



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESTRUCTURA Y DINÁMICA DE LOS ENSAMBLES DE
MACROALGAS Y SEDIMENTACIÓN EN EL ARRECIFE
CORALINO EL ZACATOSO, ZIHUATANEJO,
GUERRERO, MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BÍOLOGA

P R E S E N T A:

TANIA MONSERRAT SALDIVAR CRUZ

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. NORMA ANGÉLICA LÓPEZ GÓMEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX. 2019





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.

HOJA DE DATOS DEL JURADO

1. Datos del alumno:

Saldivar

Cruz

Tania Monserrat

55 22 56 90 35

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Biología

309261524

2. Datos del asesor:

Dra.

Norma Angélica

López

Gómez

3. Datos del sinodal 1:

Dra.

Dení Claudia

Rodríguez

Vargas

4. Datos del sinodal 2:

Dra.

María Edith

Ponce

Márquez

5. Datos del sinodal 3:

Dr.

Ramón Andrés

López

Pérez

6. Datos del sinodal 4:

Dr.

Héctor Hugo

Nava

Bravo

7. Datos de la tesis:

Estructura y dinámica de los ensamblajes de macroalgas y sedimentación en el arrecife coralino El Zacatoso, Zihuatanejo, Guerrero, México. 87 pp. 2019.

DEDICATORIA

Con especial dedicatoria a Guillermo Saldivar Cruz (Q.E.P.D.) ... Muchas gracias por ser un papá para mí, por sentirte orgulloso por cada uno de mis logros y por enseñarme a luchar por mis sueños sin importar lo difícil que estos parezcan, así como tú lo hiciste. Donde quiera que te encuentres siempre estás orgulloso de mí y gracias por ser parte de mi vida.

A mi mamá, Sandra Saldivar... gracias por siempre estar conmigo, por creer en mí ciegamente, por sacarme adelante y por apoyar cada paso que he dado. Te amo.

A mis abuelos Georgina Cruz y Felipe Saldivar... son las mejores personas que puedo tener a mi lado, muchas gracias por siempre darme todo lo que he necesitado, por sentirse orgullosos de mí, por estar conmigo incondicionalmente y celebrar cada uno de mis logros, los amo infinitamente.

A mis tíos: Jorge Saldivar, Enrique Saldivar y Roberto Saldivar... a cada uno le agradezco infinitamente por ser como un papá para mí, por todo su apoyo incondicional, por sus sabios consejos, por cuidarme, por enseñarme otra perspectiva de la vida, por estar orgullosos de mí y por ayudarme a ser una mejor persona.

A mi hermana Daniela... gracias por todo tu cariño que siempre me ofreces.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a la Universidad por haberme otorgado el mejor conocimiento, los mejores valores, permitirme conocer y trabajar con increíbles profesores, haber tenido experiencias increíbles y conocer a los mejores amigos que puedo tener.

A mi tutora, la Dra. Norma Angélica López Gómez por confiar en mí y guiarme en cada paso que di para realizar este trabajo. Por mostrarme una perspectiva más bonita de la biología, por el cariño y las atenciones tanto académicas como personales y finalmente por ser un gran ejemplo para mi vida.

Al M. en C. Pedro Ramírez-García Armora por su apoyo incondicional el cual fue clave para que este trabajo pudiera llevarse a cabo. Gracias por todo el conocimiento, orientación y tiempo que me compartiste.

Al M. en C. Carlos Federico Candelaria Silva por su apoyo y atenciones proporcionadas en cada una de las salidas al campo, así como por compartirme su conocimiento y técnicas tanto en el campo como en el laboratorio para poder realizar un mejor trabajo.

A la DGAPA-PAPIIT por el apoyo financiero al proyecto IA203914 “Estructura y dinámica de los ensamblajes de macroalgas en arrecifes coralinos con diferentes regímenes de sedimentación en Zihuatanejo, Guerrero”

A mis sinodales por su dedicación, tiempo invertido y la aportación de sus valiosos conocimientos durante la revisión de mi tesis

- Dra. Dení Claudia Rodríguez Vargas
- Dra. María Edith Ponce Márquez
- Dr. Ramón Andrés López Pérez
- Dr. Héctor Hugo Nava Bravo

A mis amigos: Jessica, Saúl, Luis, Ramón, Gabriela y Paola... gracias por estar siempre conmigo, por confiar en mí, por ser personas increíbles en mi vida, por su apoyo incondicional, por ser el mejor equipo que puedo tener y por cada una de las experiencias y aprendizajes que juntos hemos logrado tener.

CONTENIDO

	Página
1. Introducción	1
2. Marco Teórico	4
3. Antecedentes	11
4. Hipótesis	20
5. Justificación	21
6. Área de estudio	23
7. Objetivos	25
7.1 Objetivo general	25
7.2 Objetivos particulares	25
8. Material y Métodos	26
8.1 Ensamblajes algales y corales	26
8.2 Factores ambientales	29
8.3 Análisis estadísticos	31
9. Resultados	33
9.1 Grupos algales	33

9.2 Comunidad coralina	41
9.3 Datos ambientales	47
9.4 Análisis estadísticos	51
10. Discusión	53
11. Conclusiones	63
12. Bibliografía citada	66
13. Anexo 1	78

1. INTRODUCCIÓN

Las macroalgas arrecifales son un grupo de organismos fotosintéticos con niveles de organización y patrones de construcción del talo semejantes (Collado- Vides & Braga, 1996). Son un grupo muy heterogéneo que ha sido taxonómicamente definido con base en criterios fenéticos o sea a partir de semejanzas morfológicas y funcionales y no por un origen filogenético común (Díaz-Pulido *et al.*, 2007). Son muy diversas en cuanto a su morfología, anatomía y fisiología, y pueden formar ensambles de especies muy complejos, con diversas formas de crecimiento, y grupos funcionales.

Los arrecifes coralinos son estructuras masivas hechas de carbonato de calcio (CaCO_3). El grupo más importante de organismos constructores de arrecifes es el de los corales. *Coral* es un término general para designar a varios grupos de cnidarios de los que sólo algunos construyen arrecifes, los corales hermatípicos (Castro & Huber, 2007). Los arrecifes coralinos se encuentran entre los ecosistemas más productivos y diversos de la Tierra, en su mayoría (con excepción de aquellos que se desarrollan en el Pacífico tropical oriental) son únicos porque se originan en aguas que están prácticamente desprovistas de nutrientes y proporcionan una multitud de valiosos servicios ecosistémicos. Los servicios derivados de los arrecifes coralinos son esenciales para la seguridad alimentaria de millones de personas que viven en comunidades costeras tropicales (Souter & Lindén, 2000).

