arrecifal a través del análisis de la estructura de dos de sus componentes más importantes, las macroalgas y los corales.

En varios arrecifes del mundo, el estudio de los ensamblajes algales se ha abordado de diferentes maneras: a nivel de especie, formas de crecimiento y grupos forma-función. Éste último considera los atributos de las algas, tales como la forma, el tamaño, la dureza, la capacidad fotosintética y el crecimiento, y la resistencia al pastoreo (Littler y Littler, 1980; Díaz-Pulido y McCook, 2008). El estudio a través de grupos funcionales ayuda a comprender la distribución de las comunidades algales y las respuestas a los factores ambientales, ya que las algas con características ecológicas similares tienen respuestas similares a diferentes presiones ambientales, mientras que las algas taxonómicamente relacionadas, a menudo tienen capacidades de respuesta muy diferentes entre ellas (Collado-Vides *et al.*, 2005; Díaz-Pulido y McCook, 2008). El enfoque funcional también es particularmente útil porque las algas son a menudo difíciles de cuantificar e identificar a nivel de especie en el campo, por lo que este enfoque ha sido ampliamente utilizado para caracterizar a las comunidades algales en estudios ecológicos en los arrecifes de coral (Díaz-Pulido y McCook, 2008; Balata *et al.*, 2011).

#### **1.4. Estudio de ensamblajes algales en la región de Zihuatanejo, Guerrero.**

En la región de Zihuatanejo, Guerrero, existen varias localidades con comunidades coralinas con diferente grado de desarrollo y de impacto antropogénico, siendo éste último de gran importancia al considerarse una región de importante destino turístico. En la actualidad se tiene conocimiento general del inventario fitoflorístico de las localidades (Rodríguez *et al.*, 2010a; González Pizá, 2013), sin embargo, se sabe poco aún sobre la estructura y dinámica de los ensamblajes macroalgales, sobre todo en las comunidades coralinas. En la región, los ensamblajes macroalgales están compuestos por una alta diversidad de especies (aproximadamente 163; Mateo-Cid y Mendoza-González, 2012) que se distribuyen en diferentes tipos de sustratos, los cuales conforman un sistema complejo en las comunidades coralinas que han sido poco estudiadas. En este sentido, resulta importante conocer en las comunidades coralinas de Zihuatanejo y en particular en la franja arrecifal de El Zacatoso (López-Pérez *et al.*, 2011), la estructura y dinámica de los ensamblajes de macroalgas y sus relaciones particulares con el tipo de sustrato y los factores ambientales con el fin de plantear perspectivas a mediano y largo plazo que permitan la implementación de planes de monitoreo para su conservación.

La evaluación de la estructura y dinámica de las macroalgas y su relación con los parámetros ambientales en este estudio y en posteriores, arrojará una idea general de la variabilidad natural en el espacio y tiempo de la biota, de la diversidad del lugar, de las condiciones en hábitats particulares y de cambios en el ambiente que nos permitirán caracterizar o diagnosticar a las comunidades algales desde un punto de vista ecológico con base en una serie de parámetros físicos, químicos y biológicos que servirán para establecer una línea base contra la cual se puedan establecer comparaciones para detectar cambios a

través del tiempo. De esta manera, la caracterización y el monitoreo de las comunidades coralinas del Zacatoso y de la estructura de los ensamblajes algales, proveerá información sobre las condiciones ecológicas del arrecife que nos faciliten la detección y/o predicción de tendencias o efectos de diferentes factores, tanto naturales como antropogénicos, en los procesos ecológicos. Así, la información que se pueda llegar a generar a mediano y largo plazo nos ayudará a tomar decisiones apropiadas en cuanto al manejo de un sistema natural, por lo que el monitoreo es una forma de evaluar si los objetivos de una acción se cumplen o se modifican en caso de ser necesario para una correcta implementación de estrategias de protección, conservación, restauración y aprovechamiento de los recursos naturales (López-Santos *et al.*, 2001).

## 2. ANTECEDENTES

En la franja arrecifal de El Zacatoso, las comunidades algales son muy variables en su estructura, resultado de todos aquellos procesos que operan en diferentes escalas de espacio y tiempo (Carballo *et al.*, 2002). Diferentes tipos de ensamblajes algales pueden distinguirse con diferentes interacciones ecológicas resultado del proceso evolutivo (Hay, 1981; Lincoln *et al.*, 1986; Kendrick, 1991; Airoidi *et al.*, 1996; Seoáñez, 1999; Irving y Connell, 2002; Allaby, 2005).

La estructura (composición, riqueza, abundancia y distribución) y la dinámica de los ensamblajes algales está influenciada por diversos factores ambientales, tales como la temperatura, cantidad y calidad de luz, disponibilidad de nutrientes, tasa de sedimentación y la heterogeneidad del sustrato, entre otros, así como por factores biológicos como el pastoreo por herbívoros y la competencia intra e interespecífica (Airoidi, 2003; McManus y Polsenberg, 2004; Zhuang *et al.*, 2004).

La variación estructural de los ensamblajes algales en relación al sustrato ha sido estudiada en diversas partes del mundo. Por ejemplo, en Isla Grande e Islas del Rosario en el Caribe Colombiano, Navas *et al.* (1998) identificaron tres ensamblajes de organismos epilíticos que habitan las superficies expuestas y sombreadas del coral muerto *Acropora palmata*. El primero, dominado por un tapete multiespecífico de algas cespitosas (74% de cobertura), el cual es característico de las superficies iluminadas del coral muerto (EES). El segundo corresponde a las superficies crípticas (superficies inferiores) de los fragmentos sobre el fondo (EC) y está caracterizado por el foraminífero *Homotrema rubrum* (18%). El

tercero corresponde a las superficies sombreadas del coral erecto (EET) y está caracterizado por esponjas (40%), algas costrosas (21%) y algas cespitosas (19%).

Se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de cobertura entre los tres ensambles. El ensamble de las superficies iluminadas es menos diverso que los otros dos, sin embargo, la cobertura de algas cespitosas fue mayor en este ensamble (74%) seguido de las macroalgas (2%) y la fauna sésil (13%). Las algas coralinas costrosas registraron su mayor cobertura en el ensamble críptico (39%), pero alcanzaron una cobertura intermedia (21%) en los tres ensambles. La cobertura cespitosa en EES se explica por las adaptaciones morfológicas de las especies al estrés hidrodinámico al que se encuentran sometidas en la superficie de las ramas del coral muerto.

Los autores concluyeron que la diferencia estructural de los tres ensambles puede estar determinada por la exposición al movimiento de agua, la luz incidente sobre el sustrato, el ángulo de inclinación del sustrato (el cual condiciona la cantidad de sedimento atrapado), el pastoreo y la competencia por espacio.

En el noroeste del Mar Mediterráneo *Piazzì et al.* (2002) evaluaron dos comunidades de macroalgas a diferente profundidad, una somera y una profunda en una plataforma rocosa con condiciones ambientales distintas en cuanto a intensidad de luz y deposición de sedimentos en ambos hábitats. El estudio se llevó a cabo a nivel especie y grupos forma-función.

Encontraron que la comunidad poco profunda, formada por algas cespitosas e incrustantes, tuvo mayor riqueza de especies, mientras que la comunidad de la zona profunda, fue menos diversa y las especies incrustantes fueron las dominantes. Los

resultados obtenidos estuvieron relacionados al estrés causado por la deposición de sedimentos y a la competencia con otras especies cespitosas.

Por otro lado y también en el noroeste del Mar Mediterráneo, Piazzi *et al.* (2004) se analizaron la variación espacio-temporal de los ensambles de macroalgas adheridos a algunas especies de coralinas incrustantes, así como también se analizó la riqueza de otros grupos algales (no adheridos a coralinas incrustantes) en función de dos factores, el hábitat e inclinación del sustrato. Las variaciones de los ensambles de algas adheridos a coralinas incrustantes entre hábitats y al interior de cada hábitat fueron estudiados en plataformas rocosas pronunciadas donde se ubicaron tres hábitats distintos: islas, en la costa y en pequeños bancos cercanos a la costa. Los ensambles fueron estudiados a nivel de grupo forma-función y de especie. Se recolectaron tres réplicas de cada sitio de estudio durante los meses de junio a noviembre y de diciembre a mayo. También midieron el porcentaje total de los ensambles, así como de cada grupo forma-función.

Registraron un total de 99 especies, siendo las más dominantes las especies coralinas incrustantes en los tres sitios y entre las especies más abundantes se encontraron *Flabellia petiolata*(Turra) Nizamuddin, *Meredithia microphylla*(J.Agardh) J.Agardh y *Peyssonnelia* spp. Los autores concluyeron que no existió una diferencia de los ensambles entre hábitats y que la inclinación del sustrato no fue significativo para marcar una diferencia entre éstos, excepto en las especies filamentosas. Sin embargo, hubo una mayor variación de los ensambles dentro de cada hábitat que se reflejó en el porcentaje de cobertura de algunos grupos de forma-función como las filamentosas y los céspedes, así como en el cambio en la composición de los ensambles. Concluyeron que los tres sitios estudiados constituyen una sola comunidad de ensambles de algas coralinas incrustantes y

que los patrones de variación registrados al interior de cada hábitat son debidos probablemente a otros factores bióticos y abióticos como la herbivoría, la intensidad de luz, la sedimentación y la heterogeneidad del sustrato.

También en la Bahía de Nanwan al sur de Taiwán, Chuan-Chuan *et al.* (2004) estudiaron la estructura de un ensamble macroalgal en un arrecife de coral. La profundidad del arrecife estuvo comprendida entre los 0 a 5 m, en el cual se evaluaron tres zonas: la parte superior, la parte inferior y la pendiente. En cada zona se midió el porcentaje de cobertura y la riqueza de los ensambles, así como se realizó el registro de las especies más abundantes considerando especies erectas, especies incrustantes y céspedes y su biomasa. También, se estimaron algunos parámetros ambientales como la temperatura del agua, la salinidad, la intensidad luminosa y la concentración de nutrientes.

Los autores determinaron que la mayor riqueza, el mayor porcentaje de cobertura y la mayor biomasa se presentaron en agosto del 2000 y en la parte inferior del arrecife, y que los ensambles de algas erectas fueron más abundantes que las incrustantes y los céspedes. Entre las especies más abundantes se encontraron *Ulva linza* Linneaus (como *Enteromorpha linza*) *Hypnea charoides* J.V.Lamouroux, *Ulvalactuca* Linneaus, *Sargassum* spp., *Gracilariacoronopifolia* J. Agardh y *Palisada perforata* (Bory de Saint-Vincent) K.W.Nam (como *Laurencia papillosa*) fueron abundantes en la parte inferior y *Halimeda* spp., *Portieria hornemannii* (Lyngbye) P.C.Silva y *Mastophora rosea* (C.Agardh) Setchell en la pendiente del arrecife. Concluyeron que el crecimiento y distribución de las macroalgas se debe principalmente a la influencia de la temperatura, cantidad de luz, salinidad y movimiento de agua en los meses de abril a agosto del 2000.

Más recientemente, en los arrecifes de las islas de Samoa se estudió la variación espacio-temporal en la estructura de los ensamblajes algales (Tribollet *et al.*, 2010). Los resultados mostraron que la mayor diversidad de especies ocurría en las islas más grandes, sin embargo, en todas ellas los céspedes algales, las corallinas incrustantes y *Halimeda sp.* fueron constantes, mientras que otras algas y grupos forma-función fueron representativos de áreas específicas.

Se observó que la diferencia en la estructura de los ensamblajes algales no fue significativa al interior de cada isla, a excepción de una, pero sí lo fue entre islas. Los autores atribuyen estas diferencias a la probable existencia de microambientes con condiciones ambientales particulares que permiten la presencia de una u otras especies.

En México, también se han realizado diversos estudios sobre la variación espacio-temporal de ensamblajes macroalgales. En la Bahía La Paz en el Golfo de California, Cruz-Ayala *et al.* (2001) realizaron una serie de muestreos sistemáticos en diez lugares característicos de ambientes bentónicos. Para determinar la similitud ficoflorística en estos lugares, se consideró la exposición al oleaje, la profundidad y el tipo de sustrato. Las algas fueron recolectadas en la zona submareal e intermareal de dichos ambientes. Se registraron 126 especies, la mayor riqueza se presentó en primavera y la menor en otoño; 28 especies estuvieron restringidas a un solo sitio y 23 a una sola temporada. En los ensamblajes analizados, las especies más abundantes fueron *Amphiroa misakiensis* Yendo, *A. beauvoisii* J.V. Lamouroux y *A. vanbosseae* Me. Lemoine, mientras que *Caulerpa sertularioides* (S.G. Gmelin) M.A. Howe, *Hypnea valentiae* (Turner) Montagne y *Laurencia johnstonii* Setchell & Gardner se registraron en todos los lugares.

Las algas fueron clasificadas en 12 grupos tomando en cuenta el grupo funcional, el tipo de sustrato (rocas, guijarros, conchas, fragmentos de coral) y su rango de distribución. Los autores obtuvieron una distribución diferencial en todos los lugares de estudio, encontrando que aquellos que se ubicaron más cercanos a la costa contaban con el mayor número de especies debido a la temperatura del agua, y al aporte de nutrientes y oxígeno.

El sustrato rocoso presentó el mayor número de especies de todos los grupos funcionales debido a la topografía del sustrato para la adherencia de discos de fijación y el aporte de agua rica en nutrientes y oxígeno; mientras que los sustratos guijarros, conchas y fragmentos de coral ocuparon el segundo lugar en riqueza de especies, principalmente de algas filamentosas. En el sustrato blando (arena-fango) se encontraron algas filamentosas, foliosas y ramificadas adaptadas al movimiento de agua, turbidez y aporte de sedimentos.

En conclusión, la Bahía de la Paz presenta una amplia variedad de ambientes y tipos de sustrato, así como condiciones climáticas y oceanográficas cambiantes durante todo el año, las cuales influyen en las estrategias de adaptación de los organismos y permiten la convivencia en ambientes con condiciones similares.

Por otro lado, en un arrecife de Tuxpan, en Veracruz, se analizaron las macroalgas asociadas a cuatro hábitats (González-Gándara *et al.*, 2007) efectuando 20 muestreos en la planicie arrecifal sobre pastos marinos, restos de coral, roca coralina-corales y roca coralina-erizos, durante el periodo de abril a junio de 2005.

Los cuatro ambientes registraron diferencias en la estructura y composición de las comunidades de macroalgas. Se determinaron 39 especies algales. La riqueza específica fue más alta en los ambientes de roca coralina-corales y restos de coral. En el segundo se registraron 13 especies, siendo más frecuentes *Dictyosphaeria ocellata*, (M.A. Howe)

Olsen-Stojkovich *D. Versluysii* Weber-van Bosse, *Caulerpa sertularioides* f. *brevipes* (J. Agardh) Svedelius, *C. sertularioides* f. *farlowii* (Weber-van Bosse) Børgesen y *Halimeda opuntia* (Linnaeus) J.V. Lamouroux. En el ambiente de roca coralina corales, se observaron 37 especies, resaltando la presencia de: *Liagora ceranoides* J.V. Lamouroux, *Dictyota menstrualis* (Hoyt) Schnetter, Hörning & Weber-Peukert, *D. bartayresiana* J.V. Lamouroux, *D. pulchella* Hörnig & Schnetter, *Padina sanctae-crucis* Børgesen, *Caulerpa cupressoides* v. *mamillosa* (Montagne) Weber-van Bosse, *C. racemosa* (Forsskål) J. Agardh y *Halimeda opuntia*.

Las diferencias en la composición específica de los cuatro hábitats puede deberse a la naturaleza y movilidad del sustrato, la intensidad de luz y la presión de herbivoría de los erizos. En particular, la topografía irregular del tipo de sustrato rocoso permite el asentamiento de algas y eso explica la mayor riqueza encontrada en este ambiente. La zona de pastos marinos favorece el crecimiento de grandes masas algales (*Halimeda opuntia*) debido a la poca exposición al sol. La movilidad de la arena permite el crecimiento de algas con rizomas horizontales e intrincados, y la presión depredadora de erizos define la baja riqueza en el ambiente de roca coralina-erizos.

No obstante, los estudios encaminados a conocer el efecto que tiene el tipo de sustrato sobre la composición y distribución de los ensamblajes macroalgales y sus variaciones en el espacio y tiempo en los sistemas arrecifales, aún son escasos. Particularmente, en el Pacífico Tropical Mexicano, y específicamente en la región de Zihuatanejo, no existen estudios sobre el tema, es por ello que debido a la falta de conocimiento sobre la distribución de las comunidades algales, es que se propone la presente investigación que tiene como objetivo principal evaluar la composición,

abundancia y distribución de los ensamblajes algales en los diferentes sustratos en la franja arrecifal El Zacatoso, Zihuatanejo, Guerrero.

## **JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA**

Los arrecifes de coral representan uno de los ecosistemas marinos con mayor biodiversidad en el planeta, dentro de los cuales ocurren interacciones complejas entre distintos grupos de organismos como algas y corales. La estructura de los ensamblajes algales y sus variaciones está determinada por diversos factores físicos como el sustrato, la profundidad, la iluminación, entre otros, y biológicos como la competencia, la coexistencia y la depredación. Sin embargo, estos ecosistemas están siendo afectados por la actividad antropogénica y el cambio climático, de tal manera que el conocimiento sobre el papel que juegan factores como el tipo de sustrato, la luz, la temperatura y el movimiento de agua sobre la dinámica de la estructura de los ensamblajes algales del arrecife coralino El Zacatoso es fundamental para generar conocimiento básico sobre su riqueza, composición, abundancia y distribución; información elemental para la comprensión de la estructura y dinámica de la comunidad algal. Este estudio pretende dar a conocer uno de los primeros informes que impulsará la construcción de una línea base sobre el conocimiento de los productores primarios para la posterior elaboración de programas de monitoreo y planes de manejo sustentable para su conservación, ya que el estudio en espacio y tiempo de estos parámetros, nos ayudarán a comprender de manera más precisa el efecto que tienen sobre la estructura de los ensamblajes, y los cuales nos permitirán detectar posibles agentes perturbadores mediante la caracterización, diagnóstico y monitoreo de las macroalgas, así como prevenir riesgos y/o resolver problemas mediante el seguimiento a largo plazo del proceso de desarrollo de las comunidades algales y coralinas.

Algunas observaciones preliminares del crecimiento de coral de la región de Zihuatanejo muestran síntomas de cambios estructurales en las comunidades asociadas al arrecife, principalmente de algas, las cuales, al parecer están siendo modificadas en riqueza y composición específica, presencia de diferentes grupos forma-función cambiantes en espacio y tiempo, y diferentes niveles de sobrecrecimiento algal sobre tejido coralino, etc., observaciones que requieren de explicación y eventualmente también, de medidas de manejo para su conservación.

Se espera que el conocimiento de la relación entre los ensamblajes algales y los factores ambientales permitirá conocer los patrones espaciales y temporales que determinan la dinámica de los ensamblajes algales del Zacatoso.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. General

Evaluar si los diferentes sustratos que se encuentran en el arrecife coralino de El Zacatoso, **determinan la composición, la riqueza, la abundancia y la distribución de los ensamblajes algales**, así como **estimar la variación espacio-temporal de éstos parámetros estructurales y su relación con la temperatura, la cantidad de luz, el movimiento de agua y la profundidad.**

#### 3.2. Específicos

Determinar la composición y riqueza específica, y la variación espacio-temporal de los ensamblajes algales en tres tipos de sustratos fijos que además representan ensamblajes algales visibles: coral vivo, coral muerto y roca.

Determinar la abundancia de grupos forma-función de los ensamblajes en tres tipos de sustrato y su variación espacio-temporal.

Determinar los patrones de distribución de las especies, los grupos forma-función y los ensamblajes algales en tres tipos de sustratos y su variación espacio-temporal.

Establecer la relación entre la composición, la riqueza, la abundancia y la distribución de los grupos de forma-función y los ensamblajes algales en tres tipos de sustrato con los factores ambientales y su variación espacio-temporal.

## **4. ÁREA DE ESTUDIO**

### **4.1. Litoral de Guerrero**

El litoral de Guerrero ubicado en el Pacífico Sur Mexicano es de aproximadamente 500 km de longitud desde la desembocadura del Río Balsas en el noreste, hasta el límite del municipio de Cuajinicuilapa en el sureste. Posee una extensión de plataforma continental de 5 402 km<sup>2</sup> aproximadamente y es caracterizado como un litoral rocoso con acantilados (Salcedo *et al.*, 1988). Es uno de los menos estudiados en el Pacífico Sur de México, sin embargo, es un área de interés, ya que representa un puente entre las comunidades de fauna de coral bien desarrolladas, compuestas por especies típicas de los arrecifes de Centroamérica, y otras características de las regiones del norte, así, representa la composición por especies menos complejas, y por lo general, dominado por algunos taxones de los géneros *Pocillopora*, *Porites* y *Pavona* principalmente (López-Pérez *et al.*, 2011).

### **4.2. Franja arrecifal El Zacatoso**

En esta investigación, el área de estudio se delimitó a la localidad de El Zacatoso, Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero (17° 39' 16" N y 101° 37' 19.5" O) que se encuentra al Noroeste de la Bahía de Zihuatanejo (Vázquez-Delfín, 2008; Google Earth 6, 2011) (Figura 1).



Figura 1. Área de estudio. Estado de Guerrero (arriba), Ixtapa-Zihuatanejo (centro) y El Zacatoso (abajo).

El tipo de clima de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García(1973) es *Aw* correspondiente al clima caliente subhúmedo con lluvias en verano. La localidad experimenta una temporada de secas que comienza en el mes de noviembre y finaliza en abril, y una estación lluviosa (800-1500mm/ año), de mayo a octubre (López-Pérez *et al.*, 2011). Recientemente el INEGI reportó que para el 2011, la temperatura media de noviembre a abril fue de 27°C, una velocidad del viento media de 9.5 km/h y una nubosidad del 70%, y para el 2012, la temperatura media de mayo a octubre fue de 29°C, con una velocidad del viento promedio de 11km/h y una nubosidad del 85% (INEGI, 2011 y 2012).

La temperatura promedio del agua de mar es de 16°C en invierno y 23°C en verano con pequeñas oscilaciones térmicas anuales menores a 2°C. La salinidad máxima en abril es de 32 UPS y en octubre es de 33 UPS(López-Pérez *et al.*, 2011). El principal aporte fluvial lo constituye el Río Balsas localizado a 14 km de Isla Ixtapa, el que junto a otros arroyos pequeños vierten agua dulce durante el periodo de lluvias. En la Bahía de Zihuatanejo también descargan algunos arroyos a través de tres pequeños esteros o lagunetas (Baqueiro y Stuardo, 1977).

El arrecife de franja El Zacatoso se ubica paralelo a la línea de costa del islote y frente a la playa El Palmar en el continente. Es un arrecife que no se ajusta totalmente a las descripciones de ninguno de los cuatro tipos de arrecifetradicionalmente considerados, ya que el coral abarca una extensión pequeña que se asemeja a un arrecife de franja, por lo que se le ha denominado así (López-Pérez *et al.*, 2011), donde el sustrato de roca volcánica se encuentra cubierto por una primera capa de coral muerto (crecimientos anteriores de coral) y éste último por el armazón actual de coral vivo. Cuenta con una pendiente de

aproximadamente 45° y abarca una extensión de 200 m, se encuentra delimitado por una cadena de morros de diferentes tamaños.

Cuenta con una profundidad que va desde los 2 hasta los 10 m aproximadamente (Rodríguez *et al.*, 2010b; observación personal).

La franja arrecifal presenta diferentes tipos de sustrato, entre los que destacan rocas de diversos tamaños, arena, colonias de corales vivos y fragmentos de corales muertos de diferentes especies, cascajo y rodolitos, todos los elementos fragmentarios se distribuyen irregularmente dentro de la superficie arrecifal. El coral vivo se encuentra distribuido en una zona del arrecife y está dominada por colonias del género *Pocillopora* en un 90% aproximadamente y por algunos manchones de especies de *Pavona* y *Porites*, que a su vez, se intercalan con fragmentos de roca y coral muerto (González Pizá, 2013; observación personal).