La biodiversidad de los arrecifes coralinos alrededor del mundo ha ido disminuyendo durante las últimas décadas (Bruno *et al.*, 2009). Lo cual a nivel ecológico y económico tiene grandes repercusiones, ya que los arrecifes proveen de servicios ecosistémicos calculados en más de 375 billones de dólares al año (Souter & Lindén, 2000 y Vroom *et al.*, 2006). Debido a causas naturales o antropogénicas, existen diferentes tipos de disturbios sobre los ecosistemas arrecifales que pueden provocar la sustitución de especies afectando la compleja red de interacciones. Algunos de los principales disturbios antropogénicos son la sobrepesca, la muerte causada por el rompimiento de los corales debido a distintas artes de pesca, la introducción de nuevas especies que se convierten en depredadoras, sin tener

ningún depredador, entre otras. El deterioro también puede ser ocasionado por un conjunto de fenómenos naturales, tales como huracanes, enfermedades, marea, mar de fondo y sedimentación (Birrell *et al.*, 2008 y Bahartan *et al.*, 2010).

La sedimentación se ha producido a ritmos sin precedentes en todo el mundo. La acumulación de sedimentos en el bentos marino es un factor importante de estrés, ya que produce sofocamiento de los organismos establecidos en el fondo. El origen de los sedimentos es consecuencia de actividades como las descargas industriales y domésticas, la deforestación y el dragado. Los efectos directos de la sedimentación son el enterramiento/asfixia, abrasión y modificaciones físicas del fondo porque se reemplaza el sustrato duro y estable por uno de partículas inestables cuya consecuencia es la pérdida de un hábitat adecuado para el establecimiento de los organismos (McClanahan & Obura 1997 y Carballo, 2006).

La sedimentación afecta la estructura de las comunidades a través de cambios en la composición, abundancia, diversidad y distribución de las algas e invertebrados como corales. Los efectos indirectos incluyen la disminución de la luz debido al incremento de la turbidez y frecuentemente pueden estar asociados con aportes elevados de nutrientes. Esta interacción entre la luz y la sedimentación puede explicar en parte la variación de la estructura de las comunidades en el ambiente submareal, ya que la acumulación de partículas sobre el fondo, reduce la luz disponible para la fotosíntesis (Airoldi, 2003).

Los efectos de la sedimentación sobre los ensamblajes macroalgales son variados y complejos, ya que están involucrados en diferentes procesos, como el asentamiento, reclutamiento, crecimiento y supervivencia de las especies individuales, así como en las interacciones competitivas depredador-presa (Bruno *et al.* 2009). Varios autores han descrito patrones de zonación de especies de macroalgas y ensamblajes en donde la sedimentación está totalmente relacionada con la distribución de las especies (Chapman, 1943; Lilly *et al.*, 1953; Little & Smith 1980 y Pedersen & Snoejis 2001 en Airoldi, 2003).

No todas las especies y ensamblajes algales reciben el mismo impacto, las respuestas pueden variar en función del espacio-tiempo y estas dependen de las

características del ambiente de deposición, de las historias de vida de las especies, y de la etapa de desarrollo de individuos y el tipo de ensamblajes. Algunas de las respuestas que se tienen registradas son, cambios en la composición y distribución de las especies, inhibición en el asentamiento, mortalidad, reducción de la diversidad y monopolización de especies, asociaciones de los céspedes con los sedimentos, inhibición del crecimiento y la fertilidad, cambios en la morfología de las especies, prevalencia de rasgos morfológicos, desarrollo o crecimiento mejorados, entre otros (Airoldi, 2003).

El impacto de los sedimentos en los ensamblajes algales ha sido ampliamente estudiado en diversas costas del mundo (Woolfe & Larcombe, 1999; Weber *et al.*, 2006; Bruno *et al.* 2009 y Storlazzi *et al.*, 2009). Sin embargo, en la región de Zihuatanejo es aún incipiente (García- Martínez, 2009; Vázquez- Texcotitla, 2009 y Nava *et al.*, 2013), a pesar de los severos efectos que la acumulación de sedimentos tiene sobre los organismos del fondo.

Por lo tanto, el objetivo de esta tesis es determinar la estructura de los ensamblajes algales en un arrecife sometido al aporte de sedimentos en Ixtapa- Zihuatanejo a lo largo de un ciclo anual.

2. MARCO TEÓRICO

Las algas desempeñan diferentes funciones ecológicas dentro de un ecosistema marino. En un arrecife de coral, las algas contribuyen al mantenimiento de la salud del arrecife, cumplen papeles ecológicos importantes como ser refugio y sitios de ovoposición, son productoras primarias, fijan nitrógeno, son partícipes de la construcción y el armazón del arrecife, facilitan el establecimiento del coral y la creación de hábitats para otras especies dentro del arrecife (Díaz-Pulido *et al.*, 2007).

Un alto porcentaje de la producción primaria en un arrecife de coral es debido a las algas bentónicas, quienes producen el equivalente al 10% de la producción total del plancton (Márquez & Patiño, 1985). La materia orgánica producida por las algas entra a la red trófica del arrecife por distintas vías. Muchas algas son consumidas principalmente por peces herbívoros, cangrejos, erizos de mar, entre otros, mientras que el carbono disuelto, liberado por las algas en el agua, entra en la red trófica microbiana. Por su parte, una porción de la materia orgánica (proteínas, aminoácidos, lípidos, carbohidratos, grasas etc.) es exportada como detritus por las corrientes y las mareas a los ecosistemas adyacentes.

Fenómenos como el cambio climático pueden conducir a un incremento general en la cantidad total de macroalgas, lo cual puede ser perjudicial para el ecosistema arrecifal. Algunas taxa de algas pueden prosperar, pero en cambio otros pueden disminuir considerablemente (Díaz-Pulido *et al.*, 2007). El resultado final es que se desarrollan ensambles algales que son notablemente diferentes en cuanto a la composición taxonómica y a las funciones ecológicas originales.

Una de las interacciones más importantes para el monitoreo de los arrecifes coralinos, es la que ocurre entre las algas, los peces y los corales (<http://www.agrra.org>). Cuando ocurren cambios en la estructura y la dinámica de la comunidad de uno de estos grupos, los otros dos también son afectados. El equilibrio entre los corales escleractinios (corales pétreos o corales duros) y las algas, no debería ser alterado cuando existe un enriquecimiento de nutrientes impulsado naturalmente. Sin embargo, los efectos combinados de menor número

de herbívoros, junto con mayor suministro de nutrientes (eutrofización) pueden cambiar el equilibrio a favor de las algas. A este fenómeno se le denomina cambio de fase y se presenta cuando el arrecife pasa de ser dominado por los corales, a ser dominado por las macroalgas, principalmente aquellas con forma de crecimiento cespitoso (Vroomet *et al.*, 2006 y Bahartan *et al.*, 2010). Dicho cambio puede tener implicaciones ecológicas importantes, entre ellos la pérdida de complejidad estructural que conduce a una disminución en la biodiversidad y riqueza de las especies, y en consecuencia a un ecosistema inestable (Barott *et al.*, 2012).