Las especies de coral representadas son: *Pocillopora capitata*, *P. damicornis*, *P. effusus*, *P. elegans*, *P. eydouxi*, *P. inflata*, *P. meandrina*, *P. verrucosa*, *Pavona gigantea*, *Porites lobata* y *Porites panamesi*, los cuales se distribuyen heterogéneamente al interior del arrecife. Además, se han registrado aproximadamente 60 especies de peces, 16 de equinodermos y 20 de moluscos (Salcedo *et. al.*, 1988; González Pizá, 2013; observación personal).

Con respecto a la flora, se presentan numerosas especies algales, 55 aproximadamente, algunas de ellas con importancia comercial (Vázquez-Delfín, 2008; observación personal) (Tabla 1).

Por otra parte, El Zacatoso es un arrecife con diversas actividades turísticas, tales como la práctica de buceo, snorkel y pesca, ya que al presentar poca profundidad y una extensión relativamente grande de coral, representa un sitio ideal para la realización de

estas actividades (Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Guerrero, Fases I y II del POET., 2007).

Tabla 1. Especies algales con importancia comercial en El Zacatoso (Vázquez-Delfin, 2008).

Especie	Uso
<i>Caulerpa racemosa</i>	Comestible, industria farmacéutica y agropecuaria y utilidad médica.
<i>Caulerpa sertularioides</i>	Comestible, industria farmacéutica y agropecuaria y utilidad médica.
	Utilidad médica
<i>Halimeda discoidea</i>	Utilidad médica
<i>Chnoospora minima</i>	
<i>Dictyota dichotoma</i>	Utilidad médica
<i>Padina durvillaei</i>	Comestible, industria farmacéutica y agropecuaria y utilidad médica.
<i>Padina gymnospora</i>	Utilidad médica
<i>Padina crispata</i>	Utilidad médica
<i>Sargassum liebmani</i>	Extracción de ficoloides, industria farmacéutica y agropecuaria y utilidad médica.
<i>Centroceras clavulatum</i>	Utilidad médica
<i>Gelidium pusillum</i>	Extracción de ficoloides
<i>Gracilaria crispata</i>	Extracción de ficoloides, industria farmacéutica y agropecuaria y utilidad médica.
<i>Hypnea pannosa</i>	Extracción de ficoloides
<i>Hypnea spinella</i>	Extracción de ficoloides
<i>Hypnea johnstonii</i>	Extracción de ficoloides
<i>Lithophyllum sp.</i>	Industria farmacéutica y agropecuaria

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

La metodología empleada en este trabajo está contemplada en tres fases: fase de campo, fase de laboratorio y fase de gabinete.

### **5.1. Fase de campo**

El estudio se realizó en dos salidas de campo, una en época de secas (noviembre 2011) y otra en época de lluvias (junio 2012) utilizando equipo autónomo de buceo (SCUBA).

Con la intención de ubicar las áreas de trabajo dentro del arrecife y el reconocimiento de los tres tipos de sustrato, se llevó a cabo una salida prospectiva a El Zacatoso. La prospección también fue útil para definir y precisar la metodología de la presente investigación, la cual se describe a continuación:

#### **5.1.1. Muestreo de ensamblajes algales**

Se ubicaron dos áreas dentro del arrecife en función del grado de daño observado, el cual se basó en la presencia de blanqueamiento de coral en las dos épocas climáticas; el área 1 presentó un daño más alto que el área 2. Ambas áreas se encontraron paralelas a la línea de costa y separadas 50 m aproximadamente (Figura 2A). A su vez, se reconocieron los tres tipos de sustrato: coral vivo (CV), coral muerto (CM) y roca (R). El reconocimiento se realizó a la vista y a tientes, debido a la falta de visibilidad y a la cobertura algal en el caso de la roca.

Por cada área del arrecife se establecieron 3 categorías relativas de profundidad: somera (2-4m), media (4-5m) y profunda (5-7m).

La recolección de ensambles algales se hizo por cada tipo de sustrato, cada uno contó con 3 réplicas en cada una de las tres profundidades y por cada área del arrecife, lo cual hizo un total de 108 muestras de macroalgas (Figura 2B). La recolecta de ensambles asociados a los tipos de sustrato se hizo a través de un muestreo al azar empleando unidades de muestreo de 10 x 10 cm. En el sustrato coral vivo, sólo se recolectaron algas asociadas a colonias de *Pocillopora* y de la parte superior de las ramas, ya que las algas sólo se observaron en dicha parte. En el coral muerto, también se usaron colonias de *Pocillopora* y se recolectaron ramas completas debido a la presencia de las algas en toda la rama. En la roca volcánica, la primera capa del sustrato contenido en la unidad de muestreo fue desprendido con las algas. Cada unidad de muestreo fue removida con martillo, cincel, espátula y pinzas, y depositada en una bolsa plástica previamente etiquetada. El material recolectado se preservó en formol glicerinado al 4% con agua de mar.

A)



B)

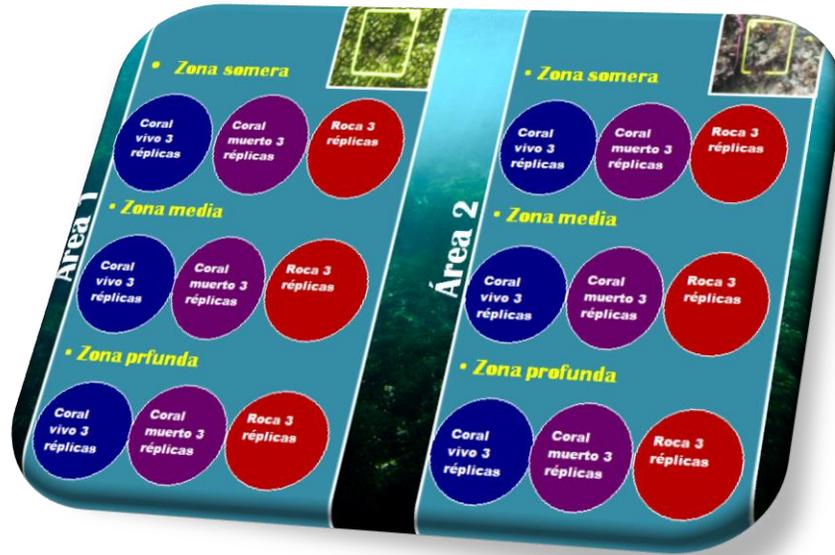


Figura 2.A) Ubicación de áreas 1 y 2, y B) diseño de muestreo de campo.

### 5.1.2. Cobertura total de ensamblajes algales

Se registró “in situ” el porcentaje de cobertura total de los ensamblajes algales en cada sustrato, el cual se hizo en función del área total de la unidad de muestreo, tomando en cuenta que la unidad muestral representaba el 100% (Figura 3). Los datos se registraron en un formato de campo previamente diseñado (Anexo 1).

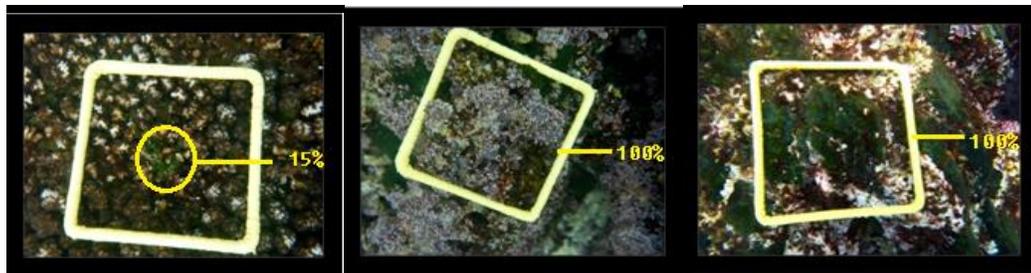


Figura 3. Porcentaje de cobertura de ensamblaje de macroalgas creciendo sobre coral vivo (arriba a la izquierda), coral muerto (centro) y roca (derecha). Los marcos metálicos miden 10 x 10 cm.

### 5.1.3. Medición de factores ambientales

Para la medición de los factores ambientales por intervalo de profundidad en las dos áreas del arrecife se empleó lo siguiente:

- a) Un profundímetro digital Seatech.
- b) Dos sensores HOBO para medir temperatura e intensidad de luz, los cuales fueron colocados dentro del área donde se recolectaron las muestras. Los instrumentos se programaron previamente para hacer lecturas cada 10 segundos y las mediciones se realizaron durante el tiempo de inmersión, el cual estuvo comprendido entre las 13:50 y 17:00 horas (Figura 4).
- c) Para medir el movimiento de agua, se utilizaron dos esferas de escayola por rango de profundidad y por área. Se colocaron cercanos a los HOBOS (Figura 5). Las esferas fueron fabricadas empleando yeso piedra dental “super dent”, una pelota squash partida por la mitad, segmentos de alambre de 30 cm y una estufa ModeloLab Tech. En un recipiente se hizo una mezcla de yeso dental y agua hasta que ésta adoptara una consistencia espesa y homogénea. Posteriormente las dos partes de la pelota se rellenaron con la mezcla y en un extremo se insertó un segmento de alambre a manera de soporte. Las esferas fueron secadas primeramente a temperatura ambiente para después retirar el molde de pelota y ser secadas en la estufa a una temperatura de 60°C durante 24 horas. Por último, las esferas fueron marcadas con un número correspondiente.

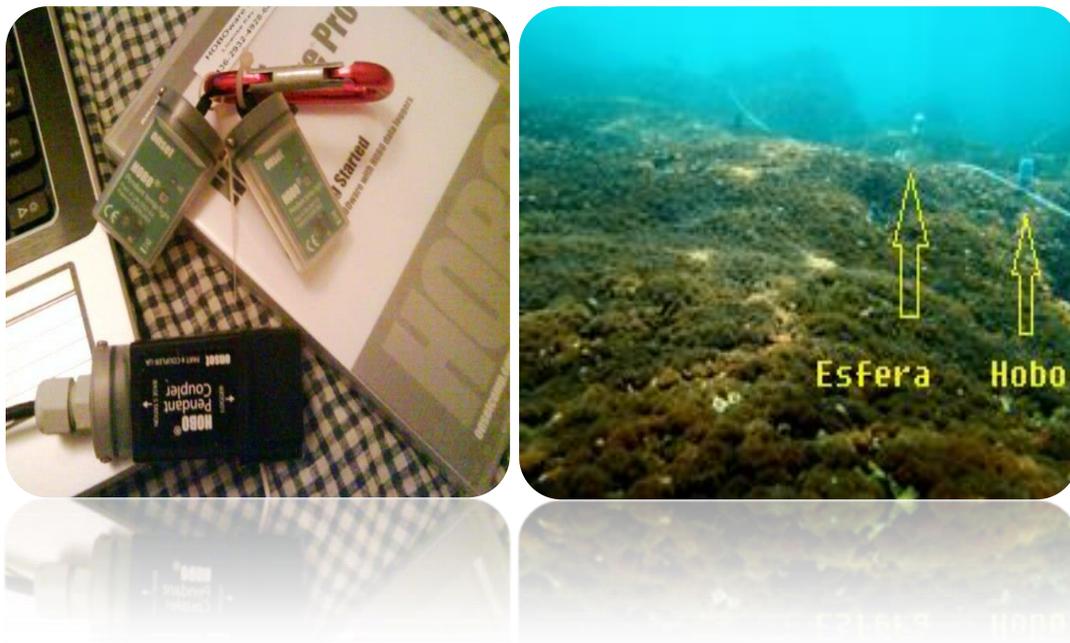


Figura. 4. Registradores HOBOS Pendant en gabinete (izquierda) y ubicación de HOBOS y esferas de escayola en el campo (derecha).

## 5.2. Fase de laboratorio

### 5.2.1. Identificación de grupos forma-función

La identificación de los grupos forma-función presentes en las muestras recolectadas se hizo con base en las categorías propuestas de Littler y Littler (1980)(Tabla 2).

Tabla 2. Categorías de grupos forma-función de macroalgas (Littler y Littler, 1980).

Grupo Funcional	Morfología externa	Anatomía	Textura	Ejemplos
Láminas	Delgadas, tubulares y láminas	Ecorticadas, una o varias células de grosor	Suave	<i>Ulva</i> , <i>Enteromorpha</i> , <i>Dictyota</i>

Filamentosas	Delicadamente ramificadas	Uniseriadas, multiseriadas o ligeramente corticadas	Suave	<i>Centroceras,</i> <i>Polysiphonia,</i> <i>Chaetomorph,</i> <i>Microcoleus</i>
Ramificadas	Ramificadas toscamente, erectas	Corticadas	Carnosa, tiesa	<i>Laurencia,</i> <i>Chondria,</i> <i>Caulerpa,</i> <i>Penicillus,</i> <i>Gracilaria</i>
Gruesas y carnosas	Hojas gruesas y ramificadas	Diferenciadas, densamente corticadas, paredes gruesas	Carnosa, elástica	<i>Laminaria, Fucus,</i> <i>Udotea, Chondrus</i>
Calcáreas articuladas	Articuladas, calcáreas y erectas	Genícula calcificada, intergenícula flexible con hileras de células paralelas	Pétreo	<i>Corallina,</i> <i>Halimeda,</i> <i>Galaxaura</i>
Costrosas	Postradas, incrustantes	Calcificadas o no calcificadas con hileras de células paralelas	Pétreo o dura	<i>Lithothamnion,</i> <i>Ralfsia,</i> <i>Hildenbrandia</i>

---

### 5.2.2. Determinación de la abundancia de los grupos forma-función

Los grupos forma-función presentes se registraron por unidad muestral (cuadro de 10 x 10 cm), se registraron los grupos forma-función presentes. Con una cuadrícula de 10 x 10 cm dividida en 100 cm<sup>2</sup>, se determinó la abundancia (porcentaje de cobertura) de cada

uno de los grupos forma-función encontrados en cada ensamble recolectado (Anexo 2; Tablas A2.1 y A2.2).

### **5.2.3. Identificación de los tipos de ensambles algales**

En cada muestra, se determinó el tipo de ensamble algal dominante en función del grupo forma-función con mayor abundancia; así mismo, se registró el resto de los ensambles, siguiendo como base los grupos forma-función encontrados dentro de la misma muestra.

### **5.2.4. Identificación taxonómica de las especies algales**

La identificación taxonómica de las especies algales se realizó empleando microscopios estereoscópico y óptico (Figura 5), y con la ayuda de descripciones y claves taxonómicas apropiadas para los ejemplares recolectados correspondientes (Dawson, 1953; 1954; 1960; 1961; 1962; 1963a y 1963b; Abbott y Hollenberg, 1976; Abbott y Dawson, 1978; Senties Granados, 1995; Senties Granados y Dreckmann, 2008). Así mismo, se realizaron cortes histológicos y preparaciones semipermanentes para observar caracteres internos de ejemplares, en los cuales los caracteres externos no fueron suficientes para identificar a las especies algales (Figura 5).

La nomenclatura actualizada y la ubicación taxonómica de las especies de macroalgas se obtuvieron de la página electrónica AlgaeBase (Guiry y Guiry 2012). A cada una de las especies algales se le asignó el grupo forma-función al que pert

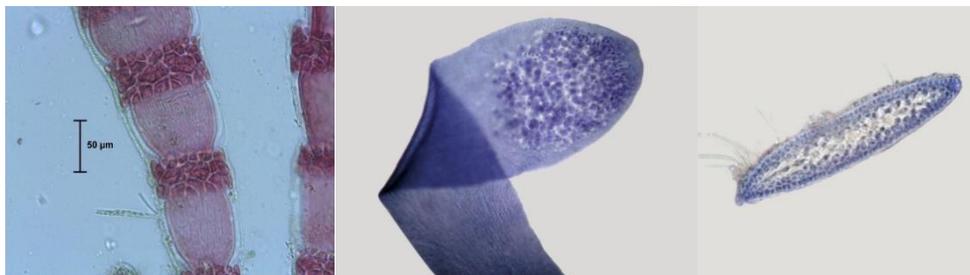


Figura. 5. Muestra en proceso (arriba), observaciones al microscopio de *Ceramium equisetoides* (abajo a la izquierda), parte apical de *Gelidium pusillum* (abajo al centro) y corte transversal de *Gelidium pusillum* (abajo a la derecha).

### 5.2.5. Movimiento de agua

El movimiento de agua se calculó con base en la pérdida de peso de las esferas de escayola provocada por el movimiento del agua durante un periodo de tiempo (estandarizado al tiempo de inmersión), para calcular así el desgaste promedio en cada zona de profundidad. Para esto, asumimos que la disminución de la masa de cada esfera está

linealmente relacionada con el movimiento de agua y que la diferencia entre el peso inicial y el final es independiente de la dirección y la velocidad de flujo. De esta manera, se tiene la siguiente ecuación:

$$M_t = 0.0178 (T^\circ) + 3.7337$$

Donde:

$M_t$  = la pérdida de masa de las esferas debido a su disolución.

$T^\circ$  = temperatura promedio del medio donde fueron expuestas.

La  $T^\circ$  está basada en una calibración previa que se hizo para conocer la pérdida de peso únicamente por el efecto de la temperatura. Los dos valores numéricos corresponden a constantes obtenidas durante la fase experimental del desgaste de las esferas por disolución.

Los dos valores numéricos corresponden a constantes obtenidas durante la fase experimental del desgaste de las esferas por disolución.

Posteriormente, en cada esfera se restará el peso inicial menos el peso final para obtener el desgaste de la esfera y el resultado será el peso neto causado por el movimiento de agua. Éste último se transformará en porcentaje considerando el peso inicial de la esfera como el 100% (García Martínez, 2009).

### **5.3. Fase de gabinete**

#### **5.3.1. Captura de datos**

Los datos de formato de campo: cobertura total del ensambles algal y abundancia de grupos forma-función (Anexo 2), composición y riqueza de especies, fueron capturados en hojas de cálculo Microsoft Excel v.7.

Los registros de luz y temperatura fueron analizados con el programa HOBOWare 2011 (Onset Computer Corp.) (Anexo 5).

Los valores de pérdida de masa de las esferas de escayola fueron registrados en el programa Microsoft Excel v. 7 (Anexo 5).

#### **5.3.2. Análisis de datos y pruebas estadísticas**

Para comprobar la normalidad de los datos, se realizaron las pruebas de Kruskal-Wallis, Lilliefors y Shapiro-Wilk utilizando el software STATISTICA 6 (StatSoft, 2002), con el fin de determinar la estadística a utilizar para responder a las preguntas de investigación y objetivos del presente trabajo. Una vez comprobada la no-normalidad de los datos, se determinó la aplicación de pruebas no paramétricas.

##### **5.3.2.1. Ensamblés algales**

Para determinar si había diferencias significativas en el porcentaje de cobertura total de los ensambles, se realizó un Análisis Permutacional de Varianza multifactorial (PERMANOVA) considerando cuatro factores fijos: tipo de sustrato (coral vivo, coral muerto y roca), profundidad (somera, media y profunda), época del año (secas y lluvias) y área (área 1 y 2). Este método no-paramétrico tiene como característica la falta de supuestos estadísticos; el estadístico de prueba utilizado es un análogo a la F de Fisher

(pseudo F) calculado a partir de distancias euclidianas (Anderson, 2001). Una vez determinadas las diferencias, se identificó qué factores eran distintos entre sí mediante un análisis Post-Hoc, también usando el PERMANOVA (Clarke y Gorley, 2006). Para realizar los análisis mencionados anteriormente se usó el programa PRIMER v.6.(Primer-E, Ltd, 2009)

### **5.3.2.2. Grupos forma-función**

Para identificar las diferencias en las abundancias de los grupos forma-función, primeramente se llevó a cabo el Análisis Permutacional de Varianza multifactorial (PERMANOVA) considerando los cuatro factores antes mencionados. Los grupos forma-función y sus porcentajes de cobertura fueron colocados como variables. Para observar si hubo diferencias entre factores fijos, se hizo una prueba de rango Post-Hoc seguido de un Análisis no paramétrico Multidimensional (nMDS) para observar patrones de agrupamiento de grupos forma-función en algunos de los factores. Después se realizó un análisis de coordenadas principales (CAP por sus siglas en inglés, Canonical Analysis of Principal Coordinates), para comprobar el ordenamiento de los grupos forma-función en los factores fijos. Por último, se realizó un análisis SIMPER, que permitió conocer el porcentaje de contribución de los grupos forma-función a la similitud y el porcentaje de contribución de diferencia entre los factores. Los análisis mencionados se realizaron con el software PRIMER v.6. (Primer-E, Ltd, 2009).

### **5.3.2.3. Especies algales**

Para observar las diferencias en composición de especies entre los ensamblajes algales, se realizó un Análisis Permutacional de Varianza multifactorial (PERMANOVA) colocando a las especies como variables. Para observar si hubo diferencias entre factores fijos, se hizo una prueba de rango Post-Hoc seguido de un Análisis no paramétrico Multidimensional (nMDS), para observar patrones de agrupamiento de las especies en algunos de los factores. Los análisis mencionados se realizaron con el software PRIMER v.6. (Primer-E, Ltd, 2009).

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Composición y riqueza de especies

Se registró 56 especies de algas submareales: 41 especies (75%) pertenecen a Rhodophyta, 9 (16%) a Chlorophyta y 5 (9%) a Heterokontophyta-Phaeophyceae (Figura 6).

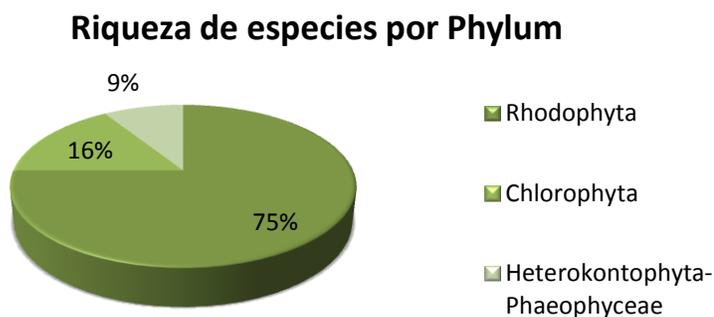


Figura 6. Riqueza de especies por Phylum.

La riqueza global de especies fue similar en ambas épocas, se observaron 46 taxa en secas y 45 en lluvias, y se compartieron 33 especies. El sustrato rocoso presentó la mayor riqueza de especies algales, seguido del coral muerto y el coral vivo. Más del 50% de las especies fueron filamentosas (Tabla 3).

Tabla 3. Especies y grupos forma-función de Rhodophyta, Chlorophyta y Heterokontophyta-Phaeophyceae registradas en El Zacatoso en secas y lluvias.

Fil=filamentosas, Ram=ramificadas, Lam=láminas, CA=calcáreas articuladas y Cos=costrosas.

Phylum y especie	Secas			Lluvias			Grupo forma-función
	Coral Vivo	Coral Muerto	Roca	Coral Vivo	Coral Muerto	Roca	
<b>Rhodophyta</b>							
<i>Acrochaetium</i> sp.					X		Fil
<i>Amphiroa misakiensis</i>	X	X	X	X	X	X	CA
<i>Antithamionella breviramosa</i>			X		X		Fil
<i>Ceramium affine</i>		X		X	X		Fil
<i>Ceramium caudatum</i>	X						Fil
<i>Ceramium clarionense</i>		X		X	X		Fil
<i>Ceramium dawsonii</i>	X						Fil
<i>Ceramium equisetoides</i>					X	X	Fil
<i>Ceramium gracillimum</i>	X	X	X	X	X	X	Fil
<i>Ceramium hamatispinum</i>					X		Fil
<i>Ceramium serpens</i>						X	Fil
<i>Ceramium zacae</i>		X	X	X			Fil
<i>Ceramium</i> sp.			X				Fil
<i>Ceratodictyon variable</i>		X	X			X	Ram
<i>Champia parvula</i>			X			X	Ram
<i>Chondria</i> sp.	X	X	X			X	Ram
<i>Dasya</i> sp.		X	X			X	Fil
<i>Erythrocladia irregularis</i>			X				Fil
<i>Gelidiella hancockii</i>			X				Ram
<i>Gelidium pusillum</i>	X	X	X	X	X	X	Ram
<i>Gracilaria</i> aff. <i>textorii</i>	X		X		X	X	Ram
<i>Gracilaria veleroae</i>	X		X	X	X	X	Ram
<i>Grateloupia</i> aff. <i>filicina</i>			X			X	Ram
<i>Grateloupia</i> sp. <i>Laminada</i>					X	X	Ram
<i>Gymnogongrus</i> aff. <i>crustiformis</i>		X	X				Ram
<i>Halymenia</i> sp.	X	X	X		X	X	Lam
<i>Herposiphonia littoralis</i>			X		X	X	Fil
<i>Herposiphonia plumula</i>		X	X	X	X	X	Fil
<i>Herposiphonia tenella</i>			X			X	Fil
<i>Hpnea johnstonii</i>			X			X	Ram
<i>Hypnea pannosa</i>	X	X	X	X	X	X	Ram
<i>Hypnea spinella</i>			X				Ram
<i>Jania decussato-dichotoma</i>			X		X	X	CA
<i>Laurencia</i> sp.				X		X	Ram
<i>Murrayellopsis</i> aff. <i>dawsonii</i>			X			X	Fil
<i>Polysiphonia flaccidissima</i>	X			X	X	X	Fil
<i>Polysiphonia mollis</i>				X			Fil
<i>Polysiphonia subtilissima</i>		X	X	X	X	X	Fil
<i>Porphyra</i> sp.	X					X	Lam
<i>Rhizoclonium</i> sp.			X				Fil
Rodofitas costrosas	X	X	X	X	X	X	Cos
<i>Tayloriella dictyurus</i>			X				Fil

## Chlorophyta

<i>Bryopsis pennata</i>			X			X	Fil
<i>Caulerpa sertularioides</i>	X	X	X	X	X	X	Fil
<i>Cladophora microcladioides</i>	X	X	X	X		X	Fil
<i>Cladophora sericea</i>			X	X		X	Fi
Clorofitas costrosas					X		
Clorofita sp.	X	X	X				Cos
<i>Codium setchellii</i>				X			Fil
<i>Codium setchellii</i>	X	X	X			X	Cos
<i>Derbesia marina</i>	X	X	X	X		X	Fil
<i>Ulva californica</i>				X		X	Lam

## Heterokontophyta-

### Phaeophyceae

<i>Dictyopteris delicatula</i>			X			X	Lam
<i>Dictyota dichotoma</i>	X				X	X	Lam
Feoficeas costrosas		X	X			X	Cos
<i>Padina crispata</i>						X	Lam
<i>Sphacelaria rigidula</i>		X					Fil

**Riqueza de especies**                      **19**   **23**                      **37**                      **20**                      **24**                      **37**

Las especies que se presentaron con mayor frecuencia en secas fueron: *Amphiroa misakiensis*, rodofitas costrosas, *Caulerpa sertularioides*, *Hypneapannosa* J. Agardh, *Gelidium pusillum* (Stackhouse) Le Jolis, *Polysiphonia subtilissima* Montagne, *Cladophora microcladioides* F.S. Collins y *Ceramium gracillimum* C. Agardh; y en lluvias: *Amphiroa misakiensis*, *Caulerpa sertularioides*, *Gelidium pusillum*, *Polysiphonia subtilissima*, *Hypnea pannosa*, *Cladophora microcladioides* y rodofitas costrosas (Tabla 4).

Tabla 4. Frecuencia relativa de aparición de las especies en los ensamblajes algales en secas y lluvias.

Especie	Frecuencia relativa	
	Secas	Lluvias
<i>Acrochaetium</i> sp.	0	1
<i>Amphiroa misakiensis</i>	46	41
<i>Antithamnionella breviramosa</i>	2	1
<i>Bryopsis pennata</i>	4	1
<i>Caulerpa sertularioides</i>	22	21

<i>Ceramium affine</i>	1	5
<i>Ceramium caudatum</i>	1	0
<i>Ceramium clarionense</i>	1	6
<i>Ceramium dawsonii</i>	1	0
<i>Ceramium equisetoides</i>	0	4
<i>Ceramium gracillimum</i>	11	10
<i>Ceramium hamatispinum</i>	0	1
<i>Ceramium serpens</i>	0	3
<i>Ceramium zacaе</i>	2	2
<i>Ceramium</i> sp.	1	1
<i>Ceratodictyon variabile</i>	3	1
<i>Cladophora microcladioides</i>	15	17
<i>Cladophora sericea</i>	3	7
<i>Champia parvula</i>	2	1
<i>Chondria</i> sp.	0	1
Clorofita sp.	0	1
Clorofitas costrosas	5	0
<i>Codium setchellii</i>	5	1
<i>Derbesia marina</i>	8	8
<i>Dasya</i> sp.	5	1
<i>Dictyopteris delicatula</i>	2	3
<i>Dictyota dichotoma</i>	1	2
<i>Erythrocladia irregularis</i>	2	0
Feofíceas costrosas	4	4
<i>Gelidiella hancockii</i>	1	0
<i>Gelidium pusillum</i>	16	21
<i>Gracilaria aff. textorii</i>	4	2
<i>Gracilaria veleroae</i>	2	4
<i>Grateloupia aff. filicina</i>	3	1
<i>Grateloupia</i> sp. <i>Laminada</i>	0	6
<i>Gymnogongrus aff. crustiformis</i>	2	0
<i>Halymenia</i> sp.	7	2
<i>Herposiphonia littoralis</i>	1	4
<i>Herposiphonia plumula</i>	6	7
<i>Herposiphonia tenella</i>	6	1
<i>Hpnea johnstonii</i>	2	0
<i>Hypnea pannosa</i>	18	18
<i>Hypena spinella</i>	3	0
<i>Jania decussato-dichotoma</i>	2	3
<i>Laurencia</i> sp.	0	2
<i>Murrayellopsis aff. dawsonii</i>	1	2
<i>Padina crispata</i>	0	3
<i>Polysiphonia flaccidissima</i>	1	4
<i>Polysiphonia mollis</i>	0	1

<i>Polysiphonia subtilissima</i>	16	19
<i>Porphyra</i> sp.	1	2
<i>Rhizoclonium</i> sp.	1	0
Rodofitas costrosas	38	11
<i>Sphacelaria rigidula</i>	1	0
<i>Tayloriella dictyurus</i>	1	0
<i>Ulva californica</i>	0	5

Se encontraron especies exclusivas en cada tipo de sustrato en ambas épocas. Las especies exclusivas de secas fueron 18 y de lluvias fueron 12. El sustrato rocoso presentó el mayor número de especies exclusivas en ambas fechas (Tabla 5).

Tabla 5. Especies exclusivas por tipo de sustrato.

	<b>Coral Vivo</b>	<b>Coral Muerto</b>	<b>Roca</b>
<b>Secas</b>	<i>Ceramium dawsonii</i> <i>Ceramium caudatum</i>	<i>Ceramium affine</i>	<i>Bryopsis pennata</i> <i>Ceramium</i> sp. <i>Cladophora sericea</i> <i>Champia parvula</i> <i>Erythrocladia irregularis</i> <i>Gelidiella hancockii</i> <i>Grateloupia filicina</i> <i>Herposiphonia tenella</i> <i>Hypnea johnstonii</i> <i>Hypnea spinella</i> <i>Jania decussato-dichotoma</i> <i>Murrayellopsis aff. dawsonii</i> <i>Rhizoclonium</i> sp. <i>Sphacelaria rigidula</i> <i>Tayloriella dictyurus</i>
<b>Lluvias</b>	<i>Ceramium zacaе</i> <i>Polysiphonia mollis</i>	<i>Acrochaetium</i> sp. <i>Ceramium hamatispinum</i>	<i>Bryopsis pennata</i> <i>Ceramium serpens</i> <i>Champia parvula</i> <i>Chondria</i> sp. <i>Grateloupia aff. filicina</i> <i>Herposiphonia tenella</i> <i>Murrayellopsis aff. dawsonii</i> <i>Padina crispata</i>

## 6.2. Grupos forma-función y ensambles por tipo de sustrato

Los ensambles caracterizados de los tres sustratos, coral vivo, coral muerto y roca registraron los mismos grupos forma-función en las dos épocas del año: filamentosas, ramificadas, láminas, calcáreas articuladas y costrosas. Respectivamente el ensamble dominado por algas calcáreas articuladas, costrosas y ramificadas fueron los de mayor porcentaje de cobertura. El ensamble dominado por filamentos sólo se presentó en el coral vivo, y el ensamble de calcáreas articuladas y costrosas fueron más frecuentes en el coral muerto y la roca; y las láminas no fueron dominantes en los tres sustratos, por lo que no se determinó a ningún ensamble en función de este grupo algal (Tabla 6).

Tabla 6. Tipo de ensamble dominante por tipo de sustrato y época del año.

Tipo de ensamble	Tipo de sustrato					
	Coral Vivo		Coral Muerto		Roca	
	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas	Lluvias
<b>Filamentoso</b>	X	X				
<b>Ramificado</b>	X	X	X	X	X	X
<b>Láminas</b>			No se presentó			
<b>Calcáreo articulado</b>	X	X	X	X	X	X
<b>Costroso</b>	X		X	X	X	X

## 6.3. Tipo de ensamble por sustrato, profundidad y área

En la temporada de secas, los tres sustratos registraron la menor cantidad de especies en la zona profunda. En las dos áreas, el ensamble filamentoso sólo se registró en el coral vivo y en la zona media, predominando el calcáreo articulado en la zona somera y profunda; en el coral muerto y la roca, el ensamble costroso y calcáreo articulado fueron dominantes en las tres profundidades (Tabla 7).

Tabla 7. Riqueza específica y tipo de ensamble dominante por tipo de sustrato y zona de profundidad en secas. Fil=filamentoso, Ram=ramificado, CA=calcáreo articulado y Cos=Costroso.

<b>Secas</b>						
		<b>Área 1</b>			<b>Área 2</b>	
	<b>Somero</b>	<b>Medio</b>	<b>Profundo</b>	<b>Somero</b>	<b>Medio</b>	<b>Profundo</b>
<b>Coral Vivo (CV)</b>						
Riqueza de especies	8	8	3	8	12	5
Tipo de ensamble	CA	Fil	CA	CA	Fil	CA
<b>Coral Muerto (CM)</b>						
Riqueza de especies	12	10	10	11	8	5
Tipo de ensamble	CA	Cos	CA	CA	CA	Cos
<b>Roca (R)</b>						
Riqueza de especies	13	16	14	15	19	14
Tipo de ensamble	Ram	Cos	Cos	Cos	CA	Cos

En la época de lluvias, la diferencia fue mayor en el número de especies en los tres sustratos en todas las profundidades. Nuevamente, el ensamble filamentoso sólo se observó en el coral vivo y en el área 1, mientras que el área 2, estuvo dominada por algas articuladas. Éstas últimas también predominaron en todas las profundidades del coral muerto, y los ensamblajes articulados y costrosos sobresalieron en el sustrato rocoso (Tabla 8).

Tabla 8. Riqueza específica y tipo de ensamble dominante por tipo de sustrato y zona de profundidad en lluvias. Fil=filamentoso, Ram=ramificado, CA=calcáreo articulado y Cos=Costroso.

<b>Lluvias</b>						
		<b>Área 1</b>			<b>Área 2</b>	
	<b>Somero</b>	<b>Medio</b>	<b>Profundo</b>	<b>Somero</b>	<b>Medio</b>	<b>Profundo</b>
<b>Coral Vivo (CV)</b>						
Riqueza de especies	5	12	7	9	9	7
Tipo de ensamble	Fil	CA	Fil	CA	CA	CA
<b>Coral Muerto (CM)</b>						
Riqueza de especies	4	7	4	6	4	17
Tipo de ensamble	CA	CA	CA	CA	CA	CA
<b>Roca (R)</b>						
Riqueza de especies	7	15	4	16	18	16
Tipo de ensamble	Cos	Ram	CA	Cos	CA	Cos

## 6.4. Análisis estadísticos

### 6.4.1. Ensamblés algales

La prueba de PERMANOVA indicó que hay diferencias significativas ( $p < 0.05$ ; Tabla 9) en el porcentaje de cobertura total (Anexo 2) de los ensamblés en el factor sustrato, mientras que la prueba de rango Post-Hoc indicó que el coral vivo y el coral muerto, y el coral vivo y la roca eran significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ; Tabla 10).

Tabla 9. PERMANOVA multifactorial de la cobertura total de los ensamblajes algales de El Zacatoso.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Pseudo-F	P(permutacional)
Sustrato	2	5.3154	2.6577	37.261	<b>0.001</b>
Profundidad	2	0.10952	5.48E-02	0.76771	0.469
Época del año	1	2.11E-02	2.11E-02	0.29599	0.589
Área	1	9.54E-02	9.54E-02	1.3376	0.234
Sustrato-profundidad	4	0.15723	3.93E-02	0.55108	0.707
Sustrato-época	2	0.27045	0.13522	1.8958	0.168
Sustrato-área	2	5.29E-02	2.64E-02	0.37063	0.679
Profundidad-época	2	8.21E-02	4.10E-02	0.57545	0.581
Profundidad-área	2	8.91E-02	4.45E-02	0.62439	0.546
Época-área	1	5.38E-02	5.38E-02	0.75398	0.397
Sustrato-profundidad-época	4	7.35E-02	1.84E-02	0.25777	0.901
Sustrato-profundidad-área	4	0.22367	5.59E-02	0.78397	0.539
Sustrato-época-área	2	0.32872	0.16436	2.3044	0.108
Profundidad-época-área	2	0.1572	7.86E-02	1.102	0.31
Sustrato-profundidad-época-área	4	0.33132	8.28E-02	1.1613	0.337
Res	72	5.1355	7.13E-02		
Total	107	12.497			

Valores en negritas significativamente diferentes

Tabla 10. Análisis Post-Hoc de la cobertura total de los ensamblajes algales entre sustratos.

Sustratos	t	Permutaciones	P(MC)	P(permutacional)
CV-CM	7.3231	988	0.001	<b>0.001</b>
CV-R	7.5242	998	0.001	<b>0.001</b>
CM-R	0.92562	995	0.374	0.377

CV=coral vivo, CM= coral muerto y R=roca  
Valores en negritas significativamente diferentes

#### 6.4.2. Grupos forma-función

El análisis PERMANOVA mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ; Tabla 11) en los porcentajes de cobertura (Anexo 2) de los grupos forma-función en el sustrato y la época del año. La prueba Post-Hoc indicó que todos los tipos de sustrato tienen diferencias

significativas ( $p < 0.05$ ; Tabla 12) en los porcentajes de cobertura de sus grupos forma-función.

Tabla 11. PERMANOVA multifactorial del porcentaje de cobertura de los grupos forma-función de los ensamblajes algales de El Zacatoso.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Pseudo-F	P(permutacional)
Sustrato	2	44242	22121	14.02	<b>0.001</b>
Profundidad	2	4334.2	2167.1	1.3735	0.199
Época del año	1	21276	21276	13.485	<b>0.001</b>
Área	1	1215.5	1215.5	0.77036	0.575
Sustrato-profundidad	4	9554.4	2388.6	1.5139	0.084
Sustrato-época	2	13095	6547.4	4.1497	<b>0.001</b>
Sustrato-área	2	3459.7	1729.8	1.0964	0.349
Profundidad-época	2	6114.7	3057.3	1.9377	0.05
Profundidad-área	2	5879.8	2939.9	1.8633	0.056
Época-área	1	3379.3	3379.3	2.1418	0.085
Sustrato-profundidad-época	4	6914.9	1728.7	1.0957	0.365
Sustrato-profundidad-área	4	9414	2353.5	1.4916	0.097
Sustrato-época-área	2	5142.9	2571.5	1.6298	0.125
Profundidad-época-área	2	1584.8	792.38	0.50221	0.862
Sustrato-profundidad-época-área	4	5262.8	1315.7	0.83389	0.664
Res	72	1.14E+05	1577.8		
Total	107	2.54E+05			

Valores en negritas significativamente diferentes

Tabla 12. Análisis Post-Hoc del porcentaje de cobertura de los grupos forma-función entre sustratos.

Sustratos	t	Permutaciones	P(MC)	P(permutacional)
CV-CM	3.7886	999	0.001	<b>0.001</b>
CV-R	4.0871	997	0.001	<b>0.001</b>
CM-R	3.1103	999	0.001	<b>0.001</b>

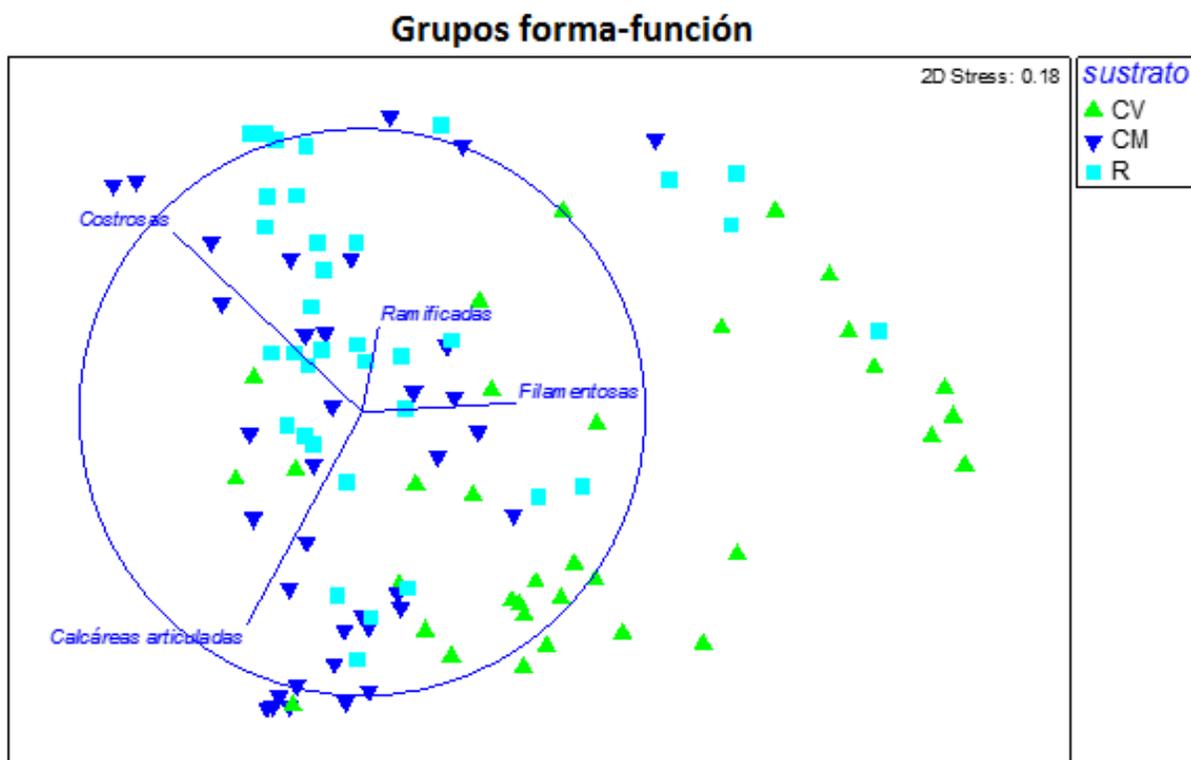
CV=coral vivo, CM= coral muerto y R=roca

Valores en negritas significativamente diferentes

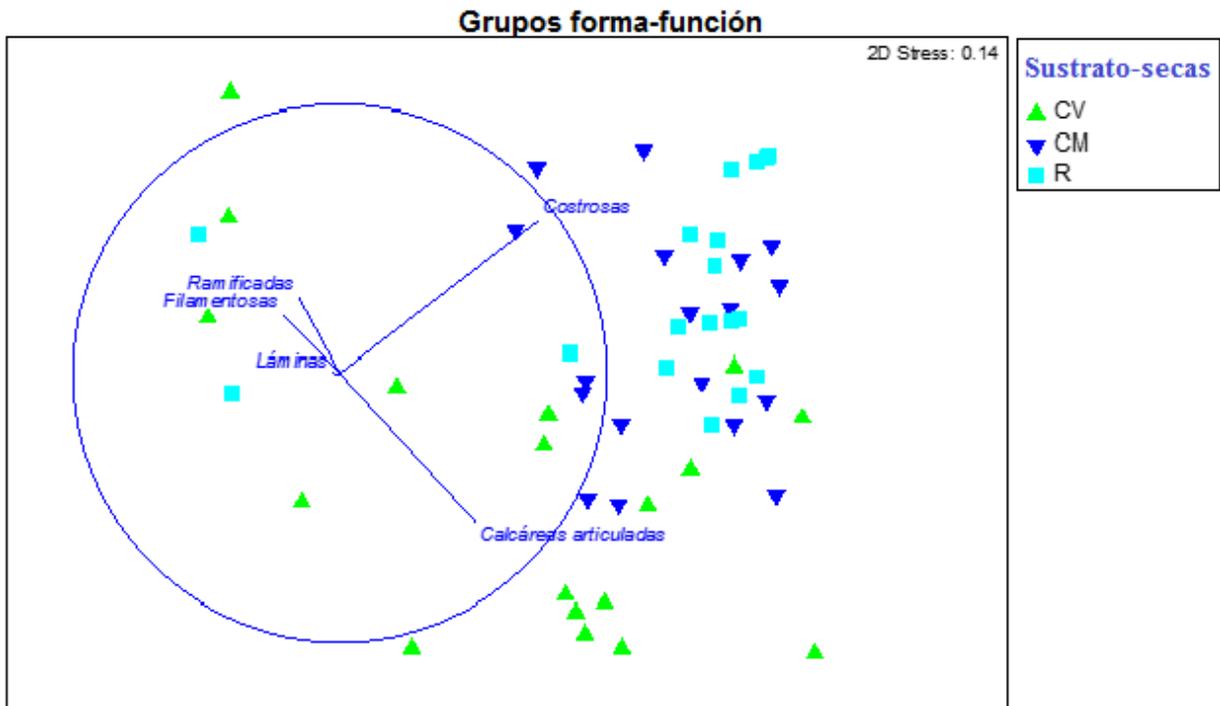
El análisis SIMPER mostró un bajo porcentaje de similitud y alto de disimilitud dentro y entre sustratos (Anexo 3; Tablas 3.1 y 3.2), y dentro y entre épocas del año (Anexo 3; Tablas 3.3 y 3.4), lo cual indica que las abundancias de los grupos forma-función son

significativamente diferentes en esos factores fijos, lo que se puede visualizar en el análisis nMDS para el sustrato (Figura 7A), para la interacción sustrato-estacionalidad en secas (Figura 7B), el sustrato vs estacionalidad en lluvias (Figura 7C), y sustrato vs estacionalidad CAP (Figura 7D). En el diagrama 7A se puede observar un panorama general de la distribución de los grupos funcionales en los tres sustratos; en los diagramas 7B y 7C se puede apreciar una relativa separación de los sustratos y las épocas del año utilizando a los grupos forma-función y sus porcentajes de cobertura como unidades de análisis. Estos resultados se comprueban con el análisis PERMANOVA (Tabla 11) y la prueba de rango Post-Hoc (Tabla 12).