Aún existe controversia acerca del daño que las macroalgas pueden causar al arrecife, sin embargo, la información generada por diversos autores indica que la ¹estructura de los ensamblajes algales y su relación con las especies de coral es muy variada y particular del hábitat y de la región. (Woolfe & Larcome, 1999; Nugues & Roberts, 2003; Ogston *et al.*, 2004; Díaz-Pulido *et al.*, 2007; Bahartan *et al.*, 2010 y Barott *et al.*, 2012).

¹Según el Diccionario de la Real Academia Española, "estructura" es la disposición o modo de estar relacionadas las distintas partes de un conjunto. En el contexto de la ecología se refiere al "conjunto de especies algales que comparten el mismo arreglo espacial dentro de una comunidad y que se desarrollan en función de las características dominantes del ambiente". La estructura de un ensamblaje algal se describe a través de parámetros como la composición, riqueza, abundancia e índices de diversidad principalmente (Montoya- Moreno & Aguirre, 2013 y Monje- Nájera, 2015).

El resultado de la interacción competitiva entre los corales y las algas puede depender de las especies involucradas en el mecanismo de la interacción (Díaz-Pulido & McCook, 2002). Varios estudios han demostrado que las algas pueden dominar un arrecife sano, donde todos los procesos ecológicos esenciales están intactos (flujo de energía, dinámica de las comunidades, ciclos de nutrientes, transporte, etc.). Por ejemplo, Vroom *et al.*, 2006, monitorearon durante cinco años los arrecifes del Pacífico central y encontraron que el 33% de estos estaba dominado por ensamblajes algales, sin embargo, estos arrecifes no recibían ninguna perturbación antropogénica directa. Los autores exponen que se deben estudiar diferentes factores, como los impactos ambientales recibidos directamente debido a su posición geográfica, antes de indicar que algún organismo esté causando un daño directo al ecosistema. En el caso de las algas, éstas tienen que ser estudiadas a partir de interacciones específicas, es decir de las relaciones especie-especie debido a que las respuestas varían considerablemente. Otro ejemplo es el del alga roja filamentosa *Corallophyla huysmansii* que puede establecerse, sobrecrecer y matar el tejido del coral vivo debido probablemente a la síntesis de productos aleloquímicos, sin embargo, céspedes de algas filamentosas mostraron tener efectos mínimos sobre los polipos del coral (Jompa & McCook, 2003).

La reducción de herbívoros debido a la sobrepesca y al incremento de diferentes nutrientes, han demostrado ser factores que propician el crecimiento de los céspedes algales y las macroalgas carnosas, lo cual conduce a la degradación del arrecife coralino (Barott *et al.*, 2012). Una comunidad dominada por distintos ensamblajes de macroalgas (céspedes o carnosas) puede ser muy persistente, especialmente si los factores que dieron lugar a que su tasa de crecimiento aumentara, siguen presentes (Bahartan *et al.*, 2010). Sin embargo, muchos arrecifes coralinos que han sido dañados, pueden recuperarse cuando se detiene la amenaza. La capacidad de los arrecifes coralinos de responder a perturbaciones sin alterar significativamente sus características de estructura y funcionalidad pudiendo regresar a su estado original una vez que la perturbación ha terminado, se conoce como resiliencia. No obstante, la resiliencia dependerá de varios factores incluyendo el estado de las poblaciones de los peces herbívoros, la disponibilidad

del sustrato idóneo para el asentamiento de las larvas de coral, la calidad del agua y la oceanografía local (Putra *et al.*, 2015).

La sedimentación y la turbidez se conocen como factores limitantes en el desarrollo de los arrecifes de coral (Woolfe & Larcome, 1999). La magnitud y la duración de la turbidez y de la sedimentación, contribuyen al nivel de degradación, ya que juegan un papel importante en la respuesta ecológica de los corales. El impacto de los sedimentos está relacionado con su composición, tamaño, forma y densidad, así como con algunas condiciones ambientales como la marea, las olas y las características del fondo marino (Airoldi, 2003).

La creciente preocupación sobre la degradación de los hábitats costeros como resultado del aumento de los aportes de sedimento por las actividades humanas, se refleja en la cantidad de investigación que ha sido llevada a cabo en los últimos años en regiones tropicales y costeras. Se han realizado numerosos estudios en arrecifes coralinos los cuales reportan que la sedimentación afecta a los corales de distintas formas (Nugues & Roberts, 2003). Sin embargo, muchos otros estudios han demostrado que ciertas comunidades coralinas pueden desarrollarse en ambientes con pequeñas cantidades de sedimentos suspendidos en la columna de agua, ya que éstos proporcionan ciertas cantidades de nutrientes que resultan benéficas para el arrecife (Ogston *et al.*, 2004).

El estudio de las macroalgas en cualquier ecosistema puede hacerse a través de distintas aproximaciones, una de las más utilizadas son los grupos morfo funcionales (Littler & Littler, 1984 y Steneck & Dethier, 1994), la otra es una combinación de grupos morfo-funcionales y ²forma de crecimiento, denominadas categorías algales (Díaz-Pulido *et al.*, 2007) y la de los grupos taxonómicos (Abbott & Hollenberg, 1976; Dawson, 1953, 1954, 1960, 1962 y Senties, 1993, 1995).

²Se define forma de crecimiento al resultado de las expresiones fenotípicas de los grupos algales y los diferentes patrones de construcción morfológica (Collado- Vides & Braga, 1996), e.g: forma de crecimiento cespitosa, la cual crece como un césped a partir de rizoides o estolones y que miden menos de 10 cm.

El modelo propuesto por Littler & Littler (1984), fue creado bajo la hipótesis de que las diferentes adaptaciones de las macroalgas (morfológicas, fisiológicas y ecológicas) pueden estar relacionadas con el nivel de disturbio ambiental. Por lo tanto, establece que las macroalgas pertenecientes a grupos taxonómicos distintos tienen características morfo-funcionales similares como respuesta a presiones ambientales similares. Los grupos morfo-funcionales en los que se clasifican las algas son: láminas filamentosas, ramificadas, articuladas calcáreas, correosas y costrosas.