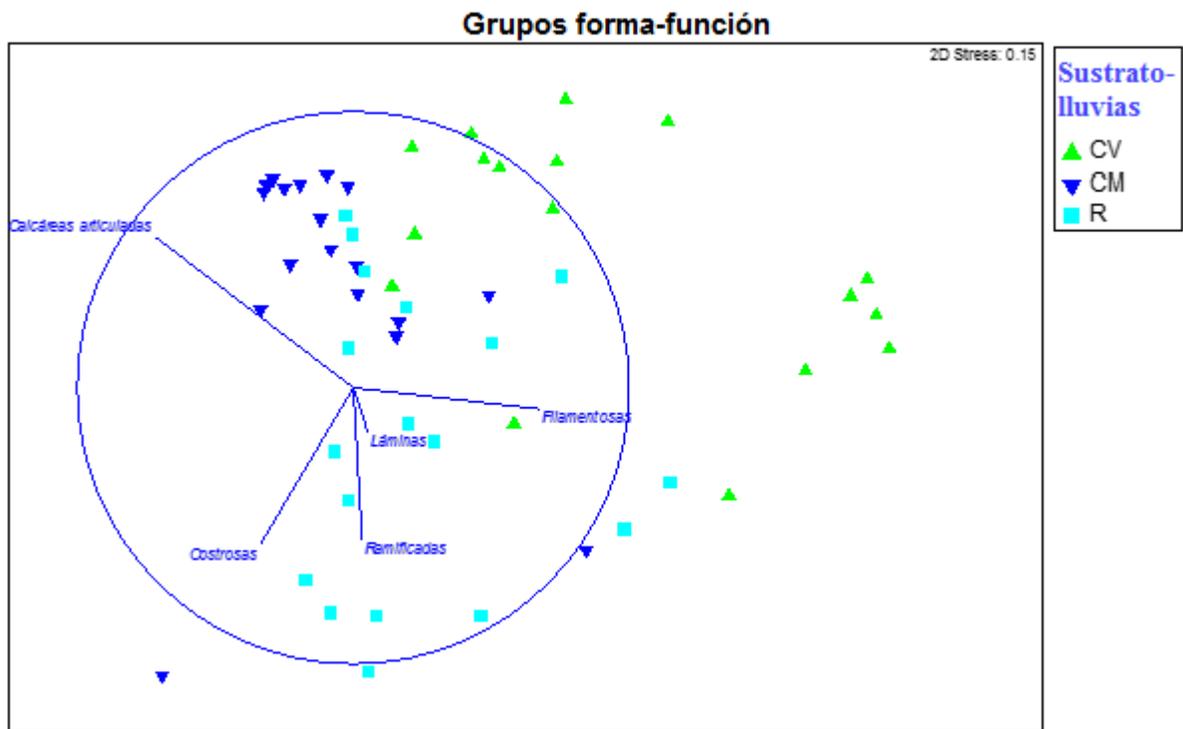
A)



B)



C)



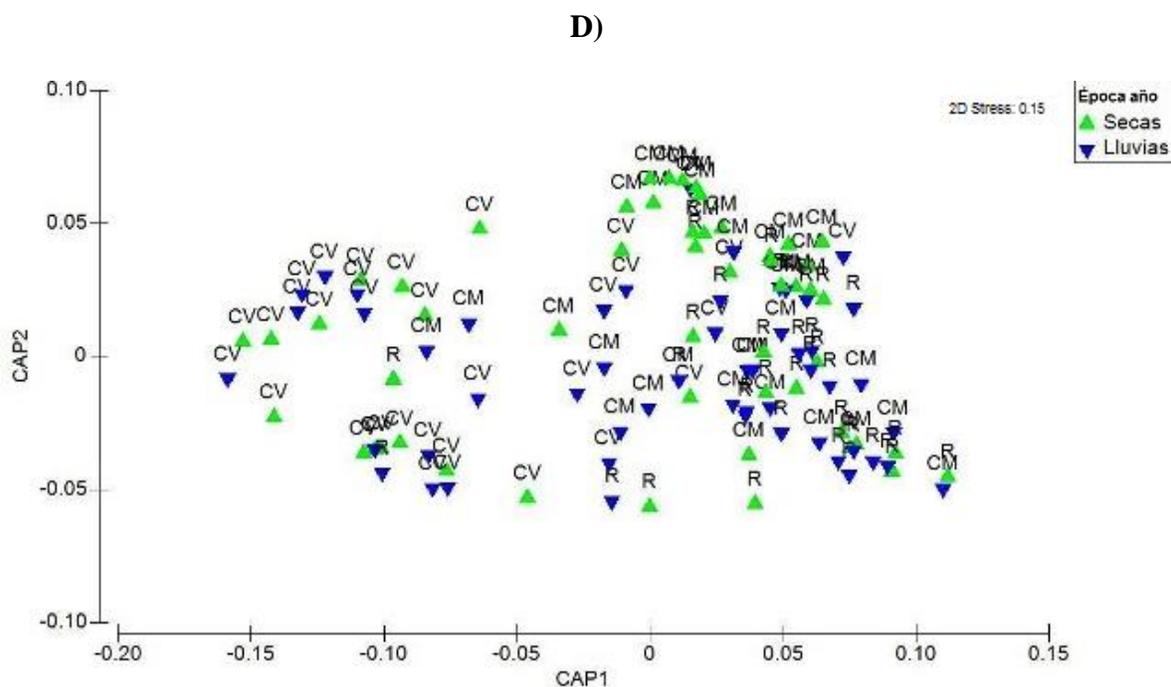


Figura 7. A) nMDS de la abundancia de los grupos forma-función en los tres sustratos, B) interacción sustrato-estacionalidad en secas, C) interacción sustrato-estacionalidad en lluvias; y D) CAP de las abundancias de los grupos forma-función en los tres sustratos en secas y lluvias. CV=coral vivo, CM= coral muerto y R= roca.

### 6.4.3. Especies algales

El análisis PERMANOVA mostró diferencias significativas en la composición de especies en todos los factores ( $p < 0.05$ ; Tabla 13). La prueba de rango Post-Hoc mostró que para la interacción de los factores sustrato-profundidad, existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre el coral vivo y la roca, y entre el coral muerto y la roca de las zonas somera y profunda (Anexo 4; Tabla 4.1 y 4.3 respectivamente), mientras que la zona media indica diferencias significativas entre todos los sustratos (Anexo 4; Tabla 4.2). Y para la interacción de los factores sustrato-época, la composición de especies es significativamente diferente entre sustratos durante secas y lluvias (Anexo 4, Tablas 4. 4 y 4.5). La comprobación de la diferencia del PERMANOVA la visualizamos en el análisis

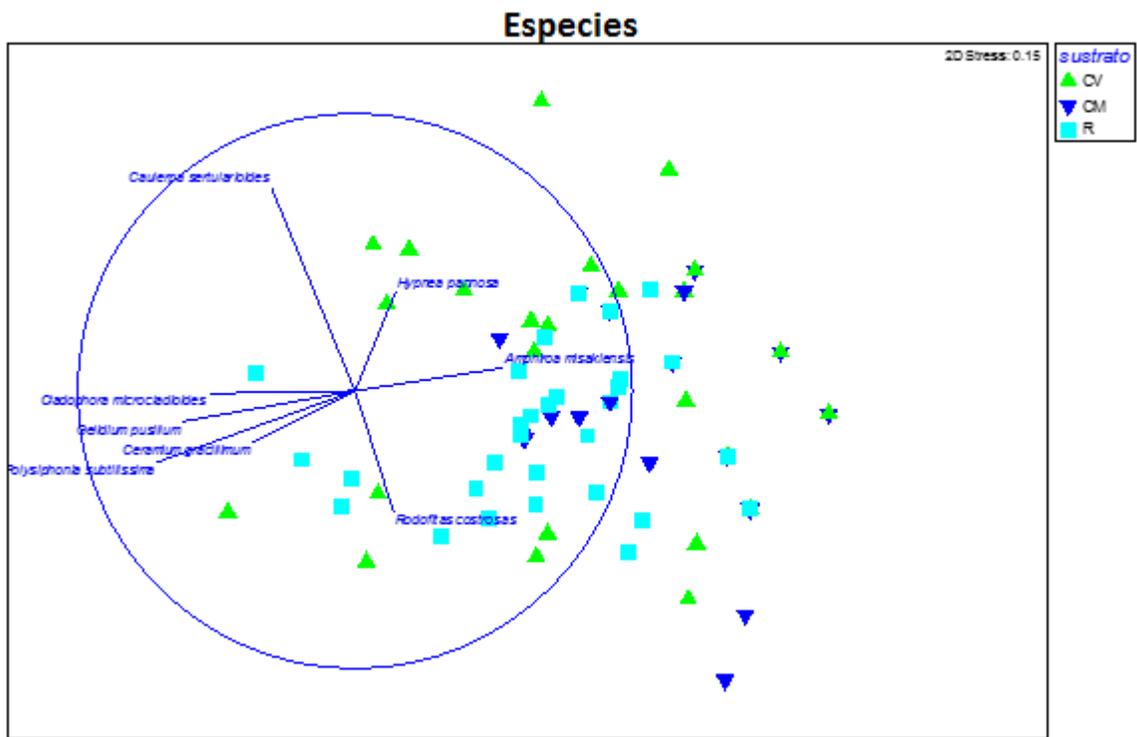
nMDS, donde se puede observar una relativa separación en la composición de especies entre sustratos (Figura 8A), profundidades (Figura 8B), estacionalidad(Figura 8C) y áreas (Figura 8D), siendo las especies más frecuentes las que se muestran en los diagramas.

Tabla 13. PERMANOVA multifactorial de la composición de especies de los ensamblajes algales de El Zacatoso.

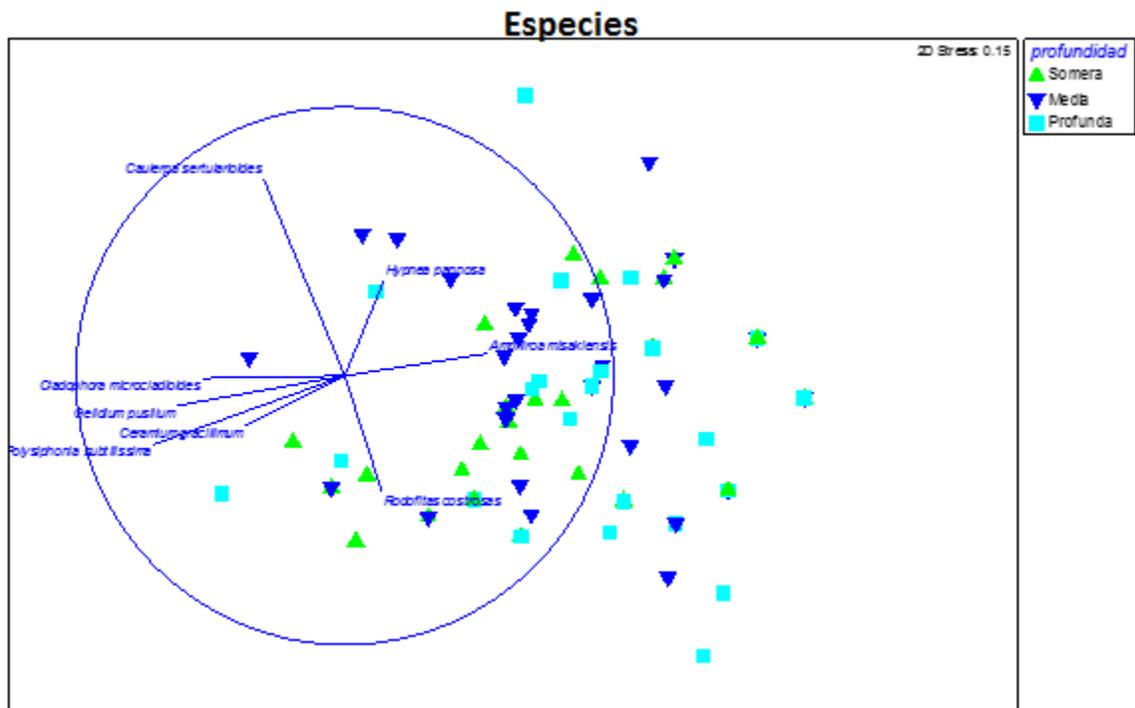
<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>Pseudo-F</b>	<b>P(permutacional)</b>
Sustrato	2	35269	17635	10.864	<b>0.001</b>
Profundidad	2	10800	5400.2	3.3268	<b>0.001</b>
Época del año	1	11493	11493	7.0804	<b>0.001</b>
Área	1	7127.7	7127.7	4.391	<b>0.002</b>
Sustrato-profundidad	4	13430	3357.5	2.0684	<b>0.001</b>
Sustrato-época	2	14581	7290.7	4.4914	<b>0.001</b>
Sustrato-área	2	5586.8	2793.4	1.7209	0.059
Profundidad-época	2	6016.8	3008.4	1.8533	<b>0.033</b>
Profundidad-área	2	6518.4	3259.2	2.0078	<b>0.033</b>
Época-área	1	3507.5	3507.5	2.1608	0.06
Sustrato-profundidad-época	4	9087.4	2271.8	1.3996	0.121
Sustrato-profundidad-área	4	10284	2570.9	1.5838	0.056
Sustrato-época-área	2	7965.1	3982.5	2.4534	<b>0.008</b>
Profundidad-época-área	2	3242.3	1621.2	0.99872	0.452
Sustrato-profundidad-época-área	4	10710	2677.5	1.6495	<b>0.031</b>
Res	72	1.17E+05	1623.2		
Total	107	2.72E+05			

Valores en negritas significativamente diferentes

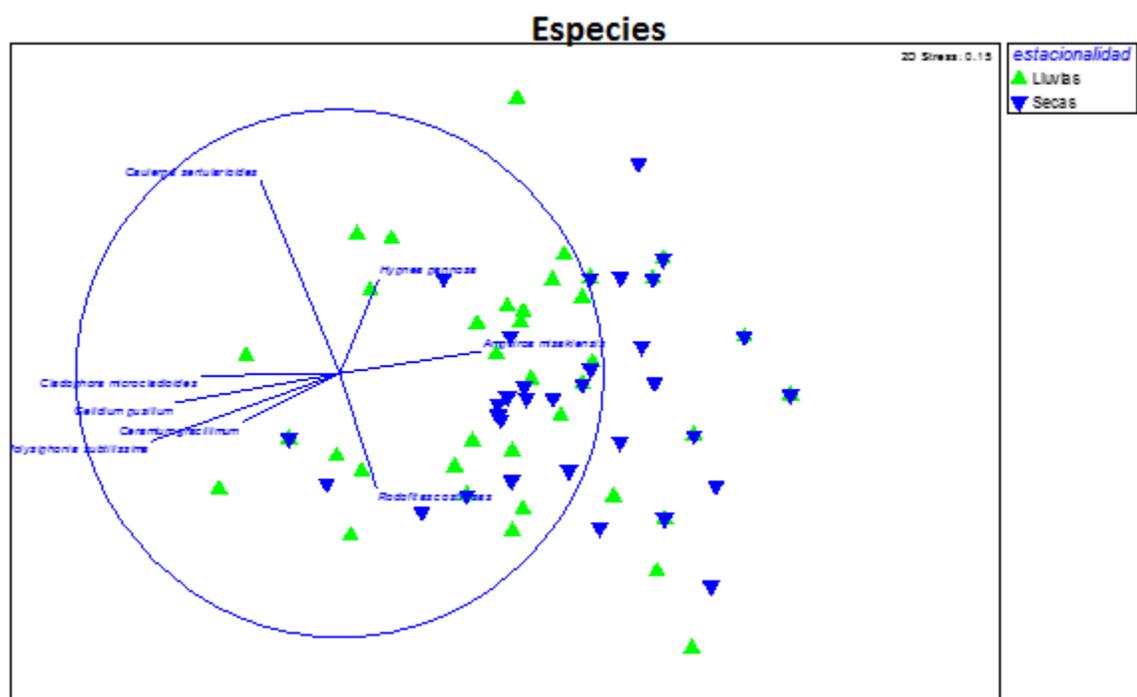
A)



B)



C)



D)

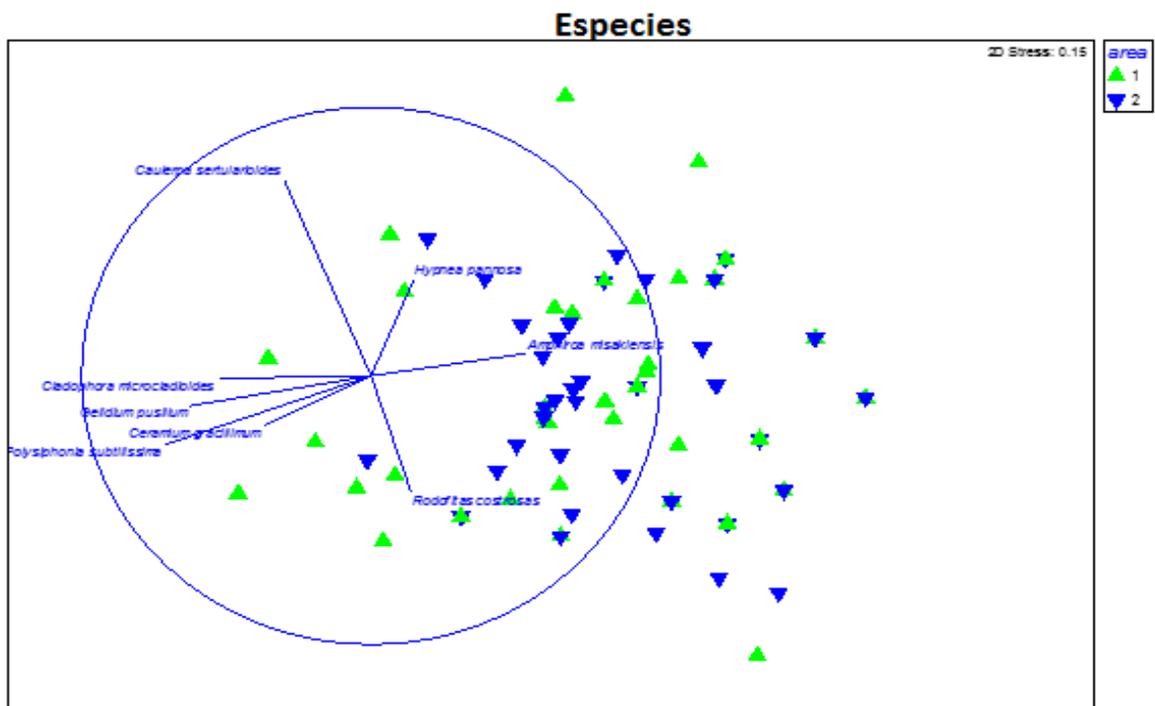


Figura 8. nMDS de la composición de especies utilizándolas como unidad de análisis en: A) sustratos (CV=coral vivo, CM= coral muerto y R=roca), B) zona de profundidad, C) estacionalidad y D) área. Las especies más frecuentes se muestran en los diagramas.

## **6.5. Temperatura, intensidad de luz y movimiento de agua**

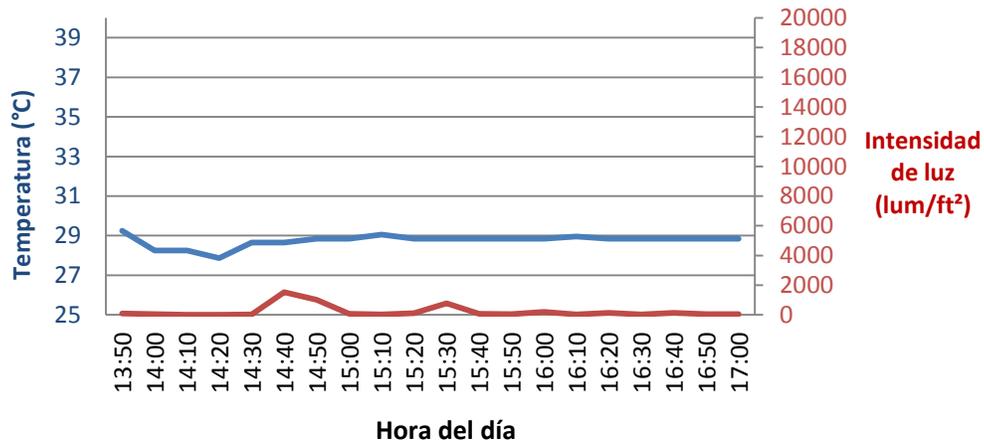
Los datos de temperatura, luz y movimiento de agua no fueron considerados para aplicarles pruebas estadísticas, ya que son insuficientes en cantidad y escasos en registro de tiempo para establecer su relación con la variación espacio-temporal de la estructura de los ensambles algales en los diferentes sustratos, por lo cual, fueron utilizados como datos puntuales para la caracterización medioambiental de la localidad en las dos épocas del año. No obstante, se describen a continuación.

### **6.5.1. Temperatura e intensidad de luz**

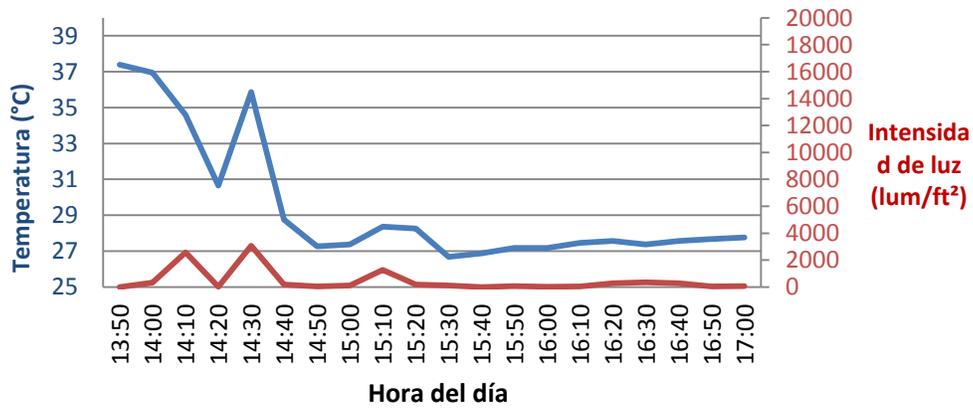
La temperatura del agua de mar mostró variaciones en secas y lluvias. En secas, la temperatura osciló entre los 26 y 37°C en las tres profundidades, alcanzando sus valores máximos en la primera hora de lectura; su promedio fue de 29°C (Figura 9 A, B, C, D, E y F) (Anexo 5; Tablas A5.1.1 y A5.1.2). En lluvias tuvo valores de 27 a 29°C en las tres profundidades y su promedio fue de 28°C (Figura 10 G, H, I, J, K y L) (Anexo 5; Tablas A5.2.1. y A5.2.2).

La intensidad de luz tuvo una variación considerable en ambas épocas. En secas, la mayoría de los valores estuvo por debajo de los 700 lum/ft<sup>2</sup>, pero alcanzó picos de 1000 y 3000 lum/ft<sup>2</sup> en la zona somera y media respectivamente del área 1 (Figura 9 A y B) (Anexo 5; Tablas A5.1.1), y de 16000 y 17000 lum/ft<sup>2</sup> en la zona somera y profunda del área 2 (Figura 9 D y F) (Tablas A5.1.2). En época de lluvias la intensidad de luz fue menor a 700 lum/ft<sup>2</sup> en las tres zonas, teniendo registros superiores a los 1000 lum/ft<sup>2</sup> en el área 1 (Figura 10 G, H e I) (Anexo 5; Tablas A5.2.1), y en el área 2 los valores no sobrepasaron los 500 lum/ft<sup>2</sup> (Figura 10 J, K y L) (Anexo 5; Tablas A5.2.2).

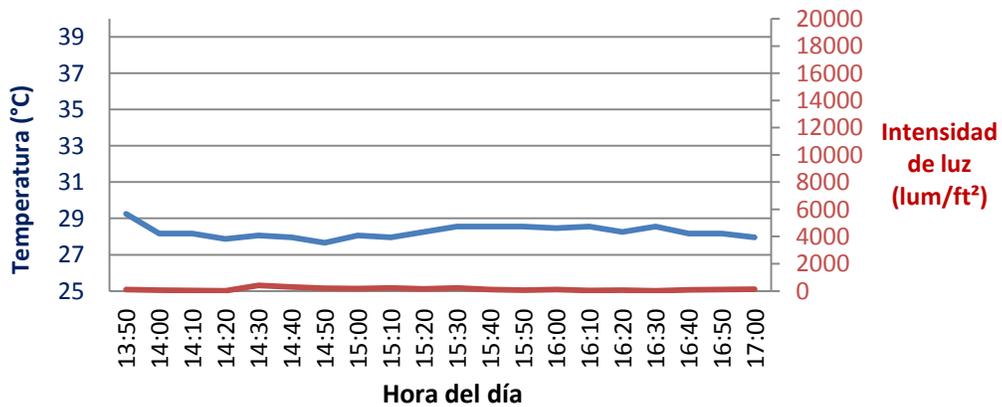
**A** Variación de temperatura e intensidad de luz en zona somera. Área 1. Secas.



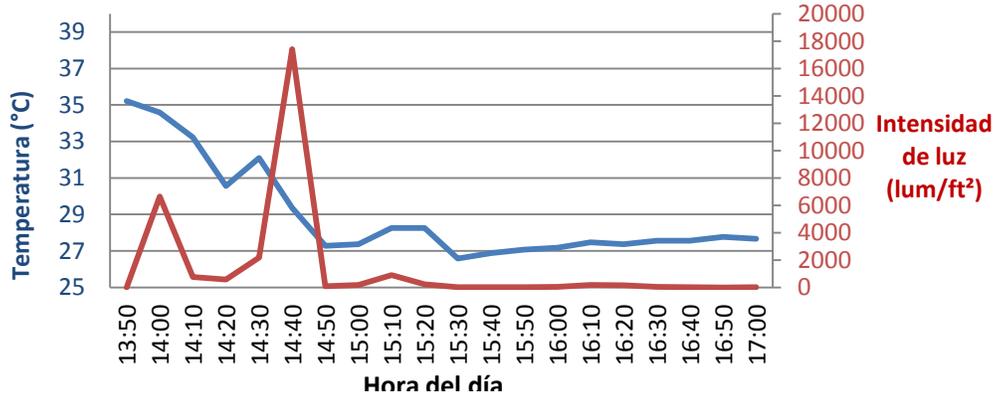
**B** Variación de temperatura e intensidad de luz en zona media. Área 1. Secas.



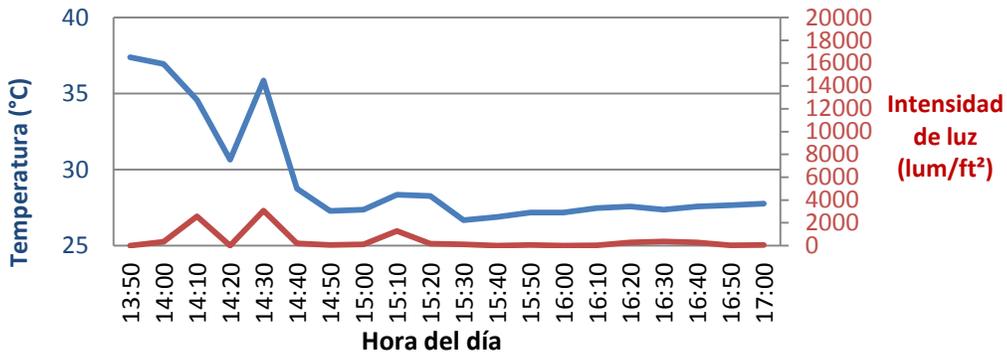
**C** Variación de temperatura e intensidad de luz en zona profunda. Área 1. Secas.



**D** Variación de temperatura e intensidad de luz en zona somera.  
Área 2. Secas.



**E** Variación de temperatura e intensidad de luz en zona media.  
Área 2. Secas.



**F** Variación de temperatura e intensidad de luz en zona profunda.  
Área 2. Secas.

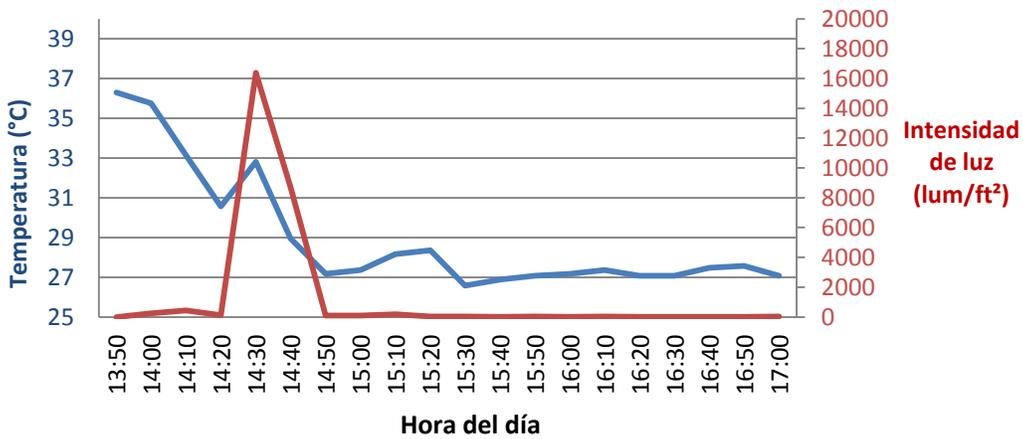
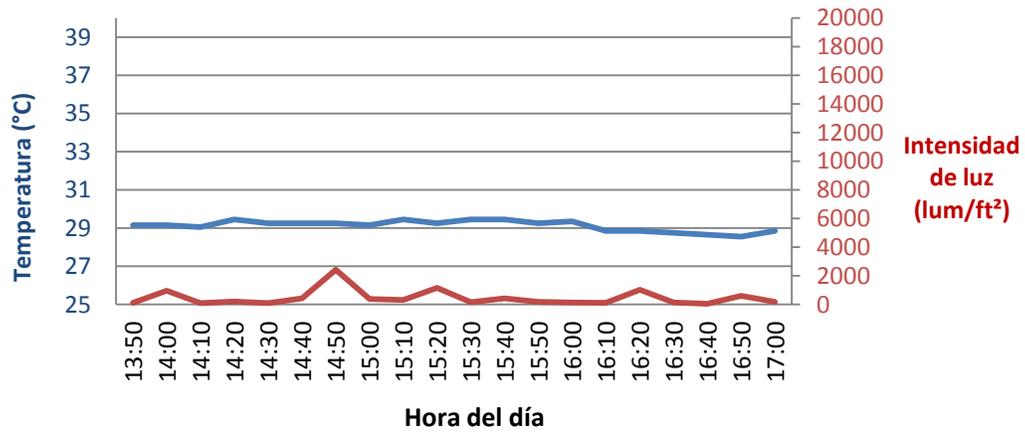


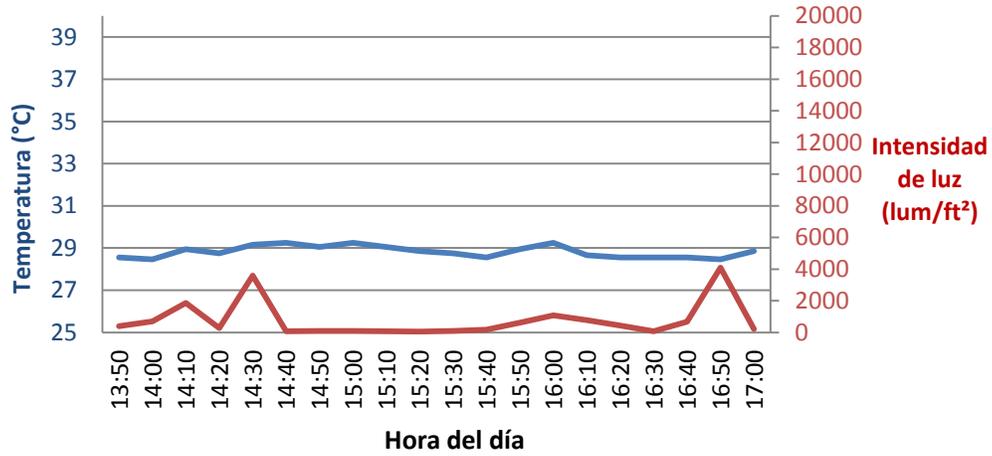
Figura 9. Secas. Variación de temperatura e intensidad de luz en la zona somera, media y profunda.

Área 1: A, B y C. Área 2: D, E y F.

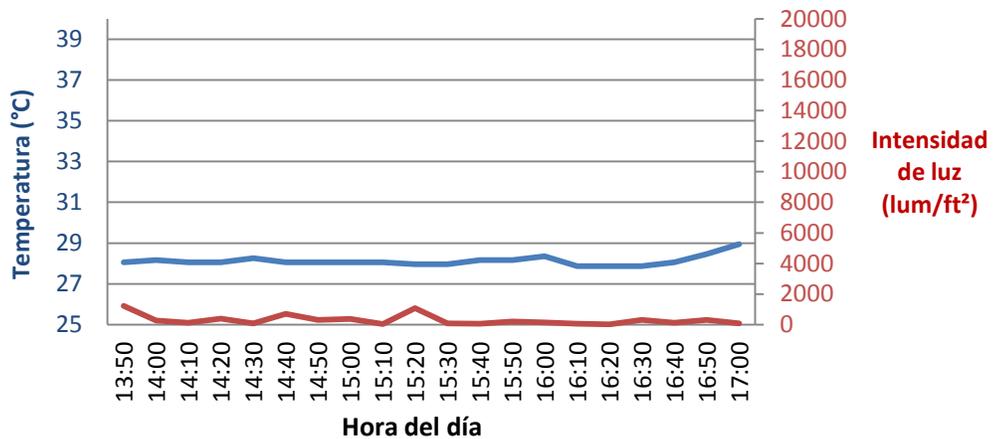
**G** Variación de temperatura e intensidad de luz en zona somera.  
Área 1. Lluvias.



**H** Variación de temperatura e intensidad de luz en zona media.  
Área 1. Lluvias.



**I** Variación de temperatura e intensidad de luz en zona profunda.  
Área 1. Lluvias.



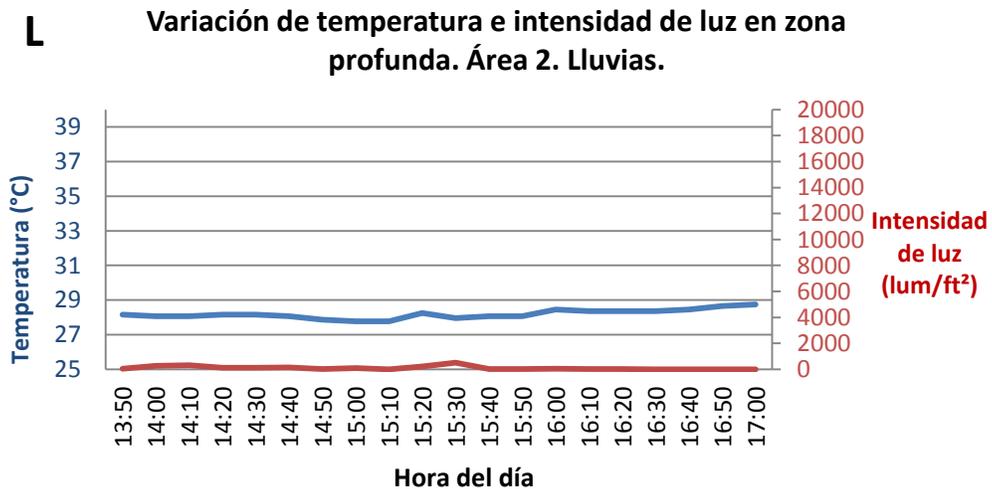
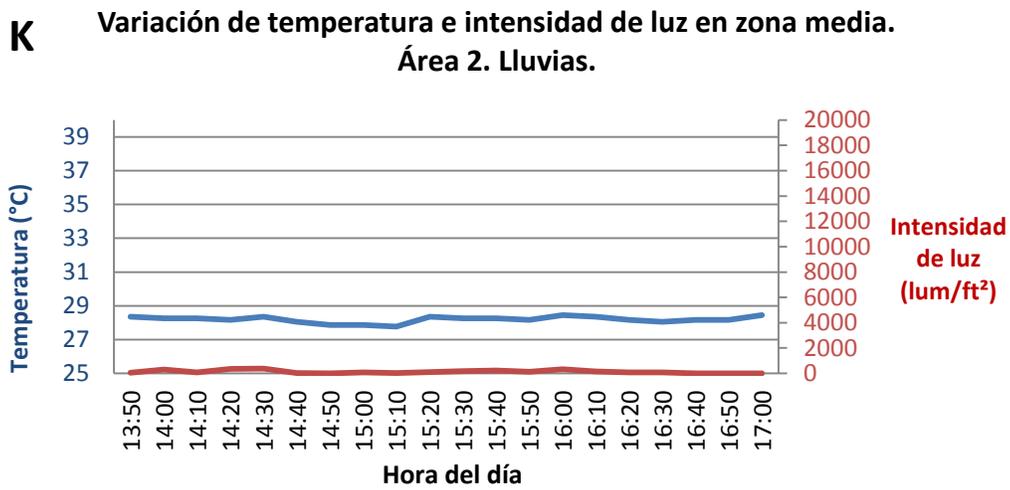
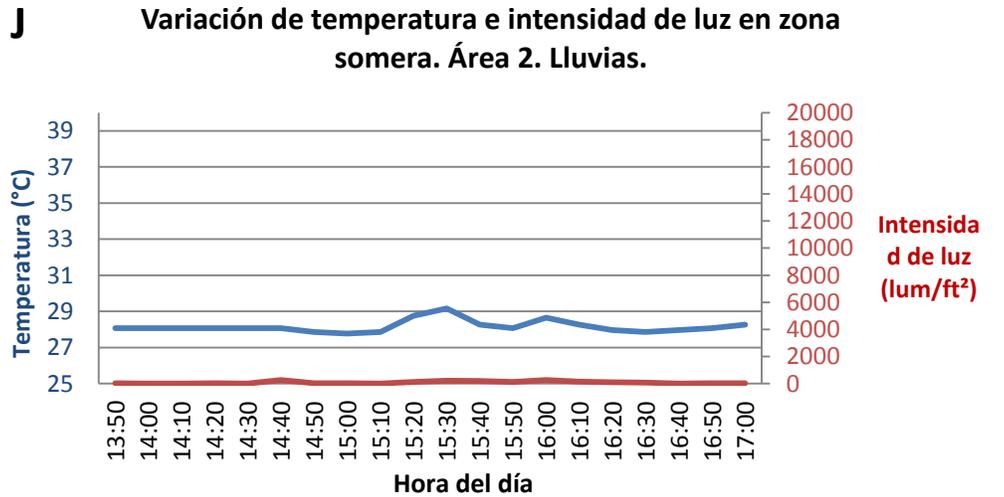


Figura 10. Lluvias. Variación de temperatura e intensidad de luz en la zona somera, media y profunda. Área

1: G, H e I. Área 2: J, K y L.

### **6.5.2. Movimiento de agua**

El desgaste de las esferas de escayola por disolución, fue mayor en las zonas someras del área 1 en secas y lluvias, registrando valores de 13 a 100%; en las mismas zonas pero del área 2, fue menor y no sobrepasó el 21%. Y en las zonas medias y profundas de ambas fechas, el desgaste de las esferas fue menor que en las zonas someras, sin embargo, el mayor porcentaje de desgaste siempre se presentó en el área 1 en secas y lluvias (Anexo 5; Tablas A5.3 y A5.4).

## 7. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 7.1 Composición y riqueza de especies

En este estudio se identificaron 56 especies de algas submareales, de las cuales, el Phylum Rhodophyta fue el más representado, seguido de Chlorophyta y Heterokontophyta-Phaeophyceae. **El número total de especies resulta bajo en comparación con lo reportado por Cruz-Ayala *et al.* (2001) (126 especies), Piazzi *et al.* (2002) (101 especies) y Piazzi *et al.* (2004) (99 especies).** La recolecta de algas en este caso se ha efectuado sólo en tres tipos de sustrato y en la planicie arrecifal, específicamente algas asociadas al género *Pocillopora* y algas asentadas en sustrato rocoso, considerando así que faltan otros sustratos y/o ambientes por muestrear, tales como sustrato arenoso, ripio, cantos rodados, y colonias vivas y muertas de otras especies de corales. **Además, esta cifra en el número de especies en la zona submareal de El Zacatoso, puede ser consecuencia del efecto múltiple de los factores ambientales sobre la estructura de los ensamblajes algales que operan en diferentes escalas de espacio-tiempo, así como por el efecto de las actividades antropogénicas como la sobrepesca y el turismo, los cuales, en sentido general, podrían ser las causas de la degradación del arrecife y del efecto que tienen sobre las comunidades algales asociadas a él.**

No obstante, la proporción representada por cada Phylum, coincide con los trabajos de dichos autores, donde las rodofitas cuentan con el mayor número de especies y de las cuales se tiene conocimiento que son un grupo que posee estrategias adaptativas y reproductivas, ciclos de vida y formas de vida muy variadas que les permiten tener una amplia distribución espacial y temporal (Dawes, 1986).

La riqueza de especies por época del año en un sentido global, fue prácticamente la misma (46 en secas y 45 en lluvias). Esto puede deberse a que la temperatura no afectó de manera significativa el crecimiento y desarrollo de las algas en ambas épocas climáticas, lo cual sugiere que la reproducción y el periodo de fructificación de las especies, no estuvieron en función de la temperatura (Chuan-Chuan *et al.*, 2004; Cano-Mallo, 2008). Este resultado se puede sustentar en los registros de temperatura media estacional reportada por el INEGI en el 2011 y 2012 (27 y 29°C respectivamente), los cuales fueron similares a los valores registrados por los HOBO's utilizados en el muestreo (29°C en secas y 28°C en lluvias). Por lo tanto, podemos concluir que esta variable ambiental no fue un factor que influyó en gran medida en la riqueza de especies algales, y que éstas pudieron crecer y desarrollarse dentro de estos intervalos de temperatura.

Durante la época de lluvias hay un mayor aporte fluvial del Río Balsas y otros afluentes (Baqueiro y Stuardo, 1977), los cuales, debido a una constante renovación de agua, podrían incrementar la concentración de nutrientes en las comunidades coralinas del Zacatoso, favoreciendo el crecimiento de las macroalgas. Ambos factores son importantes en la variación en la riqueza de especies, sin embargo, tenemos que considerar que un estudio de la variación ambiental intra-anual podría reflejar con mayor precisión la variación espacio-temporal de la riqueza y abundancia de las especies algales.

Como se mencionó anteriormente, la riqueza de especies en un sentido global fue prácticamente la misma para las dos épocas estudiadas, sin embargo, la diferencia en la composición de especies fue significativamente diferente cuando hubo interacción entre dos o más factores analizados (sustrato, profundidad, época del año y área), siendo esta diferencia una cuestión atribuida a la distribución de las especies (Ver apartado 6.6 de resultados y 7.3.3. de discusión).

En ambas épocas, el sustrato rocoso presentó la mayor cantidad de especies, seguido del coral muerto y la roca, resultado que concuerda con los trabajos de Cruz-Ayala *et al.* (2001) y González-Gándara *et al.* (2007). La riqueza de especies en la franja arrecifal de El Zacatoso difirió de un sustrato a otro, donde las características del mismo sugiere ser un factor determinante en la composición y distribución de las macroalgas, (Baynes, 1999; Goldberg y Forster, 2002; Piazzini *et al.*, 2004). En comparación con el sustrato coral vivo y coral muerto, la topografía irregular del sustrato rocoso tiene una mayor complejidad en la textura para la adherencia de discos de fijación, e incluso en las propiedades físico-químicas de éste, así como ofrece una mayor área de superficie para el asentamiento de las algas, considerando también que presenta poca movilidad en comparación con otros sustratos como los fragmentos de coral muerto y vivo, los cantos rodados o la arena (Milligan y DeWreede, 2000; Cruz Ayala *et al.*, 2001; Guidetti *et al.*, 2004; González-Gándara *et al.*, 2007). Dichas características podrían explicar la mayor riqueza de especies en este sustrato.

Se encontró que ambas fechas comparten 33 especies (Tabla 3), de las cuales, 18 son exclusivas de secas para un tipo de sustrato y 12 para lluvias (Tabla 4). De las especies más abundantes y/o frecuentes se pueden mencionar a: *Amphiroa misakiensis*, *Hypnea pannosa*, *Caulerpa sertularioides*, *Gelidium pusillum*, *Polysiphonia flaccidissima*, *P. subtilissima* y rodofitas costrosas. Algunas de estas especies han sido abundantes en los ensambles analizados por otros autores (Cruz-Ayala *et al.*, 2001; Piazzini *et al.*, 2004; González-Gándara *et al.*, 2007 y Tribollet *et al.*, 2010). La presencia del 60% de las especies en ambas fechas sugiere que tienen estrategias reproductivas que posibilitan su supervivencia como la producción de esporas vía asexual, como es el caso de *Amphiroa misakiensis*, *Gelidium pusillum*, *Hypnea pannosa*, y rodofitas costrosas, o por

fragmentación como es el caso de *Caulerpa sertularioides*, *Polysiphonia flaccidissima* y *P. subtilissima*. Estos mecanismos tienen la ventaja de requerir un menor gasto de energía para la formación de las esporas y propágulos vegetativos, a su vez, son diseminados de forma más rápida, por lo tanto, se provoca la rápida colonización del sustrato por altas tasas de reproducción y crecimiento (Santelices, 1977; Airoidi *et al.*, 1996; Airoidi, 2003).

Por otra parte, las especies que sólo se observaron en el coral vivo y en el coral muerto en ambas épocas fueron filamentosas, principalmente especies del género *Ceramium*, *Polysiphonia* y *Acrochaetium*. En el coral vivo, los filamentos estuvieron en contacto directo con las ramas, y en el coral muerto, las algas filamentosas se observaron epifitando a otras algas, principalmente del género *Amphiroa*. Es bien conocido que el epifitismo es común como forma de vida dentro de las especies algales (Stewart, 1982) y que un gran número de ellas son epífitas obligadas y en muchos casos forman asociaciones permanentes con otras algas y fanerógamas marinas (Mateo-Cid y Mendoza-González, 1994). Estas observaciones sobre coral muerto coinciden con lo reportado por Navas *et al.* (1998), donde especies del género *Polysiphonia* dominaron en las superficies iluminadas de los esqueletos de coral, y por otro lado, Cruz-Ayala *et al.* (2001) encontraron que especies del mismo género fue abundante en los fragmentos de coral muerto.

También se tiene conocimiento que existen diferentes tipos de interacciones entre macroalgas y corales, como el contacto directo de las algas con el tejido coralino, el sobrecrecimiento algalen los corales, competencia por espacio y las interacciones alelopáticas que pueden afectar la supervivencia y desarrollo de los corales provocando que la cobertura coralina se encuentre influenciada por la presencia de las algas, las cuales hacen que ésta varíe notablemente (McCook *et al.*, 2001). Algunos estudios sugieren que existe una competencia por el sustrato entre las algas y los corales, donde las algas pueden

formar un dosel que reduce los niveles de luz afectando el desempeño fotosintético de las zooxantelas y por lo tanto, el crecimiento del coral. Las algas pueden invadir los márgenes del tejido vivo del coral afectando la retracción y expansión de los pólipos, y causándoles la muerte. La liberación de sustancias alelopáticas por las algas puede influir de manera negativa en el crecimiento y establecimiento de los corales, y el sobrecrecimiento algal sobre los corales puede ser tan fuerte que en muchos casos las colonias coralinas resultan sofocadas al ser recubiertas por algas vecinas causando bajas en las tasas de reclutamiento coralino (McCook *et al.*, 2001; Jompa y McCook, 2003; Diaz-Pulido y McCook, 2004, Quan-Young y Espinoza-Ávalos, 2006; Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007 y Birrell *et al.*, 2008). Otros sugieren que existe una ligera evidencia de que cuando las algas ocupan el espacio de los corales, es más una consecuencia y no una causa de la mortalidad coralina, ya que en algunos casos, las algas son indicadores de la degradación y muerte del coral McCook *et al.* (2001).

Algunas de las interacciones anteriores se han observado entre colonias del coral *Porites cylindrica* con *Lobophora variegata* (J.V.Lamouroux) Womersley ex E.C.Oliveira y filamentos de *Corallophila huysmansii* (Weber-van Bosse) R.E.Norris, y entre el coral *Porites lobata* y los filamentos de *Anotrichium tenue* (C.Agardh) Nägeli (McCook *et al.*, 2001). En nuestro estudio, como ya se mencionó anteriormente, las algas exclusivas del coral vivo y el coral muerto fueron filamentosas. En el caso del coral vivo, esto podría sugerir que los filamentos de *Ceramium*, *Polysiphonia* y *Acrochaetium* están compitiendo por el sustrato con las colonias de *Pocillopora*, ya que las algas se encontraron recubriendo o sobrecreciendo sobre la superficie de las ramas del coral. Dada la evidencia observada, podemos sugerir que la interacción está referida a una competencia por espacio, ya que se tiene conocimiento que las algas pueden modificar el

movimiento de agua alrededor de los corales o limitar el espacio de éstos al fijarse en sustratos adyacentes a pocos centímetros de ellos, cubriéndolos o sobrecreciendo sobre sus ramas y evitando establecimiento de nuevas reclutas (McCook *et al.*, 2001; Jompa y McCook 2003; Diaz-Pulido y McCook 2004).