Las macroalgas no sólo son más diversas que la mayoría de otros grupos en hábitats de arrecifes de coral, son también más complejas en morfología funcional y funciones ecológicas. Dada esta diversidad, deben suponerse diferentes grupos morfo-funcionales para responder de diversas formas ante los cambios de los factores ambientales (Littler & Littler, 1984 y Díaz- Pulido & Díaz- Ruiz, 2003).

Díaz- Pulido *et al.* (2007), propusieron las siguientes *Categorías Algales*: a) céspedes algales que incluye microalgas, filamentosas, y estados juveniles de macroalgas, b) macroalgas erectas carnosas y calcáreas, que incluyen a las foliosas, cilíndricas, corticadas, correosas, y calcáreas-articuladas, c) algas costrosas, que incluyen a las costrosas calcáreas, y no calcáreas.

En la presente tesis se integraron grupos de las dos propuestas anteriores con un grupo nuevo denominado flóculo, el cual es similar a los flóculos reportados en ambientes dulceacuícolas (Valadez- Cruz, 1998). (López *et al.*, en prep.) los flóculos en este trabajo se definen como una forma de crecimiento adherido al coral, tienen textura suave y apariencia algodonosa, color rojo intenso y está formada por especies filamentosas.

La aproximación al estudio de las macroalgas a través de grupos morfo-funcionales y categorías algales, tiene la ventaja, de permitir obtener rápidamente información en campo sin tener que invertir demasiado tiempo en hacer una identificación a nivel de especie, que para el investigador con poca experiencia en la taxonomía de las macroalgas es una tarea complicada. Por otra parte, permiten probar si existe relación morfoanatomica con las diferentes perturbaciones ambientales, ya que

esperaría que distintas algas que pertenecen a un mismo grupo morfo-funcional o forma de crecimiento, respondan de manera similar ante las diferentes perturbaciones ambientales.

Hay evidencia de que la presencia de las macroalgas no siempre es un indicador del mal estado de conservación de los arrecifes coralinos, sino que su efecto es diferencial dependiendo de la especie. Jompa & McCook., (2003), compararon los efectos de *Anotrichium tenue*, una rodofita filamentosa que junto con otras especies forman céspedes filamentosos sobre *Porites* spp en los arrecifes coralinos de la Gran Barrera en Australia central. Los resultados indicaron que *A. tenue* mató el tejido coralino debido a un crecimiento excesivo activo. Sin embargo, las demás especies del césped algal filamentoso no causaron mortalidad sobre el coral, lo cual sirve como evidencia del efecto letal en corales de una sola especie de alga y enfatiza la naturaleza específica de los resultados competitivos alga-coral, incluso dentro de un grupo funcional.

Las algas también pueden jugar un importante papel en la sucesión de la comunidad. La composición y el tipo de colonización de las algas pueden tener importantes consecuencias en la recuperación del coral después del periodo de blanqueamiento (Díaz-Pulido & McCook, 2002).

Aún no está completamente claro como los factores naturales (luz, temperatura, sedimentación, nutrientes, pH bajo y salinidad) contribuyen a la dinámica estacional de los ensambles de macroalgas en los arrecifes coralinos (Díaz-Pulido & Garzón-Ferreira, 2002). Los cambios de la temperatura del agua y de la concentración de nutrientes se consideran un importante factor determinando los cambios estacionales en áreas tropicales y subtropicales, ya que muchas macroalgas son estacionales. Otros factores como el dióxido de carbono y la concentración de nutrientes pueden aumentar las tasas de crecimiento algal (Díaz-Pulido *et al.* 2007 y Billerbeck *et al.*,2007). La luz es un componente necesario de las algas para realizar la fotosíntesis, sin embargo, debido al incremento en los últimos años de las radiaciones UV que recibe el planeta, las macroalgas pueden sufrir diferentes daños a nivel estructural (células fotosintéticas, ADN y tejidos reproductivos). No obstante,

es probable que las macroalgas tropicales tengan un rango de tolerancia más alto a la radiación UV que las macroalgas de aguas templadas porque han evolucionado en un ambiente naturalmente alto en radiación UV (Díaz- Pulido *et al.* 2007).

Es así que las algas, además de jugar un importante papel en los arrecifes coralinos por las interacciones que llevan a cabo con otros grupos de organismos, también son relevantes como indicadores del estado de conservación de estos ecosistemas y por ello útiles en los programas de monitoreo.

3. ANTECEDENTES

Las investigaciones sobre la estructura y la dinámica de los ensamblajes de macroalgas y sus variaciones en relación con factores físicos como la sedimentación, los nutrientes, la luz y la temperatura del agua, se han incrementado en los últimos 30 años debido al fuerte impacto que el hombre está causando a los arrecifes coralinos.

Uno de los primeros estudios realizados para evaluar la interacción alga-coral y el impacto de los sedimentos fue realizado por McClanahan & Obura (1997), quienes evaluaron la influencia de las descargas de sedimentos terrígenos debidas al cambio de uso de suelo sobre la cobertura de algas y corales. Los arrecifes estudiados representan tres niveles de exposición a los sedimentos: alto, intermedio y bajo. Se encontró que la cobertura algal se incrementó en el arrecife con baja sedimentación (control) hasta niveles parecidos a los que hay en arrecifes influidos por la sedimentación. No hubo diferencias entre las categorías algales y la influencia de la sedimentación. La cobertura de los corales se incrementó en arrecifes con influencia intermedia de sedimentos hasta niveles comparables con los arrecifes con baja influencia. La riqueza, diversidad y dominancia de corales fue similar en todos los arrecifes, excepto en el arrecife control. Hubo una correlación positiva significativa entre la abundancia de géneros de coral y el tamaño de las colonias a través del tiempo entre arrecifes, lo cual sugiere que hay géneros tolerantes al sedimento (*Echinopora*, *Galaxea*, *Hydnophora*, *Milleopora* y *Platigyra*) y géneros intolerantes (*Pocillopora*, *Favia* y *Montipora*), otros géneros resultaron tener una tolerancia intermedia (*Acropora*, *Astreopora*, *Favites* y *Porites*). Los arrecifes con alta influencia de sedimentos, estuvieron dominados por los géneros de corales tolerantes e intermedios y en los arrecifes con influencia baja dominaron géneros intolerantes y de tolerancia intermedia.

Birrell *et al.* (2005) investigaron los impactos de dos tipos de céspedes algales y de depósitos de sedimentos, sobre el asentamiento del coral *Acropora millepora*. La adición de sedimentos redujo el asentamiento coralino, pero los efectos de diferentes céspedes algales variaron. En un caso, los céspedes de algas inhibieron

el asentamiento coralino, mientras que el otro césped sólo inhibió el asentamiento cuando se combinó con sedimentos. Estos resultados proporcionan la primera evidencia directa y experimental de los efectos de los céspedes de algas filamentosas en el asentamiento coralino, y los efectos combinados potenciales de los céspedes de algas y los sedimentos atrapados.