En el caso del coral muerto, los filamentos fueron epífitas de *Amphiroa misakiensis*, lo que explica la presencia exclusiva de *Acrochaetium* sp., *Ceramium affine* Setchell & N.L. Gardner, y *C. hamatispinum* E.Y. Dawson en este sustrato, ya que no estuvieron en contacto directo con las ramas del coral y regularmente se encuentran epifitando a algas calcáreas. En contraste con el coral vivo y coral muerto, el sustrato rocoso tuvo una mayor cantidad de especies exclusivas de diferentes grupos funcionales, la mayoría de ellas formadoras de céspedes. En este estudio, nos referimos a un césped como a una forma de crecimiento que está referida a la apariencia que adquiere un grupo de especies en respuesta a condiciones ambientales particulares, las cuales se encuentran estrechamente empaquetadas, no sobrepasan los 5 cm de altura y tienen a atrapar grandes cantidades de sedimento (Hay, 1981; Kendrick, 1991; Airoidi *et al.*, 1996; Garrabou *et al.*, 2002; Irving y Connell, 2002; Birrel *et al.*, 2005). Piazzini *et al.* (2002) documentaron que una plataforma rocosa poco profunda tuvo la mayor riqueza de especies y estuvo dominada por algas cespitosas; Cruz-Ayala *et al.* (2001) reportaron que el sustrato rocoso tuvo la mayor riqueza de especies de varios grupos funcionales y González-Gándara *et al.* (2007) registraron que la riqueza específica fue más alta en el sustrato roca coralina-corales. Se ha fundamentado que la forma de crecimiento cespitosa permite tener a las algas una mayor resistencia ante el estrés causado por diversos factores ambientales, tales como la abrasión por partículas de sedimento, el herbivorismo, entre otras, de tal manera que la morfología de las algas cespitosas (tallos de unos cuantos centímetros, abundante ramificación y talos

estrechamente empaquetados) les confiere una mayor resistencia ante el estrés ambiental (Steward, 1983; Airoidi *et al.*, 1995; Airoidi y Cinelli, 1997; Daly y Mathieson, 1997; Cheroske *et al.*, 2000; Irving y Connell, 2002); por lo tanto, la topografía del sustrato rocoso y las características morfológicas de los céspedes hicieron posible la presencia de más especies exclusivas en este sustrato.

## **7.2 Grupos forma-función y tipos de ensamble**

El análisis de un ensamble a través de grupos funcionales que comparten características (Littler y Littler, 1980 y Steneck y Dethier, 1994), permite explicar la relación entre una expresión colectiva (formas-funcionales) y las condiciones del entorno. Han sido descritos ensambles con base en el grupo al que pertenece la especie dominante, por ejemplo, Piazzzi *et al.* (2004) describen un ensamble dominado por algas coralinales; Navas *et al.* (1998) identificaron un ensamble costroso en las superficies críticas (superficies inferiores) de fragmentos de coral, y Milligan y DeWreede (2000) evaluaron ensambles basados en diferentes grupos funcionales (algas coralinas articuladas, coralinas costrosas, etc.). En este trabajo, también se describió a los tipos de ensamble en función del grupo forma-función más abundante.

Los resultados muestran que el ensamble más abundante en todos los sustratos y en la mayoría de las profundidades de ambas áreas y de ambas épocas fue el de las algas calcáreas articuladas, siendo *Amphiroa misakiensis* la especie más frecuente en este grupo, a su vez, le siguieron las algas costrosas, las ramificadas, las filamentosas y las láminas respectivamente. Las algas calcáreas articuladas y las costrosas fueron más abundantes en el sustrato coral muerto, seguido del sustrato rocoso y por último, el coral vivo, resultado que concuerda con lo encontrado por Navas *et al.* (1998), y Piazzzi *et al.* (2004). La

dominancia de las algas articuladas podría explicarse por varias razones: la primera está referida al pastoreo por herbívoros, el cual puede estar influyendo de manera considerable en la composición y abundancia de algas en el Zacatoso al ejercer una mayor presión sobre los grupos forma-función no calcáreos y favoreciendo un mejor desarrollo de las coralinas, particularmente las costrosas, que son más resistentes por su gruesa y dura capa de carbonato de calcio. En el Zacatoso se ha observado que la abundancia del erizo *Diadema mexicanum* y del pez *Stegastes acapulcoensis* alta en las zonas rocosas y que continuamente éste último se encuentra ramoneando el sustrato rocoso (Rodríguez *et al.*, 2010a; observación personal); esta presión de herbivoría podría estar favoreciendo el crecimiento de algas coralinas costrosas y calcáreas articuladas, que debido a la morfología del talo, las hace especies más resistentes a la presa. Dicha afirmación es de considerarse, ya que se ha reportado que el pastoreo de herbívoros es un factor biótico que influye de manera directa e indirecta sobre la abundancia relativa de las especies y de los grupos funcionales cuando la composición y abundancia de éstos se ven alteradas por distintos procesos naturales y antropogénicos, y los cuales influyen en el desarrollo sucesional de las algas de diferentes maneras, por ejemplo, la creación de una comunidad algal más resistente a la presa, o bien, la alimentación de algunas especies de peces territoriales puede proveer especies algales de sucesión temprana a sucesión tardía y de rápido crecimiento (Littler y Littler, 1984; Lobban y Harrison, 1994; McClanahan, 1997; Kelaher y Castilla, 2005). También se ha reportado que la capa de carbonato de calcio confiere una protección ante el efecto de abrasión. Existen observaciones que sugieren que la complejidad topográfica del sustrato y la disponibilidad de refugio al pastoreo influyen en el desarrollo de las algas. Las superficies planas proporcionan poco refugio y son, por lo tanto, más susceptibles a la perturbación por pastoreo, produciendo la dominancia de

coralinas costrosas y calcáreas articuladas (Littler *et al.*, 1991; McClanahan, 1997). Esto puede explicar la dominancia del ensamble calcáreo articulado y de coralinas costrosas en los tres sustratos, principalmente en el coral muerto, que en comparación con el coral vivo y la roca, representa una superficie menos expuesta para los herbívoros. Otra explicación es que la abundancia de algas calcáreas y costrosas está influenciada por diversos procesos naturales. Se ha observado que los arrecifes están sujetos a múltiples perturbaciones provocadas por diversos factores abióticos, como olas, corrientes, ciclones y huracanes que pueden matar a los seres vivos, separar el sustrato de carbonato de calcio y proporcionar espacio para posteriores organismos colonizadores (Grigg y Maragos, 1974; Connell, 1978, Pearson, 1981; Smith, 1988), así como el efecto que ejerce el cambio climático sobre los corales causándoles la muerte por blanqueamiento; y por factores bióticos como la depredación, la cual puede influir en la sucesión de las especies a través de la selección de presas, las necesidades metabólicas, y los diversos comportamientos de alimentación de la especie depredadora (Carpenter, 1981; Wellington, 1982; Hay *et al.*, 1983 y McClanahan, 1997). Los primeros colonizadores que se encuentran en el espacio del arrecife de reciente perturbación son con frecuencia algas filamentosas verdes y azul-verde de rápido crecimiento que forman un césped algal que es seguido en el desarrollo sucesional por otras algas como las calcáreas (por ejemplo, *Halimeda*), coralinas costrosas y las algas pardas carnosas (*Padina*, *Sargassum* y *Dictyota*) (Lewis, 1986; Hughes *et al.*, 1987; Hughes, 1994; Steneck y Dethier, 1994 y Tanner, 1995). De tal manera que la composición y abundancia de los grupos forma-función en etapa sucesional puede estar dada por causas naturales que influyen en la estructura y en los procesos ecológicos del arrecife, y esto a su vez ha provocado la aparición de especies más resistentes en la sucesión algal después de una

perturbación o disturbio. (Littler y Littler, 1980; Steneck y Dethier, 1994; McClanahan, 1995; McClanahan, 1997).

El tercer ensamble más abundante en todos los sustratos fue el de las ramificadas, siendo *Hypnea pannosa* y *Gelidium pusillum* las más frecuentes. Estas algas tienen características que las hacen resistentes a diferentes factores ambientales, algunas de ellas poseen talos con mucho tejido o biomasa estructurales, lo que les confiere una mayor robustez y habilidad por colonizar el espacio y captar la luz, una alta resistencia al herbivorismo y al estrés físico como la poda y la abrasión debido a su complejidad estructural, mayor producción de cuerpos reproductivos que pueden reducir la mortalidad y el almacenamiento de compuestos de alta energía en condiciones desfavorables (Littler y Littler, 1980).

El cuarto ensamble en abundancia decreciente fue el de las filamentosas. Como se describe en los resultados (Tabla 6), las algas filamentosas estuvieron presentes como grupo funcional en todos los sustratos, principalmente de forma epífita, sin embargo, como tipo de ensamble sólo estuvieron presentes en el coral vivo y sobrecreciendo sobre sus ramas. Las causas y los mecanismos por los cuales las algas filamentosas ocupan la superficie del coral vivo *Pocillopora* en la localidad de estudio, no es clara. Sin embargo, se tiene conocimiento que el reclutamiento de algas es especialmente crítico durante la degradación de los arrecifes de coral, que por lo general, se trata de una sustitución de espacio de corales duros por algas bentónicas, la cual puede ocurrir principalmente por dos razones: aquella en donde la colonización algal ocurre después de presentarse alguno o varios disturbios en los corales (blanqueamiento coralino), y aquella en donde la colonización de algas ocurre a pesar de que el tejido coralino aparenta estar en buenas condiciones o no estresado (competencia por espacio). En la segunda alternativa se

considera que los corales podrían estar en una interacción competitiva por el sustrato entre la comunidad algal y los pólipos del coral, ya que en diversos trabajos se ha observado que las macroalgas tienen la capacidad de competir con distintos corales retrocediendo el espacio ocupado por el otro (McCook, 2001; McCook *et al.*, 2001).

En este estudio, se sugiere que la dominancia del ensamblaje filamentoso en el coral vivo está dada por un sobrecimiento algal, donde el coral vivo representa un sustrato óptimo para el asentamiento y reclutamiento de propágulos vegetativos debido a su textura y composición química de carbonato de calcio adecuada para la germinación y reproducción de los filamentos. Se ha observado que las texturas más rugosas y porosas de corales albergan mayor cantidad de reclutas algales en comparación con las superficies lisas, y que contribuyen a la protección de los talos por acción del oleaje o corrientes marinas. (Díaz-Pulido y McCook, 2004).

No obstante, en la localidad de estudio de este trabajo no se ha demostrado que la interacción entre las algas filamentosas y los corales de *Pocillopora* se debe exclusivamente a un sobrecimiento algal o a una competencia por espacio, pero es probable que el resultado de esta ocupación dependa de las circunstancias ambientales y la condición biológica o fisiológica de las especies en interacción. Entonces, las circunstancias ambientales particulares que predominen en esta localidad y las condiciones biológicas y fisiológicas de las colonias de *Pocillopora* y de las algas filamentosas probablemente originen que este tipo de ensamblaje sea exclusivo de este tipo de sustrato.

Y por último, las especies laminares estuvieron presentes en todos los ensamblajes, sin embargo no se pudo caracterizar a un ensamblaje en función de este grupo, debido a la escasa presencia de estas especies en las muestras y que son un grupo que al encontrarse en

etapas de sucesión temprana, son más susceptibles al herbivorismo y pastoreo aún en baja intensidad; además pudo sumarse que poseen un alta mortalidad dada la morfología de sus talos que son más fácilmente desplazados y dañados por grupos funcionales menos delicados, relativamente inaccesibles y resistentes al pastoreo (Littler y Littler, 1980).

### **7.3. Análisis estadísticos**

#### **7.3.1. Ensamblés algales**

De los cuatro factores considerados en este estudio para establecer diferencias en el porcentaje de cobertura total de los ensamblés, sólo el sustrato resultó significativamente diferente, específicamente entre el coral muerto y el coral vivo, y entre el coral muerto y la roca. Los factores profundidad, época del año y área no influyeron en la cobertura de los ensamblés en los diferentes sustratos. Las diferencias entre sustratos, pueden deberse a que los ensamblés del coral vivo registraron los menores porcentajes de cobertura total, mientras que los porcentajes de los ensamblés del coral muerto y la roca fueron en su mayoría cercanos al 100%. Esto podría significar que las colonias de *Pocillopora* se encuentran en buen estado de salud al ser corales que son relativamente resistentes y dominantes en las costas del Pacífico sur de México (López-Pérez *et al.*, 2011), quizá por ello presentaron bajos porcentajes de recubrimiento de macroalgas.

Los ensamblés del coral vivo presentaron todos los grupos forma-función, sin embargo, estuvieron en bajos porcentajes de cobertura (Anexo 2) y las especies que estuvieron en contacto directo con el coral, fueron en su mayoría filamentosas. Estas especies se encuentran en etapas de sucesión temprana y se consideran oportunistas. La morfología que poseen, les confiere bajas biomásas y altas tasas de mortalidad en

condiciones de estrés (sofocamiento por enterramiento en sedimentos, luz ultravioleta, movimiento de agua, etc.), sin embargo, tienen una alta capacidad de colonizar nuevamente el sustrato dada la rapidez de propagación vegetativa que les permite recuperar y dominar el espacio aún en zonas de alta energía. (Littler *et al.*, 1983; Navas *et al.*, 1998; Airoidi, 2003). Por otra parte, es difícil establecer el tipo de interacción entre las algas y el coral, y los efectos sobre el porcentaje de cobertura de los ensamblajes, ya que se ha encontrado que los corales desarrollan mecanismos de defensa ante la competitividad por el sustrato con la comunidad algal (McCook, 2001; McCook *et al.*, 2001).

### **7.3.2. Grupos forma-función**

La abundancia de los grupos forma-función sólo resultó significativa en la interacción de los factores sustrato-época del año, donde el porcentaje que contribuyó más a la diferencia fue atribuido al grupo de las calcáreas articuladas y costrosas, y en segunda instancia el de las ramificadas y filamentosas.

En el sustrato coral muerto se presentó un alto porcentaje de algas calcáreas articuladas y costrosas, y en poca abundancia los grupos forma-función restantes. Por su parte, el coral vivo registró bajos porcentajes en todos los grupos, y en el sustrato rocoso se encontró una mayor abundancia de todos los grupos, sobre todo de especies formadoras de céspedes. Navas *et al.* (1998) observó que en la parte sombreada de las ramas de los fragmentos de coral muerto de *Acroporapalmata* estaban dominados por algas costrosas debido a exposición al movimiento de agua y el pastoreo. Piazzini *et al.* (2002), Cruz-Ayala *et al.* (2001), González-Gándara *et al.* (2007) y Tribollet *et al.* (2010) reportaron para el sustrato rocoso una mayor cantidad de especies cespitosas de diferentes grupos forma-función y sugieren que la topografía del sustrato para la adherencia de discos de fijación y

el aporte de agua rica en nutrientes y oxígeno condicionaban microambientes particulares para la fijación de una mayor cantidad de especies. Estas condiciones podrían explicar la diferencia en las abundancias de los grupos forma-función entre los sustratos. El sustrato rocoso al contar con mayor cantidad de superficie-volumen y menor movilidad, puede albergar a una gran cantidad de especies de diferentes grupos funcionales, en su mayoría cespitosas, las cuales al poseer características morfológicas y fisiológicas particulares les confiere una mayor resistencia ante un cambio en los gradientes ambientales, tales como la deposición de sedimento y tolerancia al sofocamiento y abrasión (Stewart, 1983; Airoidi *et al.*, 1995; Airoidi y Cinelli, 1997; Daly y Mathieson, 1997; Cheroske *et al.*, 2000; Irving y Connell, 2002). Por su parte, los fragmentos de coral muerto que se encuentran en constante movimiento debido a las corrientes marinas, no se consideran una limitante que posibilite la presencia de algas articuladas y costrosas que son más resistentes al efecto de abrasión, fracturación o rompimiento del talo (o rompimiento parcial) dada su morfología y gruesa capa de carbonato de calcio (Littler *et al.*, 1991; McClanahan, 1997).

En este estudio se encontró que las abundancias de los grupos forma-función fueron significativamente diferentes entre épocas del año, donde el mayor porcentaje que contribuye a la disimilitud es debido a las algas costrosas, seguido de las articuladas, ramificadas y filamentosas respectivamente (Anexo 3, Tabla 3.4). Estos resultados pueden verificarse en el Anexo 2, donde se observa una baja en las abundancias de las costrosas durante la época de lluvias y una alza en las articuladas, ramificadas y costrosas, en contraste con la época de secas, donde los porcentajes de cobertura de las algas costrosas son mayores y menores las de los otros grupos funcionales. Esto sugiere que las variaciones temporales de las abundancias de los grupos forma-función no se deben exclusivamente al sustrato, sino al efecto conjunto de los demás gradientes de los factores ambientales que

predominan en un momento determinado, los cuales influyen de manera determinante en la expresión morfológica y funcional de las especies en colectivo, como por ejemplo, el aprovechamiento de aguas ricas en nutrientes durante lluvias, el crecimiento de ramas erectas que confieren una mayor habilidad para la captación de luz, la capacidad de colonizar varios tipos de sustrato y la resistencia de otros factores físicos como la poda por oleaje y biológicos como la depredación por herbivorismo (Litter *et al.*, 1983).

### **7.3.3. Especies algales**

El estudio de los ensambles algales no ha sido frecuente a través del análisis de especies individuales en diversos ambientes marinos, sin embargo, se han documentado los grupos funcionales basados en las especies más abundantes. Por ejemplo, Piazzi *et al.* (2002) describen ensambles de *Flabellia petiolata*, *Meredithia microphylla* y *Peyssonnelia* spp en plataformas rocosas. Chuan-Chuan *et al.* (2004) encontraron la dominancia de *Ulva linza* (como *Enteromorpha linza*) e *Hypnea charoides* en ensambles de algas erectas y González-Gándara *et al.* (2007) reportaron a *Halimeda opuntia* como la más abundante en ensambles de pastos marinos.

En el presente trabajo, la composición de especies fue significativamente diferente en todos los factores (sustratos, profundidad, época del año y área), mostrando que para las zonas someras y profundas, la composición marcó una diferencia sólo entre coral vivo y coral muerto, y entre coral vivo y roca; y en las zonas medias, la composición fue diferente en todos los sustratos. Estos resultados difieren de lo reportado por Piazzi *et al.* (2004), donde los autores explican que la inclinación del sustrato no fue significativa para marcar una diferencia entre los ensambles. Las diferencias en composición de especies en este estudio podrían sugerir que la zona profunda y la zona somera presentan una mayor

variación en el impacto de los factores ambientales, tales como la disponibilidad de luz, heterogeneidad y movilidad del sustrato, mayor aporte de sedimentos y movimiento de agua, que pueden influir en las interacciones bióticas como la competencia y la depredación (Baynes, 1999; Goldberg y Forster 2002; Piazzi *et al.*, 2004). Las especies calcáreas articuladas y las costrosas están normalmente bien adaptados a la baja intensidad de la luz (Piazzi *et al.*, 2004), lo que podría determinar las diferencias en la composición de especies en el sustrato coral muerto-coral vivo y coral vivo-roca en las zonas someras y profundas. También la diferencia en la orientación de los sustratos (horizontales y verticales) puede estar ligada con la presión del pastoreo, la cual, disminuye conforme aumenta la profundidad (Ros *et al.*, 1984; Baynes, 1999), lo que podría estar ocurriendo con la zonas someras y profundas del Zacatoso, donde se ha observado una menor densidad de herbívoros (peces, erizos principalmente) en zonas más profundas (observación personal).

La diferencia en la composición específica de especies entre sustratos también está relacionada con la época del año. En el presente estudio, los resultados mostraron una mínima variación en los factores temperatura, intensidad de luz y movimiento de agua en secas y lluvias, y a los cuales no se les aplicó una prueba estadística para establecer su relación con la estructura de los ensamblajes del Zacatoso, por consiguiente no se puede adjudicar el efecto de alguno de ellos sobre la diferencia en la composición de especies. No obstante, se pueden sugerir algunas observaciones relacionadas con algunos factores ambientales registrados durante la temporada de secas (noviembre 2001) y lluvias (junio 2012) por el INEGI y por los HOBO's empleados en este estudio. Algunos de ellos son: la temperatura, la intensidad de luz, la precipitación, la nubosidad y aporte de sedimentos. En época de secas, la precipitación media estacional registrada por el INEGI y por los HOBO's fue de 27°C y 29°C, y en lluvias fue de 29°C y 28°C respectivamente. Ambas fechas

registran temperaturas muy similares, por lo tanto, podemos sugerir que este factor no puede ser el responsable de la variación en la composición de especies. Por el contrario, la nubosidad, la intensidad de luz, la precipitación y el aporte de sedimentos, si podrían estar influyendo en la composición de especies. El INEGI documentó que la nubosidad varió del 70% al 85% entre el 2011 y el 2012, de tal manera que la intensidad de luz pudo verse reducida en la época de lluvias, provocando que algunas especies propiciaran el crecimiento de ramas erectas con mayor habilidad para la captación de luz, sobre todo en especies formadoras de céspedes (Hay, 1981; Stewart, 1983; Airoidi *et al.*, 1995; Airoidi, 2003; Vázquez Texocotitla, 2009) como: *Caulerpa sertularioides*, *Chondria* sp., *Dictyota dichotoma* (Hudson) J.V.Lamouroux, *Dictyopteris delicatula* J.V. Lamouroux, *Gelidiella hancockii* E.Y. Dawson, *Ceratodictyon variable* (J.Agardh) R.E.Norris, *Gelidium pusillum*, *Gracilaria aff. textorii*, *Gracilaria veleroae* E.Y. Dawson, *Grateloupia aff. filicina*, *Herposiphonia littoralis* Hollenberg, *Herposiphonia plumula* (J.Agardh) Falkenberg, *Herposiphonia tenella* (C.Agardh) Ambronn, *Laurencia* sp. y *Sphacelaria rigidula* Kützing.

La precipitación media estacional estuvo por arriba de 1000 mm en lluvias y en secas fue menor a 800 mm (INEGI), lo que pudo causar una mayor tasa de sedimentación y mayor aporte de agua dulce rica en materia orgánica y nutrientes por parte del Río Balsas y otros arroyos (Baqueiro y Stuardo, 1977). Estos factores también podrían ser determinantes en las diferencias significativas en la composición de especies en algunos sustratos que guardan una orientación horizontal o vertical, ya que se sabe que la sedimentación puede interactuar con la inclinación del sustrato, la cual influye en su mayoría en ensambles de superficies horizontales provocando la mortandad de especies laminares y filamentosas, o bien, la supervivencia de especies mejor adaptadas al estrés por sedimentos como las

cespitosas (*Caulerpa sertularioides*, *Ceratodictyon variable*, *Chondria* sp., *Dictyota dichotoma*, *Dictyopteris delicatula*, *Gediella hancockii*, *Gelidium pusillum*, *Gracilaria aff. textorii*, *Gracilaria veleroae*, *Grateloupia aff. filicina*, *Herposiphonia littoralis*, *Herposiphonia plumula*, *Herposiphonia tenella*, *Hypnea pannosa*, *Hypnea spinella* (C. Agardh) Kützing, *Laurencia* sp., *Sphacelaria rigidula*, etc.) (Littler y Littler, 1980; Piazzì *et al.*, 2002; Piazzì *et al.*, 2004).

Si bien no todos los factores resultaron significativos en todos los niveles estudiados (ensambles algales, grupo forma-función y especies algales), en el factor sustrato fueron notables las diferencias espaciales y temporales en la estructura de los ensambles algales, siendo éste de suma importancia por ser el objetivo principal de este trabajo.

En el arrecife de franja el Zacatoso el tipo de sustrato determinó la variación espacio-temporal en la estructura de los ensambles algales dominados principalmente por algas calcáreas articuladas y costrosas. Los ensambles filamentosos fueron exclusivos del sustrato coral vivo. Por lo tanto, podemos afirmar que la topografía del sustrato a nivel cobertura total de ensamble, determinó la distribución espacial y temporal de éstos, no siendo así los factores profundidad, época del año y área.

La variación espacio-temporal de los grupos forma-función estuvo determinada por el tipo de sustrato y la época del año, siendo las algas calcáreas articuladas el grupo más abundante en todos los sustratos y en las dos épocas del año, seguidos del grupo de las costrosas, ramificadas, filamentosas y laminadas respectivamente.

La riqueza global de especies fue prácticamente la misma en secas y lluvias. La roca registró la mayor riqueza específica seguida del coral muerto y el coral vivo, la cual estuvo sólo en función de la topografía del sustrato. Sin embargo, la composición de especies y su distribución fue significativamente diferente entre sustratos, debido a la interacción de los factores sustrato, profundidad, época del año y área.

Las especies más frecuentes en los ensamblajes fueron: *Amphiroa misakiensis*, rodofitas costrosas, *Caulerpa sertularioides*, *Hypnea pannosa* y *Gelidium pusillum*, el resto de las especies presentaron baja frecuencia.

Los factores ambientales: temperatura, intensidad de luz y movimiento de agua no se pudieron relacionar con la variación espacio-temporal de la estructura de los ensamblajes algales, los grupos de forma-función y las especies de macroalgas debido a la escasez de datos en cantidad y registros de tiempo.