Entre los estudios de competencia coral-alga, se ha encontrado que los corales son competidores superiores cuando no están expuestos a distintos disturbios como altas tasas de sedimentación, altas concentraciones de nutrientes y baja riqueza y abundancia de organismos herbívoros, acidificación oceánica e incremento de la temperatura superficial (Barott *et al.*, 2009, 2011 y 2012 y Vermeij *et al.*, 2010). Además, se encontró que las colonias de coral más pequeñas y las más grandes son mejores competidores que las algas. Las colonias más pequeñas de ciertas especies competitivamente dominantes de corales son competidoras superiores cuando se encuentran rodeadas de algas, ya que aumentan su tasa de crecimiento y disminuye su tasa de reproducción como estrategia para ahorrar energía y defenderse de los ensambles algales (Barott *et al.*, 2012).

Por su parte Díaz-Pulido & McCook (2004), estudiaron la capacidad de *Sargassum* spp. y *Lobophora variegata* para asentarse y crecer en tejido coralino sano. Se encontró que los corales sanos impiden la adhesión o sobrevivencia de reclutas de macroalgas. Este hallazgo es significativo, ya que sugiere que la sustitución de los corales por algas implica el estrés previo o la muerte en el tejido coralino. Finalmente, los resultados no apoyan las sugerencias de que los propágulos de las algas puedan asentarse directamente y colonizar el tejido coralino sano.

El impacto de la sedimentación en la interacción alga-coral a través de la mortalidad y el crecimiento radial en *Colpophyllia natans* y *Siderastrea siderea* fue estudiado por Nugues & Roberts (2003). Particularmente el trabajo se enfocó en investigar si la sedimentación puede facilitar el sobrecrecimiento algal de los corales y si ésta fue la causa de la mortalidad del coral. La mortalidad del tejido del coral se relacionó con la cercanía de la fuente de sedimento. *Colpophyllia natans* tuvo una disminución de biomasa ya que se encontró más cerca de la fuente de sedimento y en *S. siderea*

fue cercano a cero a través del gradiente de sedimentos, lo cual sugiere que la sedimentación puede conducir a la degradación de los arrecifes, suprimiendo el crecimiento de colonias adultas y así facilitar el crecimiento de las algas.

En otro estudio realizado por McCook (2001), en la costa central de la Gran Barrera Australiana, cuyo objetivo fue evaluar la competencia por espacio entre el coral *Porites lobata* y céspedes algales filamentosos en tres arrecifes a lo largo de un gradiente de exceso de nutrientes, se encontró que las algas tienen poco efecto sobre el crecimiento de los corales. Por el contrario, los corales inhiben significativamente el crecimiento de las algas, lo cual sugiere que *P. lobata* es un competidor superior. Estas respuestas no sostienen el argumento de que las algas son competidores más exitosos en condiciones eutróficas

Para conocer los efectos de las macroalgas sobre los corales en proceso de recuperación después de una perturbación Bender *et al.* (2012) colocaron tres especies de algas bentónicas y céspedes en esqueletos de *Acropora pulchra* y *Acropora aspera*. La macroalga filamentosa *Chlorodesmis fastigiata* retrasó la recuperación del tejido en *A. pulchra*, pero no en *A. aspera*. El alga parda *Lobophora abigarra*, la coralina *Porolithon onkodes*, y las algas cespitosas, sólo tuvieron efectos menores sobre la recuperación de coral. Esto sugiere que el resultado del proceso de regeneración es altamente variable y dependiente de las especies de coral y algas involucradas.

Flórez-Leiva *et al.* (2010), estudiaron el efecto de la sedimentación en el reclutamiento y crecimiento de las macroalgas *Dictyota* spp. y *Lobophora variegata*. Se encontró una gran variedad de respuestas favorables y desfavorables de las algas a la sedimentación. Esto dependió del nivel de sedimento empleado (adición o remoción), el alga estudiada y el parámetro poblacional considerado (reclutamiento o crecimiento).

También se han realizado trabajos encaminados a determinar si los arrecifes se encuentran en el cambio de fase coral-alga. Chin *et al.* (2014), determinaron el estado de los arrecifes coralinos de Foul y las Bahías de Folly. La mayoría de las áreas estudiadas, estaban dominadas por las algas, lo que se interpretó como un

cambio de fase. Sin embargo, la cobertura coralina varió significativamente a través de las bahías. Se concluyó que en general, el estado de los arrecifes es deficiente, probablemente debido a la sobrepesca, la ausencia de erizos y la proliferación de algas es más bien una consecuencia de estos disturbios.

Los patrones y procesos que rigen el funcionamiento de los arrecifes coralinos ocurren en diferentes escalas espaciales y temporales. Según Harris *et al.* (2015), la variabilidad espacial de la estructura de los ensamblajes de céspedes algales en los arrecifes coralinos Atolón Lhaviyani, Islas Maldivas, se manifiesta en escalas de centímetros (dentro de cabezas de coral muertas) a kilómetros (a través de las Islas). La menor variabilidad en la cobertura, la altura del dosel y la riqueza ocurrieron entre sitios, lo que sugiere que procesos como la competencia, la depredación y el crecimiento vegetativo son heterogéneos a pequeñas escalas. En cambio, la composición del ensamblaje fue menos variable en una escala más grande (kilómetros), lo que sugiere que los procesos oceanográficos o el suministro de propágulos reducen la variabilidad.

Smith *et al.* (2008), investigaron la respuesta de los arrecifes coralinos en un gradiente potencial de estrés durante cinco años en las Islas Vírgenes de Estados Unidos. Se encontró que la causa del deterioro de la salud de los corales estaba relacionada con los procesos antropogénicos que han ocasionado tasas de sedimentación de arcilla y limo cinco veces mayores en los arrecifes que se encuentran más cercanos a la costa en comparación con los arrecifes más alejados.

Weber *et al.* (2006), investigaron el estrés que provoca la interacción entre sedimentos y nutrientes sobre el coral *Montipora peltiformis*. La conclusión más importante fue que sedimentos de grano fino (limos) y ricos en nutrientes pueden causar estrés en los corales después de una corta exposición, mientras que los sedimentos de grano grueso (arenoso), pobres en nutrientes los afectan menos.

Wolansky *et al.* (2004), desarrollaron un modelo para explicar la abundancia de corales y algas en la bahía Foulhala como una función de disturbios naturales como ciclones tropicales e inundaciones fluviales, donde la tasa de recuperación de arrecifes depende de la calidad del agua y del sustrato. El modelo incluye la

competencia por espacio entre corales y algas, el reclutamiento coralino y la conectividad del arrecife. El modelo resultó exitoso en reproducir la distribución observada de las algas y corales, se concluyó que ha disminuido la visibilidad del agua, y los afloramientos coralinos y que las macroalgas cubren al coral muerto, lo cual sugiere que se debe a la erosión que proviene de las actividades humanas y que afectan al arrecife. Aunque no hay datos registrados de décadas anteriores, pescadores locales sugieren que la calidad y transparencia del agua era más notoria en los años 60.

Díaz-Pulido *et al.* (2009), probaron el efecto por especie y por forma funcional de las macroalgas, sobre el desplazamiento y asentamiento de larvas de *Platygyra daedalea*. Se concluyó que los céspedes algales y las algas calcáreas costrosas tuvieron un efecto mínimo en el asentamiento coralino, mientras que las macroalgas calcáreas erectas y carnosas inhibieron el asentamiento. Además, la magnitud de la inhibición del asentamiento larval fue diferente entre las especies de macroalgas erectas. Se concluyó que diferentes comunidades de macroalgas en arrecifes degradados pueden tener efectos diferentes sobre el asentamiento coralino, y por ende en la resiliencia de la población coralina.

Las tasas de sedimentación y los efectos de los sedimentos atrapados en comunidades coralinas pueden estar influidos por el flujo del agua. A partir de esta premisa Gowan *et al.* (2014) llevaron a cabo un estudio con el objetivo de cuantificar los gradientes de sedimentación y el flujo de agua en los arrecifes de Moorea, Polinesia Francesa, y determinar si tales gradientes se correlacionaban con la frecuencia y las interacciones entre *Porites* y los céspedes algales. La frecuencia de las interacciones *Porites*–césped y el éxito competitivo de los céspedes aumentó significativamente con la disminución de la velocidad de la corriente. La sedimentación, sin embargo, no influyó significativamente en estos patrones. Sin embargo, en el margen de los arrecifes, en ausencia de un gradiente de flujo de agua, el gradiente de sedimentación explicó la variación espacial en las frecuencias de interacción *Porites*–césped y el éxito competitivo de los céspedes de algas. Adicionalmente, se concluyó en experimentos de laboratorio que los efectos

combinados del flujo lento y de la tasa de sedimentación alta, aumentaron el área del tejido *Porites* dañado, mientras que los altos flujos atenuaron los efectos negativos de la sedimentación. Estos hallazgos implican que el flujo de agua y la sedimentación son conductores importantes de interacciones biológicas entre *Porites* y el césped de algas.

Gorgula & Connell, (2004) probaron experimentalmente si el aumento de los nutrientes en el agua, y en los sedimentos y una mayor deposición de estos explicaban mejor las coberturas de algas cespitosas en las costas urbanas. El efecto combinado de los tres tratamientos causó un aumento en la cobertura de los céspedes algales.

Hurrey *et al.* (2013), analizaron la riqueza y composición de las macroalgas de la plataforma continental de la Gran Barrera de Arrecifal para mapear áreas diversas y depauperadas e identificar las variables ambientales (profundidad, sedimentación, corrientes de agua, atenuación de la luz, clorofila, temperatura, salinidad y nutrientes disueltos) y las respuestas de los cinco ensamblajes encontrados; (*Halimeda gracilis*, Bryopsidales, césped de *Lobophora*, algas rojas foliosas y ensamblajes carentes de especies individuales con alta adhesión). Se encontró que las características de los sedimentos y la disponibilidad de la luz tuvieron la influencia más grande sobre la riqueza de los ensamblajes.

Bahartan *et al.* (2010), llevaron a cabo un estudio en los arrecifes coralinos en el Mar Rojo, para conocer la dinámica coral-alga como una causa potencial y como indicador del estado de degradación. Encontraron que en la parte norte del arrecife predominó el césped algal en la zona somera (72% de cobertura), mientras que en las proximidades el césped tuvo una cobertura mínima (6%). Se sugirió que la dominancia del césped era indicadora de degradación debido a la reducción de los componentes esenciales del arrecife después de la proliferación de dichos céspedes.

Airoidi *et al.* (1995), realizaron un trabajo en el cual se estudió la fenología reproductiva y la estacionalidad de las macroalgas marinas en el mar Mediterráneo occidental, el cual se caracterizó por altos niveles de deposición y movimiento de

sedimentos. Este trabajo arrojó resultados importantes sobre el papel de *Polysiphonia setacea*, una especie de alga filamentosa predominante en los céspedes algales que cubre grandes áreas de rocas, cuya densidad depende de las variaciones de temperatura, tasas de sedimentación y el ambiente de deposición, otras especies erectas como *Halimeda tuna* también pueden mantenerse abundantes. Por lo tanto, el estrés sedimentario como las interacciones competitivas entre *P. setacea* y especies erectas podrían desempeñar un papel importante en el mantenimiento y estructura del césped de algas en el área de estudio.

En el Pacífico tropical mexicano se han realizado algunos estudios sobre los efectos de la sedimentación en las comunidades de organismos bentónicos. En las costas de Mazatlán, se determinó el efecto de la sedimentación natural sobre la estructura de los ensambles de esponjas (Carballo, 2006). Los mayores impactos en estos ensambles fueron una reducción de la diversidad, sustitución de las especies y un cambio de una comunidad relativamente madura y estable a una comunidad más inestable, dominada por especies incrustantes más adaptadas a las condiciones ambientales locales. La fluctuación general en los patrones fue consistente con las condiciones ambientales en la bahía; los resultados sugieren que los cambios en los ensambles de esponjas pueden ser debidos en parte a las grandes fluctuaciones en la deposición del sedimento producida por un cambio en la dirección de los vientos dominantes (del norte al sur) durante la transición de la temporada de sequía a la lluviosa.

Granja-Fernández & López-Pérez, (2008), llevaron a cabo un trabajo en seis comunidades de las Bahías de Huatulco, Oaxaca con el objetivo de investigar las variaciones espacio-temporales de las tasas de sedimentación. Encontraron una relación significativa entre la tasa de sedimentación y la precipitación pluvial y concluyen que las tasas de sedimentación registradas en dos de los arrecifes (Isla Montosa e Isla Cacaluta) durante la temporada de lluvias es letal-subletal considerando la tolerancia al sedimento y la eficiencia de rechazo de los corales pétreos. Además, concluyeron que la sedimentación producida por actividades

humanas, tiene un efecto combinado que puede causar un cambio en la estructura de la comunidad coralina y la pérdida eventual de áreas arrecifales.