Con los resultados obtenidos, podemos establecer que el presente trabajo ha sentado los primeros conocimientos sobre la estructura y dinámica de los ensamblajes algales asociados a diferentes sustratos en el arrecife El Zacatoso, y que ha incrementado el conocimiento de la biodiversidad macroalgal de la localidad, ya que sólo se tiene registro de tres trabajos referentes al estudio de los ensamblajes de macroalgas en esta franja arrecifal (Vázquez-Delfín, 2008; Rodríguez *et al.*, 2010a y González Pizá, 2013). Es importante considerar que hemos fomentado una línea base sobre el conocimiento de la estructura y dinámica de los ensamblajes asociados a diferentes sustratos, siendo uno de los primeros trabajos en abordar esta problemática en esta zona de estudio y que impulsan las primeras

iniciativas sobre el conocimiento general del funcionamiento del sistema arrecifal a través del estudio de los productores primarios y el cual deberá tomarse en cuenta para futuras investigaciones, que sin duda, tendrán que evaluar y ampliar el estudio de factores biológicos, ecológicos, económicos y culturales de la región con la finalidad de generar más resultados para determinar los posibles factores ambientales, además del tipo de sustrato, que puedan estar influyendo de manera precisa y directa sobre la estructura de los ensamblajes algales en la localidad del Zacatoso. Esta investigación propone que se sigan implementando estudios a nivel comunitario y poblacional de los ensamblajes algales tomando como base la biodiversidad hasta ahora conocida y las condiciones actuales del arrecife para una descripción más detallada de la distribución y abundancia de las macroalgas y los efectos que los gradientes ambientales tienen sobre estos parámetros estructurales.

Por último, si bien en este estudio no fueron parte de los objetivos la implementación de programas de monitoreo y conservación de las macroalgas, si considero importante y sugiero continuar con este tipo de investigaciones que permitan generar conocimiento que nos lleve a la comprensión de la variación espacio-temporal en la estructura de los ensamblajes algales mediante su caracterización, diagnóstico y monitoreo de éstos y de los factores ambientales, y los cuales nos ayuden a reconocer posibles agentes perturbadores, así como prevenir riesgos y/o resolver problemas mediante el seguimiento a largo plazo del proceso de desarrollo de las comunidades coralinas, con base en los indicadores preestablecidos y la aplicación de protocolos propuestos.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbott I.A. & Hollenberg G.J. 1976. MARINE ALGAE CALIFORNIA. Stanford University Press. Stanford, California. 827 pp.

Abbott I.A. & Dawson E.Y. 1978. HOW TO KNOW THE SEAWEEDS. Wm. C. Brown Company Publishers. U.S.A. 141 pp.

Airoidi L. & Cinelli F. 1997. Effects of sedimentation on subtidal macroalgal assemblages: an experimental study from a Mediterranean rocky shore. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 215: 269-288.

Airoidi L. Fabiano M. & Cinelli F. 1996. Sediment deposition and movement over a turf assemblage in a shallow rocky coastal area of the Ligurian Sea. *Marine Ecology Progress Series* 133: 241-251.

Airoidi L., Rindi F. & Cinelli F. 1995. Structure, seasonal dynamics and reproductive phenology of a filamentous turf assemblage on a sediment influenced, rocky subtidal shore. *Botanica Marina* 38: 227-237.

Airoidi L. 2003. Effects of sedimentation on rocky coast assemblages. *Oceanography Marine Biology Annual Review* 161-236.

Allaby M. 2005. A DICTIONARY OF ECOLOGY. Oxford University Press. U.S.A. 473 pp.

Anderson, M.J. 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology* 26: 32-46.

Aronson R.B. & Precht W.F. 2001. White-band disease and the changing face of Caribbean coral reefs. *Hidrobiología* 460:25-38.

Balata D., Piazzini L. & Rindi F. 2011. Testing a new classification of morphological functional groups of marine macroalgae for the detection of responses to stress. *Marine Biology* 158: 2459-2469.

Baqueiro E. & Stuardo J. 1977. Observaciones sobre la biología, ecología y explotación de *Megapitaria aurantiaca* (Sow, 1931), *M. squalida* (Sow, 1935) y *Dosinia*

*ponderosa*(Gray, 1838) (Vivaldia: Veneridae) de la Bahía de Zihuatanejo e Isla Ixtapa, Guerrero, México. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología* 4: 161-208.

Baynes T.W. 1999. Factors structuring a subtidal encrusting community in the southern Gulf of California. *Bull. Mar. Sc.* 64: 419–450.

Benedetti-Cecchi L. 2001. Variability in abundance of algae and invertebrates at different spatial scales on rocky sea shores. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 215: 79–92.

Birrell C.L., McCook L.J. & Willis B.L. 2005. Effects of algal turfs and sediment on coral settlement. *Marine Pollution Bulletin* 51: 408-414.

Birrell C. L., McCook L.J., Willis B. L. & Diaz-Pulido G. 2008. Effects of benthic algae on the replenishment of corals and the implications for the resilience of coral reefs. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 46: 25-63.

Cano-Mallo M. 2008. BASES BIOLÓGICAS DE *ULVA FASCIATA* DELILE, (CHLOROPHYTA) PARA SU POSIBLE EXPLOTACIÓN, AL OESTE DE LA HABANA, CUBA. Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas. Facultad de Biología. Universidad de La Habana, Cuba. 150 pp.

Carballo J.L., Olabarria C.& Garza O.T. 2002. Analysis of four macroalgal assemblages along the Pacific Mexican coast during and after the 1997–1998 El Niño. *Ecosystems* 5: 749-760.

Carpenter R.C. 1981. Grazing by *Diadema antillarum* (Philippi) and its effects on the benthic algal community. *J. Mar. Res.* 39: 749–765.

Cheroske A.G., Williams S.L. & Carpenter R.C. 2000. Effects of physical and biological disturbances on algal turfs in Kaneohe Bay, Hawaii. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 248: 1-34.

Chuan-Chuan T., Sauo-Lien W., Jui-Sheng C., Ray-Lien H., Chang-Feng D., Yi-Chuan Y., Yuang-Tay S., Fuu Sheu & Tse-Min L. 2004. Macroalgal assemblage structure on a coral reef in Nanwan Bay in southern Taiwan. *Botanica Marina* 47: 439-453.

Clarke K.R. & Gorley R.N. 2006. PRIMER v6: User manual/tutorial. PRIMER-E, Plymouth. 192 pp.

Collado-Vides L., Rutten L.M. & Fourqurean J.W. 2005. Spatiotemporal variation of the abundance calcareous green macroalgae in the Florida keys: a studio of synchrony within a macroalgal functional-forms group. *Journal Phycology* 41: 742-752.

Connell J.H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199: 1302–1310.

Connell J.H. 1983. On the prevalence and relative importance of interspecific competition: evidence from field experiments. *Am. Nat.* 122: 661-696.

Cruz-Ayala M.B., Núñez-López R.A. & López G.E. 2001. Seaweeds in the Southern Gulf of California. *Botanica Marina* 44: 187-197.

Daly M. A. & Mathieson A. C. 1977. The effects of sand movement on intertidal seaweeds and selected invertebrates at Bound Rock, New Hampshire, USA. *Marine Biology* 43: 45-55.

Dawes C. J. 1986. BOTÁNICA MARINA. Editorial Limusa. México. 673 pp.

Dawson E.Y. 1953. Marine red algae of Pacific Mexico. Part. 1. Bangiales to Corallinaceae subf. Corallinoideae. *Allan Hancock Pac. Exped* 17(1): 1-239.

Dawson E.Y. 1954. Marine red algae of Pacific Mexico. Part. 2. Cryptonemiales (cont.). *Allan Hancock Pac. Exped* 17(2): 241-397.

Dawson E.Y. 1960. Marine red algae of Pacific Mexico. Part. 3. Cryptonemiales, Corallinaceae subf. Melobesioideae. *Pacific. Naturalist* 2: 3-125.

Dawson E.Y. 1961. Marine red algae of Pacific Mexico. Part. 4. Gigartinales. *Pacific. Naturalist* 2: 191-343.

Dawson E.Y. 1962. Marine red algae of Pacific Mexico. Part. 7. Ceramiales: Ceramiaceae, Delesseriaceae. *Allan Hancock Pac. Exped* 26: 1-207.

Dawson E.Y. 1963a. Marine red algae of Pacific Mexico. Part. 6. Rhodymeniales. *Nova Hedwigia* 5: 437-476.

Dawson E.Y. 1963b. Marine red algae of Pacific Mexico. Part. 8. Ceramiales: Dasyaceae, Rhodomelaceae. *Nova Hedwigia* 6: 401-481.

Diaz-Pulido G. & McCook L. J. 2004. Effects of live coral, epilithic algal communities and substrate type on algal recruitment. *Coral Reefs* 23: 225-233.

Diaz-Pulido, G. & McCook L. J. 2008. Macroalgae (Seaweeds) in Chin. A, (ed) *The State of the Great Barrier Reef On-line*, Great Barrier Reef Marine Park Authority, Townsville. 47 pp.

Fabricius K., De'ath G., McCook L., Turak E. & Williams D. 2005. Changes in algal, coral and fish assemblages along water quality gradients on the inshore Great Barrier Reef. *Marine Pollution Bulletin* 51: 384-398.

García E. 1973. MODIFICACIÓN AL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE KÖPPEN (PARA ADAPTARLO A LAS CONDICIONES DE LA REPÚBLICA MEXICANA). Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 246 pp.

García Martínez M. 2009. ESTRUCTURA COMUNITARIA DE LA FAUNA ASOCIADA A LAS ALGAS SUBMAREALES EN TRES SITIOS CONTRASTANTES EN ZIHUATANEJO, GUERRERO. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 87 pp.

Garrabou J., Ballesteros E. & Zabala M. 2002. Structure and dynamics of North-western Mediterranean rocky benthic communities along a depth gradient. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 55: 493-508.

Glasby T.M. 2000. Surface composition and orientation interact to affect subtidal epibiota. *J. Exp. Mar. Ecol. Biol.* 284: 177-190.

Goldberg N.A. & Forster M.S. 2002. Settlement and postsettlement processes limit the abundance of geniculate coralline alga *Calliarthron* on subtidal walls. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 278: 31-45.

González-Gándara C., Cruz-Arellano M., Domínguez-Barradas C., Solís-Serrano A. & Basañez-Muñoz A. de J. 2007. Macroalgas asociadas a cuatro hábitats del arrecife Tuxpan, Veracruz, México. *Revista UDO Agrícola* 7(1): 252-257.

González Pizá D.L. 2013. DIVERSIDAD DE MACROALGAS ASOCIADAS AL ARRECIFE CORALINO EL ZACATOSO, ZIHUATANEJO, GUERRERO. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 79 pp.

Google Earth Versión 6.

Grigg R.W. & Maragos J.E. 1974. Recolonization of hermatypic corals on submerged lava flows in Hawaii. *Ecology* 55: 387-395.

Guidetti P., Bianchi C.N., Chiantore M., Schiaparelli S., Morri C. & Cattaneo-Vietti R. 2004. Living on the rocks: substrate mineralogy and the structure of subtidal rocky substrate communities in the Mediterranean Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 274: 57-68.

Guiry, M. D. y Guiry, G. M. 2012. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>.

Hay M. E. 1981. The functional morphology of turf-forming seaweeds: persistence in stressful marine habitats. *Ecology* 62(3): 739-750.

Hay M.E., Colburn T. & Downing D. 1983. Spatial and temporal patterns in herbivory on a Caribbean fringing reef: The effects on plant distribution. *Oecologia* 58: 299–308.

Hoegh-Guldberg O., Mumby P. J., Hooten A. J., Steneck R. S., Greenfield P., Gomez E., Harvell C. D., Sale P. F., Edwards A. J., Caldeira K., Knowlton N., Eakin C. M., Iglesias-Prieto R., Muthiga N., Bradbury R. H., Dubi A. & Hatziolos M. E. 2007 Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science* 318: 1737-1742.

Hughes T.P. 1994. Catastrophes, phase-shifts and large-scale degradation of a Caribbean coral reef. *Science* 265: 1-23.

Hughes T.P., Reed D.C. & Boyle M.J., 1987. Herbivory on coral reefs: Community structure following mass mortalities of sea urchins. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 113: 39–59.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). ANUARIO DE ESTADÍSTICAS POR ENTIDAD FEDERATIVA 2011. Instituto Nacional de Estadística y Geografía--México: INEGI, c2011. 607 pp.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México). ANUARIO DE ESTADÍSTICAS POR ENTIDAD FEDERATIVA 2012. Instituto Nacional de Estadística y Geografía--México: INEGI, c2013. 681 pp.

Irving, A.D. & Connell S. D. 2002. Sedimentation and light penetration interact to maintain heterogeneity of subtidal habitats: algal versus invertebrate dominated assemblages. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 245: 83–91.

Jompa J. & McCook L. J. 2003. Coral-algal competition: macroalgae with different properties have different effects on corals. *Marine Ecology Progress Series* 258: 87-95.

Kelaher B.P. & Castilla J.C. 2005. Habitat characteristics influence macrofaunal communities in coralline turf more than mesoscale coastal upwelling on the coast of Northern Chile. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 63: 155-165.

Kendrick G.A. 1991. Recruitment of coralline crusts and filamentous turf algae in the Galapagos archipelago: effects of simulated scour, erosion and accretion. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 147: 47-63.

- Lewis S.A. 1986. The role of herbivorous fishes in the organization of a Caribbean reef community. *Ecol. Monogr.* 56: 183–200.
- Littler M.M. & Littler D.S. 1980. The evolution of thallus form and survival strategies in benthic marine macroalgae: field and laboratory tests of a functional form model. *The American Naturalist* 116: 25-44.
- Littler M. M. & Littler D. S. 1984. Relationships between macroalgal functional form groups and substrata stability in a subtropical rocky-intertidal system. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 74: 13-34.
- Littler M. M., Martz D. R. & Littler D. S. 1983. Effects of recurrent sand deposition on rocky intertidal organisms: importance of substrate heterogeneity in a fluctuating environment. *Marine Ecology Progress Series* 11: 129-139.
- Littler M. M., Littler D. S. & Tytlianov E.A. 1991. Comparisons N-and P-limited productivity between high granitic islands versus low carbonate atolls in the Seychelles Archipelago: a test of the relative-dominance paradigm. *Coral reefs* 10: 199-209.
- Lincoln R.J., Boxshall G.A. & Clark P.F. 1986. DICCIONARIO DE ECOLOGÍA, EVOLUCIÓN Y TAXONOMÍA. Fondo de Cultura Económica. México. 488 pp.
- Lobban C.S. & Harrison P.J. 1994. SEAWEED ECOLOGY AND PHYSIOLOGY. Cambridge University Press. 366 pp.
- López-Pérez R., Carriquiry J., Cupul-Magaña A., Hernández-Ramírez H., Ahumada-Sempoal M. & Luna-Salguero B. 2011. Coral communities and reefs from Guerrero, southern Mexican Pacific. *Marine Ecology*. Regular paper. 29 pp.
- López-Santos C., Vega-Zepeda A., Loreto-Viruel M. R., Hadad-López W. y García-Saez C. 2001. Informe del efecto del huracán Keith sobre los arrecifes coralinos de Xcalak, Quintana Roo. Amigos de Sian Ka'an/Universidad de Rhode Island/Comunidad de Xcalak. Proyecto conservación de recursos costeros críticos en México (1998-2003). 17 pp.
- Mateo-Cid L.E. & Mendoza-González A.C. 1994. Algas marinas bentónicas de Todos Santos, Baja California Sur, México. *Acta Botánica Mexicana* 29: 31-47.
- Mateo-Cid L.E. & Mendoza-González A.C. 2012. Algas marinas bentónicas de la costa noroccidental de Guerrero, México. *Rev. Mex. Biodiv.* 83(4): 905-928.
- McClanahan T.R. 1995. A coral reef ecosystem-fisheries model: Impacts of fishing intensity and catch selection on reef structure and processes. *Ecol. Mod.* 80: 1–19.

- McClanahan T.R. 1997. Primary succession of coral-reef algae: Differing patterns on fished versus unfished reefs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 218: 77-102.
- McCook, L. J. 2001. Competition between corals and algal turfs along a gradient of terrestrial influence in the nearshore central Great Barrier Reef. *Coral Reefs* 19: 419-425.
- McCook L.J., Jompa J. & Díaz-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. & Polsenberg J.F. 2004. Coral-algal phase shifts on coral reefs: ecological and environmental aspects. *Progress in Oceanography* 60: 263–279.
- Milligan K.L.D. & DeWreede R.E. 2000. Variations in holdfast attachment mechanics with developmental stage, substratum-type, season, and waveexposure on the intertidal kelp species *Hedophyllum sessile* (C. Agardh) Setchell. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 254: 189-209.
- Muñiz-Irigoyen. 2004. Restauración en arrecifes de coral. Instituto de Ecología. Universidad Nacional Autónoma de México. *Ciencias*: 42-45.
- Navas G.R., Moreno-Forero S.K., Solano O.D. & Díaz-Pulido G. 1998. Ensamblajes Arrecifales Epilíticos del Coral *Acropora palmata* Muerto, Isla Grande, Islas del Rosario, Caribe Colombiano. *Caribbean Journal of Science* 34(1-2): 58-66.
- Pearson. 1981. Recovery and recolonization of coral reefs. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 4: 105-122.
- Piazzì L., Balata D., Pertusati M. & Cinelli F. 2004. Spatial and temporal variability of Mediterranean macroalgal coralligenous assemblages in relation to habitat and substratum inclination. *Botanica Marina* 47: 105-115.
- Piazzì L., Pardi G., Balata D., Cecchi E. & Cinelli F. 2002. Seasonal Dynamics of a Subtidal North-Western Mediterranean Macroalgal Community in Relation to Depth and Substrate Inclination. *Botanica Marina* 45: 243-252.
- Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Guerrero, Fases I y II del POET: 2007. SEMAREN Gobierno del Estado de Guerrero. SEMARNANT.
- Quan-Young L.I., Díaz-Martín M.A. & Espinoza-Ávalos J. 2006. Algas epífitas de Bajo Pepito, Isla Mujeres, Quintana Roo, México. *Revista de Biología Tropical* 54(2): 317-328.

Quan-Young L. I. & Espinoza-Avalos J. 2006. Reduction of zooxanthellae density, chlorophyll *a* concentration, and tissue thickness of the coral *Montastraea faveolata* (Scleractinia) when competing with mixed turf algae. 2006. *Limnology and Oceanography* 51: 1159-1166.

Reaka-Kudla Marjorie L. 2001. ENFOQUES CONTEMPORÁNEOS PARA EL ESTUDIO DE LA BODIVERSIDAD. Instituto de Biología, UNAM. México, pp 221-243.

Rodríguez D., López-Gómez N.A. & Candelaria-Silva C.F. 2010a. Macroalgas marinas de la región de Zihuatanejo. Guerrero. Proyecto CONABIO FE-014. Facultad de Ciencias. UNAM. 29 pp.

Rodríguez D., López-Gómez N.A. & Candelaria-Silva C.F. 2010b. Descripción general preliminar de los cuatro sistemas arrecifales estudiados en la región de Zihuatanejo, Guerrero, México. Informe técnico. Proyecto FOMIX-CONACYT (107999). 4 pp.

Ros J.D., Romero J., Ballesteros E. & Gili J.M. 1984. Diving in the blue water. The benthos. In: (R. Margalef, ed.) *WesternMediterranean*. Pergamon Press, Oxford. pp. 233–295.

Salcedo Martínez S., Green G., Gamboa Contreras A. & Gómez P. 1988. Inventario de macroalgas y microinvertebrados bénticos, presentes en áreas rocosas de la región de Zihuatanejo, Guerrero, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México* 15(1): 73-96.

Santelices B. 1977. ECOLOGÍA DE LAS ALGAS MARINAS BENTÓNICAS. Universidad Católica de Chile. Santiago. 384 pp.

Senties Granados A. 1995. El género *Polysiphonia* (Ceramiales: Rhodomelaceae) en el Pacífico Tropical Mexicano. *Revista de Biología Tropical* 43(1-3): 39-54.

Senties Granados A. & Dreckmann K.M. 2008. MONOGRAFÍAS FICOLÓGICAS VOL.3. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. México. 160 pp.

Seoáñez Calvo M. 1999. EL GRAN DICCIONARIO DEL MEDIO AMBIENTE Y DE LA CONTAMINACIÓN. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 807 pp.

Smith M.M. 1988. Recovery of a disturbed reef in Bermuda: Influence of reef structure and herbivorous grazers on algal and sessile invertebrate recruitment. Proc. 6th Int. *Coral Reef Symp.* 2: 267–272.

StatSoft, Inc. 2002. STATISTICA (data analysis software system), version 6. www.statsoft.com.

- Steneck R.L. & Deither M.N. 1994. A functional group approach to the structure of algal-dominated communities. *Oikos* 69: 476–498.
- Stewart J.G. 1982. Anchor species and epiphytes in intertidal algal turf. *Pacific Science*. 36(1): 45-59.
- Stewart J.G. 1983. Fluctuations in the quantity of sediments trapped among algal thalli on intertidal rock platforms in southern California. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 73: 205-211.
- Tanner J. E. 1995. Competition between scleractinian corals and macroalgae: An experimental investigation of coral growth, survival and reproduction. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 190: 151-168.
- Tribollet A. D., Schils T. & Vroom P.S. 2010. Spatio-temporal variability in macroalgal assemblages of American Samoa. *Phycologia* 49(6): 574-591.
- Vázquez Delfín E.F. 2008. DIAGNÓSTICO GENERAL DE LA BIODIVERSIDAD MARINA DE LA REGIÓN IXTAPA-ZIHUATANEJO, GUERRERO: BASES PARA SU CONSERVACIÓN. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 193 pp.
- Vázquez Texcotitla P. 2009. EFECTO DEL SEDIMENTO RETENIDO EN LA ESTRUCTURA DE LOS ENSAMBLES ALGALES SUBMAREALES. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 70 pp.
- Wellington G.M. 1982. Depth zonation of corals in the Gulf of Panama: Control and facilitation by resident reef fishes. *Ecol. Monogr.* 52: 223–241.
- Wilkinson C. 2008. STATUS OF CORAL REEFS OF THE WORLD. Global Coral Reef Monitoring Network y Reef and Rainforest Research Centre. Townsville, Australia. 150 pp.
- Williams S.L. & Carpenter R.C. 1998. Effects of unidirectional and oscillatory water flow on nitrogen fixation (acetylene reduction) in coral reef algal turfs, Kaneohe Bay, Hawaii. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 226: 293-316.
- Zhuang S.H., Chen L.X., Zhang M. & Cao Y.D. 2004. Seasonality of macroalgal assemblages in a wave-eroded intertidal granite shore at Chengshan Cape, on the northwest coast of the Yellow Sea. *Hydrobiologia* 529: 145-156.



## Anexo 2

### Secas (noviembre 2011)

Tabla A2.1. Relación del tipo de sustrato con la profundidad y el porcentaje de cobertura de los ensamblajes y sus grupos de forma-función por área del arrecife.