Específicamente en la región de Zihuatanejo, se cuenta con trabajos publicados y tesis en distintos arrecifes que incluyen investigaciones dirigidas a determinar el estado de conservación de los arrecifes y la estructura y dinámica de las comunidades de algas y otros invertebrados bajo la influencia de la sedimentación. Esta región ha sido sometida a diferentes impactos antropogénicos desde hace más de 20 años, ya que se convirtió en uno de los principales destinos turísticos del país.

Vazquez- Texcotitla, (2009), estudió el efecto de los sedimentos retenidos en la estructura de los ensambles algales submareales en Playa Las Gatas, Zihuatanejo. Encontró que la localidad presentó un césped dominado por algas carnosas-ramificadas y articuladas, diferente en términos de especies y grupos morfo-funcionales predominantes en otras regiones del mundo. Así mismo las variaciones temporales en la estructura de los ensambles de algas cespitosas se debe al efecto conjunto de la sedimentación y la hidrodinámica de la Bahía de Zihuatanejo. En esta misma Bahía, García- Martínez, (2009) estudió la estructura comunitaria de la fauna, asociada a algas submareales en tres localidades. Se encontraron diferencias en la estructura de las comunidades de invertebrados (Annelida, Mollusca, Arthropoda y Echinodermata) y los regímenes de sedimentación entre las localidades.

Durante el 2011 y 2012 Sandoval Coronado, (2016), reportó un total 43 especies de macroalgas, 32 Rhodophyta, 10 Chlorophyta, y una Ochrophyta en playa Coral en la isla Ixtapa. El sustrato con mayor cobertura fue el coral vivo y no se encontró una relación entre el porcentaje de cobertura macroalgal con la profundidad, sustrato o año, así como tampoco del sustrato con el año y la proporción de la cobertura macroalgal y sustrato.

Particularmente en el arrecife El Zacatoso, González- Pizá, (2013), registró 61 especies de macroalgas durante dos épocas del año. Se encontraron diferencias en la composición de macroalgas en las diferentes temporadas de muestreo, aunque la mayoría de esas especies tuvieron muy baja frecuencia. Finalmente, el sustrato más abundante fue coral vivo, seguido de la roca, coral muerto y ripio. También en

El Zacatoso Vazquez- Texcotitla, (2013), encontró una riqueza total de 56 especies de macroalgas. Los ensamblajes estuvieron dominados por algas calcáreas articuladas y costrosas, los cuales fueron más abundantes en el sustrato coral muerto y roca, y el ensamblaje filamentosos fue exclusivo del coral vivo. La riqueza específica fue más alta en el sustrato rocoso, seguido del coral muerto y el coral vivo.

El primer informe ecológico detallado sobre los corales y los arrecifes de coral en el estado de Guerrero en la costa del Pacífico sur fue realizado por López- Pérez *et al.* (2012), quienes evaluaron las condiciones de las comunidades de coral de una franja costera de 300 km de largo durante el 2005 y hasta el 2009. Se identificaron 15 especies de corales pétreos en 13 comunidades de coral y seis especies de *Pocillopora* dominando los arrecifes de borde. Los resultados indicaron una mayor cobertura de coral vivo en Ixtapa- Zihuatanejo (15-75%) que, en Acapulco, donde había una dominancia de algas y los corales exhibieron una alta tasa de erosión. Las diferencias pueden deberse a las presiones antropogénicas alrededor de Acapulco desde 1950, cuando se convirtió en un destino turístico importante.

4. HIPÓTESIS

- 4.1 Con altas tasas de sedimentación:
 - 4.1.1 Disminuye la riqueza de las macroalgas.
 - 4.1.2 Las especies de algas filamentosas son predominantes.
 - 4.1.3 La cobertura de especies algales se incrementa.
 - 4.1.4 La cobertura coralina disminuye.

- 4.2 La cobertura de las macroalgas se incrementa con altas concentraciones de nutrientes.
 - 4.2.1 Altas tasas de sedimentación reducen la cantidad de luz.

- 4.3 Valores altos de temperatura disminuyen la riqueza y frecuencia relativa de las macroalgas y corales.

5. JUSTIFICACIÓN

Los arrecifes coralinos están siendo amenazados a nivel mundial por diversas actividades humanas no planificadas (Birrell *et al.*, 2008; Mora, 2008; Smith, 2008 y Bahartan *et al.*, 2010). El aporte de sedimentos terrestres a los arrecifes coralinos se ha incrementado como consecuencia del cambio de uso de suelo y se ha convertido en uno de los principales factores que alteran la estructura y dinámica de las comunidades de organismos que los habitan (Airoidi, 2003), por ello se han generado numerosas investigaciones con el objetivo de evaluar el impacto que la sedimentación tiene sobre estos ecosistemas (Airoidi *et al.*, 1995; McCook, 2001; Airoidi, 2003; Nugues & Roberts, 2003; Gorgula, & Connell, 2004; Birrell *et al.*, 2005; Flórez-Leiva *et al.*, 2010 y Gowan *et al.*, 2014).

Particularmente en el arrecife El Zacatoso, el estudio de las algas y la sedimentación es incipiente pues se cuenta sólo con algunos trabajos como el de Vázquez-Texcotitla (2013), cuyo objetivo fue evaluar si los diferentes sustratos que se encuentran en el arrecife determinan la composición, la riqueza, la abundancia y la distribución de los ensamblajes algales y su relación con parámetros ambientales como la temperatura, la cantidad de luz y profundidad. También se tiene el trabajo de González- Pizá (2013), en el cual se estudió la diversidad de las macroalgas asociadas al arrecife El Zacatoso. Posteriormente Nava *et al.* (2013) estudiaron la riqueza y abundancia de esponjas asociadas a corales vivos y fragmentos de coral muerto en cinco arrecifes de coral cerca de Zihuatanejo, Guerrero, incluido el Zacatoso.

Por lo tanto, aún existe la necesidad de continuar con estudios con diferentes enfoques tendientes a conocer los factores que están afectando su estructura y dinámica para poder elaborar las propuestas de conservación adecuadas. La presente tesis es parte del proyecto "Estructura y dinámica de los ensamblajes de macroalgas en arrecifes coralinos con diferentes regímenes de sedimentación" financiado por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM (IA203914), cuyo objetivo general fue determinar la estructura y dinámica de los ensamblajes de macroalgas en dos arrecifes con distintos regímenes de

sedimentación, El Zacatoso, con regímenes más altos y Caleta de Chon, con regímenes más bajos.