Tipo de sustrato	Área 1	Profundidad (m)	Núm. de muestra	Cobertura total del ensamblaje (%)	Abundancia de los grupos de forma-función				
					Filamentosas	Laminadas	Ramificadas	Calcáreas articuladas	Costrosas
<b>R</b>	Profunda	6.5	1	100			6%	30%	64%
<b>R</b>	Profunda	6.5	35	70	1%		2%	37%	30%
<b>R</b>	Profunda	6.5	29	70	4%		6%	21%	39%
<b>CM</b>	Profunda	6.3	36	50	2%		12%	15%	21%
<b>CM</b>	Profunda	6.5	28	100	9%			70%	21%
<b>CM</b>	Profunda	6.5	24	100				20%	80%
<b>CV</b>	Profunda	6.5	2	100				60%	40%
<b>CV</b>	Profunda	6.5	33	20				20%	
<b>CV</b>	Profunda	6.5	80	50				30%	20%
<b>R</b>	Media	3	3	100	1%		6%		93%
<b>R</b>	Media	4.3	52	12	2%		10%		
<b>R</b>	Media	4	40	100	5%	1%	20%	9%	65%
<b>CM</b>	Media	4.8	32	95		1%	30%	12%	52%
<b>CM</b>	Media	3	25	80	1%			20%	13%
<b>CM</b>	Media	3	9	90	4%	2%	4%	25%	65%

<b>CV</b>	Media	5	39	25	1%<	1%		21%	2%
<b>CV</b>	Media	4.5	41	20	15%		5%		
<b>CV</b>	Media	4.5	64	10	1%		6%	4%	
<b>R</b>	Somera	4.3	52	12	10%		2%		
<b>R</b>	Somera	3.3	37	95	8%		6%		81%
<b>R</b>	Somera	3.3	42	70	2%	1%	30%	16%	21%
<b>CM</b>	Somera	3	5	50	1%	2%	6%	20%	21%
<b>CM</b>	Somera	3	26	30	2%			16%	12%
<b>CM</b>	Somera	3	34	85	2%		8%	36%	39%
<b>CV</b>	Somera	2	72	70				25%	45%
<b>CV</b>	Somera	3	8	25	4%	1%		20%	
<b>CV</b>	Somera	3.8	38	10	2%			8%	

<b>Tipo de sustrato</b>	<b>Área 2</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Núm. de muestra</b>	<b>Cobertura total del ensamble (%)</b>	<b>Filamentosas</b>	<b>Laminadas</b>	<b>Ramificadas</b>	<b>Calcáreas articuladas</b>	<b>Costrosas</b>
<b>R</b>	Profunda	6.5	61	100	2%		12%	28%	58%
<b>R</b>	Profunda	6.5	51	100	4%		2%		94%
<b>R</b>	Profunda	6.5	49	100	1%		6%	30%	63%
<b>CM</b>	Profunda	6.5	58	100			24%	24%	52%
<b>CM</b>	Profunda	6.5	60	50		1%	30%		19%
<b>CM</b>	Profunda	6	56	30					30%
<b>CV</b>	Profunda	6	57	50		4%	6%	30%	10%
<b>CV</b>	Profunda	6.5	62	20			9%	4%	7%
<b>CV</b>	Profunda	6.5	50	95			1%	94%	

<b>R</b>	Media	4.7	63	100	3%		24%	25%	48%
<b>R</b>	Media	4.8	66	100	6%	1%	6%	15%	72%
<b>R</b>	Media	4.8	82	100	1%		10%	49%	40%
<b>CM</b>	Media	5	55	100	4%	1%	2%	15%	78%
<b>CM</b>	Media	5.1	68	20			< 1%	3%	17%
<b>CM</b>	Media	4.7	31	80				40%	40%
<b>CV</b>	Media	4.1	78	100	6%		4%		
<b>CV</b>	Media	4.2	75	30	3%			10%	17%
<b>CV</b>	Media	4.1	76	20	20%				
<b>R</b>	Somera	3	4	100	3%		2%	47%	48%
<b>R</b>	Somera	3.2	65	100	5%	1%	8%	11%	75%
<b>R</b>	Somera	4	73	100	1%		4%		95%
<b>CM</b>	Somera	4	70	80				10%	70%
<b>CM</b>	Somera	4.2	83	90	2%	2%	4%	50%	32%
<b>CM</b>	Somera	4.3	59	70	7%	1%	20%	24%	18%
<b>CV</b>	Somera	3.8	67	20	1%			19%	
<b>CV</b>	Somera	4	74	40	1%		12%	16%	11%
<b>CV</b>	Somera	3.5	69	25	1%		3%	21%	

CV=coral vivo, CM=coral muerto y R=roca

## Lluvias (junio 2012)

Tabla A2.2. Relación del tipo de sustrato con la profundidad y el porcentaje de cobertura de los ensamblajes y sus grupos de forma-función por área del arrecife.

Tipo de sustrato	Área 1	Profundidad (m)	Núm. de muestra	Cobertura total del ensamblaje (%)	Abundancia de los grupos de forma-función				
					Filamentosas	Laminadas	Ramificadas	Calcáreas articuladas	Costrosas
R	Profunda	4.9	54	100	4%	2%	21%	73%	
R	Profunda	4.7	61	100	9%		30%	25%	36%
R	Profunda	3.8	46	100	4%		15%	57%	24%
CM	Profunda	5.2	18	70			9%	61%	
CM	Profunda	4.4	17	40					40%
CM	Profunda	4.3	10	100			1%	70%	29%
CV	Profunda	3	48	15	15%				
CV	Profunda	3.7	62	30	30%				
CV	Profunda	3.4	52	10	3%		7%		
R	Media	3.2	53	100	9%		4%	78%	9%
R	Media	3.3	6	90	12%	6%	37%	35%	
R	Media	3.2	58	100	2%	4%	64%		30%

<b>CM</b>	Media	3.6	55	100	2%		8%	90%	
<b>CM</b>	Media	3.5	7	100	2%		30%	68%	
<b>CM</b>	Media	3.9	47	100			2%	98%	
<b>CV</b>	Media	2.6	63	70	1%		19%	50%	
<b>CV</b>	Media	3	57	30	5%	4%	1%	20%	
<b>CV</b>	Media	3.3	56	20	20%				
<b>R</b>	Somera	2.7	9	30	4%		24%	2%	
<b>R</b>	Somera	2.7	8	100			14%	6%	80%
<b>R</b>	Somera	1.7	5	100	2%		8%	90%	
<b>CM</b>	Somera	2.4	4	50	6%		14%	30%	
<b>CM</b>	Somera	2.4	60	100	1%		49%	50%	
<b>CM</b>	Somera	2.9	59	100	4%		20%	76%	
<b>CV</b>	Somera	2.2	2	30	24%	2%	4%		
<b>CV</b>	Somera	2.2	3	30	4%			26%	
<b>CV</b>	Somera	2	1	20	16%	4%			
<b>Tipo de sustrato</b>	<b>Área 2</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Núm. de muestra</b>	<b>Cobertura total del ensamble (%)</b>	<b>Filamentosas</b>	<b>Laminadas</b>	<b>Ramificadas</b>	<b>Calcáreas articuladas</b>	<b>Costrosas</b>
<b>R</b>	Profunda	7.3	41	100	2%	2%	8%	20%	68%

<b>R</b>	Profunda	7.2	43	20	5%		15%		
<b>R</b>	Profunda	6.7	40	100			10%	10%	80%
<b>CM</b>	Profunda	8.3	45	100	9%	7%	80%	4%	
<b>CM</b>	Profunda	6.2	39	100			9%	80%	11%
<b>CM</b>	Profunda	7.7	44	90	1%		39%	50%	
<b>CV</b>	Profunda	6.4	16	30	1%			20%	9%
<b>CV</b>	Profunda	6.2	11	40	2%			38%	
<b>CV</b>	Profunda	6	14	70	1%		53%	16%	
<b>R</b>	Media	6.2	49	90	1%		50%	29%	20%
<b>R</b>	Media	5	28	100	5%	5%	6%	84%	
<b>R</b>	Media	4.5	30	100	5%	6%	32%	57%	
<b>CM</b>	Media	6.4	35	90				90%	
<b>CM</b>	Media	5.3	38	90	9%			81%	
<b>CM</b>	Media	6.1	37	70				70%	
<b>CV</b>	Media	4.3	36	15	2%			13%	
<b>CV</b>	Media	5.5	26	20	3%		1%	16%	
<b>CV</b>	Media	5.5	24	20	20%				
<b>R</b>	Somera	5.3	15	30	5%		8%	17%	
<b>R</b>	Somera	4.3	50	100	1%	9%	9%	6%	75%

<b>R</b>	Somera	4.7	27	100	4%	6%	4%	30%	56%
<b>CM</b>	Somera	4.2	23	100		12%		88%	
<b>CM</b>	Somera	4	51	100	6%			94%	
<b>CM</b>	Somera	4.3	19	80				80%	
<b>CV</b>	Somera	4.3	21	10	2%		2%	6%	
<b>CV</b>	Somera	3.7	20	80	12%		6%	62%	
<b>CV</b>	Somera	3.8	22	30	1%	2%	2%	25%	

CV=coral vivo, CM=coral muerto y R=roca

### Anexo 3

Tabla 3.1. Porcentaje de similitud en cada sustrato y contribución de los grupos forma-función a la similitud en cada sustrato.

Sustrato	Porcentaje de similitud	Grupo forma-función	% Contribución	% Acumulado
<b>Coral Vivo</b>	35.21	Calcáreas articuladas	60.77	60.77
		Filamentosas	26.88	87.64
		Ramificadas	6.61	94.26
<b>Coral Muerto</b>	58.15	Calcáreas articuladas	61.95	61.95
		Costrosas	30.31	92.25
<b>Roca</b>	50.30	Costrosas	51.82	51.82
		Calcáreas articuladas	22.52	74.33
		Costrosas	19.5	93.84

Tabla 3.2. Porcentaje de disimilitud entre sustratos y contribución de los grupos forma-función a la diferencia entre sustratos.

Sustratos	Porcentaje de disimilitud	Grupo forma-función	% Contribución	% Acumulado
<b>CV-CM</b>	68.47	Calcáreas articuladas	47.52	47.52
		Costrosas	26.93	74.45
		Ramificadas	15.48	89.93
		Filamentosas	8.59	98.52
<b>CV-R</b>	72.38	Costrosas	44.55	44.55
		Calcáreas articuladas	28.24	72.79
		Ramificadas	17.26	90.05
<b>CM-R</b>	53.71	Costrosas	38.35	38.35
		Calcáreas articuladas	37.9	76.25
		Ramificadas	17.65	93.9

Tabla 3.3. Porcentaje de similitud en cada época del año y contribución de los grupos forma-función a la similitud.

Época del año	Porcentaje de similitud	Grupo forma-función	% Contribución	% Acumulado
<b>Secas</b>	46.08	Calcáreas articuladas	61.78	61.78
		Ramificadas	14.04	75.82
		Filamentosas	13.92	89.74
		Costrosas	9.49	99.23
<b>Lluvias</b>	49.70	Costrosas	52.25	52.25
		Calcáreas articuladas	34.94	87.19
		Ramificadas	8.15	95.34

Tabla 3.4. Porcentaje de disimilitud en cada época del año y contribución de los grupos forma-función a la diferencia entre épocas.

Época del año	Porcentaje de disimilitud	Grupo forma-función	% Contribución	% Acumulado
<b>Secas-Lluvias</b>	62.40	Costrosas	41.56	41.56
		Calcáreas articuladas	30.5	72.06
		Ramificadas	15.24	87.3
		Filamentosas	10.7	98

## Anexo 4

Tabla 4.1. Análisis Post-Hoc de sustrato-profundidad de la composición de especies en la zona somera.

Sustratos	t	Permutaciones	P(MC)	P(permutacional)
<b>CV-CM</b>	1.4849	999	0.104	0.084
<b>CV-R</b>	3.0386	999	0.001	<b>0.001</b>
<b>CM-R</b>	3.3079	999	0.001	<b>0.001</b>

CV=coral vivo, CM= coral muerto y R=roca  
Valores en negritas significativamente diferentes

Tabla 4.2. Análisis Post-Hoc de sustrato-profundidad de la composición de especies en la zona media.

Sustratos	t	Permutaciones	P(MC)	P(permutacional)
<b>CV-CM</b>	2.0385	999	0.02	<b>0.013</b>
<b>CV-R</b>	1.8269	999	0.012	<b>0.008</b>
<b>CM-R</b>	2.8578	998	0.001	<b>0.001</b>

CV=coral vivo, CM= coral muerto y R=roca  
Valores en negritas significativamente diferentes

Tabla 4.3. Análisis Post-Hoc de sustrato-profundidad de la composición de especies en la zona profunda.

Sustratos	t	Permutaciones	P(MC)	P(permutacional)
<b>CV-CM</b>	1.4273	999	0.098	0.066
<b>CV-R</b>	1.8191	997	0.013	<b>0.005</b>
<b>CM-R</b>	1.9874	999	0.007	<b>0.005</b>

CV=coral vivo, CM= coral muerto y R=roca  
Valores en negritas significativamente diferentes

Tabla 4.4. Análisis Post-Hoc de sustrato-época de la composición de especies en secas.

Sustratos	t	Permutaciones	P(MC)	P(permutacional)
<b>CV-CM</b>	2.8822	999	0.001	<b>0.001</b>
<b>CV-R</b>	2.5372	998	0.001	<b>0.001</b>
<b>CM-R</b>	3.2978	999	0.001	<b>0.001</b>

CV=coral vivo, CM= coral muerto y R=roca  
Valores en negritas significativamente diferentes

Tabla 4.5. Análisis Post-Hoc de sustrato-época de la composición de especies en lluvias.

<b>Sustratos</b>	<b>t</b>	<b>Permutaciones</b>	<b>P(MC)</b>	<b>P(permutacional)</b>
<b>CV-CM</b>	1.7997	999	0.025	<b>0.013</b>
<b>CV-R</b>	3.175	998	0.001	<b>0.001</b>
<b>CM-R</b>	2.6114	998	0.001	<b>0.001</b>

CV=coral vivo, CM= coral muerto y R=roca  
 Valores en negritas significativamente diferentes

## Anexo 5

Tabla A5.1.1. Temperatura e intensidad de luz por zona de profundidad en el área 1 durante secas (noviembre 2011).

<b>Área 1</b>			
<b>Zona somera</b>	<b>Hora del día</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Intensidad de luz (lum/ft<sup>2</sup>)</b>
	13:50	29.252	96
	14:00	28.258	40
	14:10	28.258	13
	14:20	27.862	16
	14:30	28.655	33
	14:40	28.655	1,536.00
	14:50	28.853	1,024.00
	15:00	28.853	77
	15:10	29.053	32
	15:20	28.853	116
	15:30	28.853	768
	15:40	28.853	76
	15:50	28.853	47
	16:00	28.853	208
	16:10	28.953	20
	16:20	28.853	125
	16:30	28.853	23
	16:40	28.853	128
	16:50	28.853	48
	17:00	28.853	46
	<b>Promedio</b>	<b>28.7591</b>	<b>223.6</b>
<b>Zona media</b>	<b>Hora del día</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Intensidad de luz (lum/ft<sup>2</sup>)</b>
	13:50	37.384	0
	14:00	36.946	336
	14:10	34.585	2,560.00
	14:20	30.659	7
	14:30	35.864	3,072.00
	14:40	28.754	184
	14:50	27.272	46
	15:00	27.37	116
	15:10	28.357	1,280.00
	15:20	28.258	176
	15:30	26.683	101
	15:40	26.879	1

15:50	27.173	69
16:00	27.173	12
16:10	27.468	38
16:20	27.567	288
16:30	27.37	352
16:40	27.567	288
16:50	27.665	41
17:00	27.764	55
<b>Promedio</b>	<b>29.4379</b>	<b>451.1</b>

<b>Zona profunda</b>	<b>Hora del día</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Intensidad de luz (lum/ft<sup>2</sup>)</b>
	13:50	29.252	104
	14:00	28.159	68
	14:10	28.159	29
	14:20	27.862	14
	14:30	28.06	400
	14:40	27.961	304
	14:50	27.665	208
	15:00	28.06	176
	15:10	27.961	232
	15:20	28.258	144
	15:30	28.555	216
	15:40	28.555	116
	15:50	28.555	50
	16:00	28.456	96
	16:10	28.555	29
	16:20	28.258	62
	16:30	28.555	12
	16:40	28.159	84
	16:50	28.159	103
	17:00	27.961	126
<b>Promedio</b>		<b>28.25825</b>	<b>128.65</b>

Tabla A5.1.2. Temperatura e intensidad de luz por zona de profundidad en el área 2 durante secas (noviembre 2011).

<b>Área 2</b>			
<b>Zona somera</b>	<b>Hora del día</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Intensidad de luz (lum/ft<sup>2</sup>)</b>
	13:50	35.222	0
	14:00	34.585	6,656.00
	14:10	33.222	768
	14:20	30.558	576
	14:30	32.086	2,176.00
	14:40	29.352	17,408.00
	14:50	27.272	95
	15:00	27.37	176
	15:10	28.258	896
	15:20	28.258	224
	15:30	26.585	16
	15:40	26.879	9
	15:50	27.075	14
	16:00	27.173	43
	16:10	27.468	184
	16:20	27.37	168
	16:30	27.567	39
	16:40	27.567	20
	16:50	27.764	2
	17:00	27.665	19
	<b>Promedio</b>	<b>28.9648</b>	<b>1474.45</b>
<b>Zona media</b>	<b>Hora del día</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Intensidad de luz (lum/ft<sup>2</sup>)</b>
	13:50	37.384	0
	14:00	36.946	336
	14:10	34.585	2,560.00
	14:20	30.659	7
	14:30	35.864	3,072.00
	14:40	28.754	184
	14:50	27.272	46
	15:00	27.37	116
	15:10	28.357	1,280.00
	15:20	28.258	176
	15:30	26.683	101
	15:40	26.879	1
	15:50	27.173	69
	16:00	27.173	12

16:10	27.468	38
16:20	27.567	288
16:30	27.37	352
16:40	27.567	288
16:50	27.665	41
17:00	27.764	55
<b>Promedio</b>	<b>29.4379</b>	<b>451.1</b>

<b>Zona profunda</b>	<b>Hora del día</b>	<b>Temperatura °C</b>	<b>Intensidad de luz (lum/ft<sup>2</sup>)</b>
	13:50	36.295	0
	14:00	35.756	256
	14:10	33.118	432
	14:20	30.558	120
	14:30	32.807	16,384.00
	14:40	28.953	8,704.00
	14:50	27.173	93
	15:00	27.37	106
	15:10	28.159	192
	15:20	28.357	37
	15:30	26.585	42
	15:40	26.879	9
	15:50	27.075	27
	16:00	27.173	13
	16:10	27.37	43
	16:20	27.075	14
	16:30	27.075	17
	16:40	27.468	6
	16:50	27.567	3
	17:00	27.075	40
<b>Promedio</b>		<b>28.9944</b>	<b>1326.90</b>

Tabla A5.2.1. Temperatura e intensidad de luz por zona de profundidad en el área 1 durante lluvias (junio 2012).

<b>Área 1</b>			
<b>Zona somera</b>	<b>Hora del día</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Intensidad de luz (lum/ft<sup>2</sup>)</b>
	13:50	29.152	109
	14:00	29.152	960
	14:10	29.053	97
	14:20	29.452	208

14:30	29.252	103
14:40	29.252	432
14:50	29.252	2,432.00
15:00	29.152	384
15:10	29.452	320
15:20	29.252	1,152.00
15:30	29.452	152
15:40	29.452	432
15:50	29.252	184
16:00	29.352	128
16:10	28.853	112
16:20	28.853	1,024.00
16:30	28.754	136
16:40	28.655	53
16:50	28.555	608
17:00	28.853	192
<b>Promedio</b>	<b>29.1226</b>	<b>460.9</b>

<b>Zona media</b>	<b>Hora del día</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Intensidad de luz (lum/ft<sup>2</sup>)</b>
	13:50	28.555	400
	14:00	28.456	704
	14:10	28.953	1,856.00
	14:20	28.754	272
	14:30	29.152	3,584.00
	14:40	29.252	79
	14:50	29.053	99
	15:00	29.252	99
	15:10	29.053	65
	15:20	28.853	49
	15:30	28.754	86
	15:40	28.555	176
	15:50	28.953	608
	16:00	29.252	1,088.00
	16:10	28.655	768
	16:20	28.555	432
	16:30	28.555	64
	16:40	28.555	672
	16:50	28.456	4,096.00
	17:00	28.853	216
	<b>Promedio</b>	<b>28.8238</b>	<b>770.65</b>

Zona profunda	Hora del día	Temperatura (°C)	Intensidad de luz (lum/ft <sup>2</sup> )
	13:50	28.06	1,216.00
	14:00	28.159	272
	14:10	28.06	118
	14:20	28.06	400
	14:30	28.258	90
	14:40	28.06	704
	14:50	28.06	320
	15:00	28.06	368
	15:10	28.06	46
	15:20	27.961	1,088.00
	15:30	27.961	87
	15:40	28.159	67
	15:50	28.159	208
	16:00	28.357	136
	16:10	27.862	69
	16:20	27.862	20
	16:30	27.862	320
	16:40	28.06	128
	16:50	28.456	304
	17:00	28.953	91
	<b>Promedio</b>	<b>28.12445</b>	<b>302.60</b>

Tabla A5.2.2. Temperatura e intensidad de luz por zona de profundidad en el área 2 durante lluvias (junio 2012).

<b>Área 2</b>			
Zona somera	Hora del día	Temperatura (°C)	Intensidad de luz (lum/ft <sup>2</sup> )
	13:50	28.06	16
	14:00	28.06	2
	14:10	28.06	2
	14:20	28.06	20
	14:30	28.06	1
	14:40	28.06	256
	14:50	27.862	35
	15:00	27.764	27
	15:10	27.862	0
	15:20	28.754	109
	15:30	29.152	208

15:40	28.258	192
15:50	28.06	128
16:00	28.655	272
16:10	28.258	136
16:20	27.961	93
16:30	27.862	77
16:40	27.961	8
16:50	28.06	16
17:00	28.258	23
<b>Promedio</b>	<b>28.15435</b>	<b>81.05</b>

<b>Zona media</b>	<b>Hora del día</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Intensidad de luz (lum/ft<sup>2</sup>)</b>
	13:50	28.357	48
	14:00	28.258	304
	14:10	28.258	75
	14:20	28.159	352
	14:30	28.357	384
	14:40	28.06	16
	14:50	27.862	14
	15:00	27.862	73
	15:10	27.764	23
	15:20	28.357	104
	15:30	28.258	176
	15:40	28.258	240
	15:50	28.159	128
	16:00	28.456	320
	16:10	28.357	152
	16:20	28.159	90
	16:30	28.06	70
	16:40	28.159	0
	16:50	28.159	6
	17:00	28.456	1
	<b>Promedio</b>	<b>28.18875</b>	<b>128.8</b>

<b>Zona profunda</b>	<b>Hora del día</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Intensidad de luz (lum/ft<sup>2</sup>)</b>
	13:50	28.159	47
	14:00	28.06	256
	14:10	28.06	320
	14:20	28.159	110
	14:30	28.159	124

14:40	28.06	136
14:50	27.862	25
15:00	27.764	84
15:10	27.764	0
15:20	28.258	208
15:30	27.961	512
15:40	28.06	31
15:50	28.06	19
16:00	28.456	47
16:10	28.357	16
16:20	28.357	8
16:30	28.357	6
16:40	28.456	0
16:50	28.655	0
17:00	28.754	1
<b>Promedio</b>	<b>28.1889</b>	<b>97.5</b>

Tabla A5.3. Movimiento de agua. Porcentaje de desgaste de las esferas de escayola por disolución (Mt) en secas (noviembre 2011).

Secas (noviembre 2011)						
Área	Zona de ubicación	No. de esfera	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Pi - Pf (g)	Mt
<b>1</b>	Profunda	1	23.52	21.8	1.72	7.32%
	Profunda	2	23.79	20.53	3.26	13.71%
	Media	3	24.92	0	24.9	100%
	Media	4	16.5	14	2.5	15.16%
	Somera	5	26.68	0	26.68	100%
	Somera	6	26.6	0	26.6	100%
<b>2</b>	Profunda	8	25.03	22.76	2.27	9.07%
	Media	9	26.71	24.93	1.78	6.67%
	Somera	11	24.74	19.32	5.42	21.91%

En el área 2 sólo se colocó una esfera por zona debido al desprendimiento de las mismas por los pescadores.

Tabla A5.4. Movimiento de agua. Porcentaje de desgaste de las esferas de escayola por disolución (Mt) en lluvias (junio 2012).

Lluvias (junio 2012)						
Área 1	Zona de ubicación	No. de esfera	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Pi - Pf (g)	Mt
	Profunda	18-68-18	32.2	27.8	4.4	13.66%
	Profunda	17-67-13	34.4	29.4	5	14.53%
	Media	16-66-30	36.7	31.78	4.92	13.40%
	Media	15-65-21	25.8	20.7	5.1	19.76%
	Somera	14-64-13	33.9	27.28	6.62	19.52%
	Somera	13-63-53	35.9	31.18	4.72	13.14%
Área 2	Zona de ubicación	No. de esfera	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Pi - Pf (g)	Mt
	Profunda	19-69-17	35.4	32.62	2.8	7.90%
	Profunda	20-70-23	33.6	30.9	2.7	8.03%
	Media	21-71-25	34.7	31.72	2.98	8.58%
	Media	22-72-16	35	32	3	8.57%
	Somera	23-73-18	27.4	23.6	3.8	13.86%
	Somera	24-74-33	28.4	28.1	0.3	1.05%