6. ÁREA DE ESTUDIO

Este trabajo se llevó a cabo en el arrecife El Zacatoso (Figura 1), que se ubica en la región de Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero, a los 17°39'16" 'N y los 101°37'19.5" O

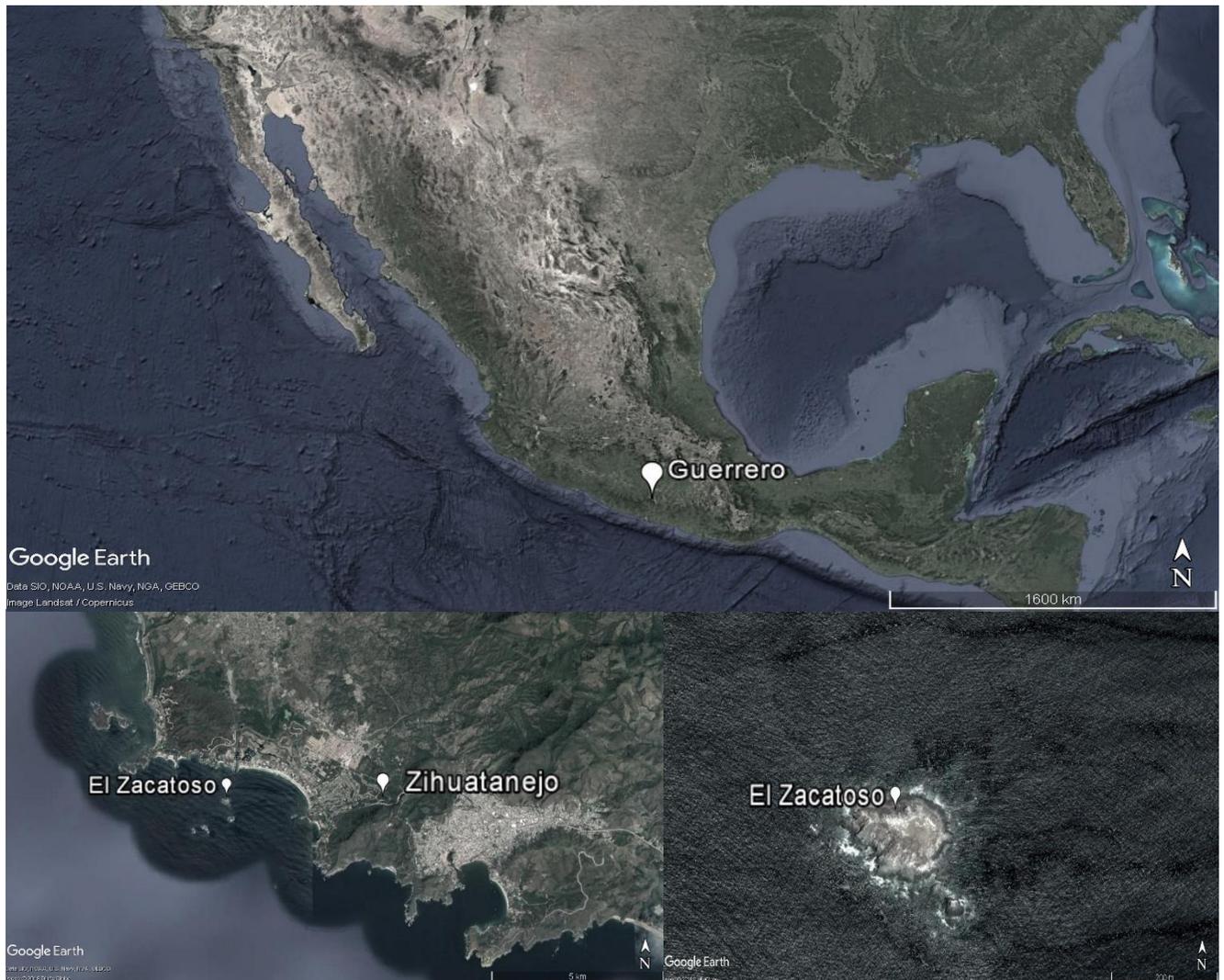


Figura 1. Ubicación del área de estudio: a) estado de Guerrero, b) región de Ixtapa-Zihuatanejo, c) arrecife El Zacatoso.

El clima es Aw o (W), cálido subhúmedo con dos periodos de lluvias separados por sequías intraestivales (canícula), con lluvias abundantes en verano y escasas lluvias invernales y temperaturas relativamente altas (temperatura mínima invernal de 18°C) (García, 1973). La temporada de lluvias comprende desde principios de junio

a mediados de septiembre (<http://administracion20142015.guerrero.gob.mx/articulos/geografia/#clima>).

Este arrecife se localiza en el extremo NO de la playa de Ixtapa, a una distancia de 1 km de la costa en línea recta (Nava *et al.*, 2013). Abarca un área aproximada de 320 x 60 m y tiene una profundidad máxima de 10.6 m (González-Pizá, 2013). La temperatura del agua oscila entre los 27°C - 32°C. El Zacatoso es uno de los numerosos parches arrecifales que se encuentran en las costas de Guerrero protegidos por ensenadas, rocas o islas que ofrecen refugio de vientos y corrientes (Reyes-Bonilla *et al.*, 2002).

El género predominante del coral es *Pocillopora* con seis especies, también son abundantes invertebrados de los Phylla Crustacea, Echinodermata y Mollusca, y vertebrados como peces, principalmente de las familias Chaetodontidae, Labridae, Ostraciidae, Pomacentridae, Tetraodontidae y Zanclidae (obs. Pers.).

7. OBJETIVOS

7.1 OBJETIVO GENERAL

7.1.1 Determinar la relación de la estructura de los ensambles algales del arrecife El Zacatoso, Zihuatanejo, con la sedimentación a lo largo de cinco fechas de estudio.

7.2 OBJETIVOS PARTICULARES

7.2.1 Determinar la composición, riqueza, cobertura y frecuencia de los ensambles de macroalgas en El Zacatoso.

7.2.2 Establecer la relación entre la estructura de los ensambles de macroalgas con las tasas de sedimentación, concentración de nutrientes, luz y temperatura del agua en El Zacatoso.

8. MATERIAL Y MÉTODOS

8.1 ENSAMBLES ALGALES Y CORALES

Actividades de campo

Se realizaron cinco salidas de campo, tres en la temporada de secas (febrero, noviembre y diciembre) y dos en la temporada de lluvias (mayo y julio). El trabajo se realizó a una profundidad de 6- 8 m, usando equipo de buceo SCUBA.

En cada mes se colocaron cuadros al azar sobre la superficie coralina. En febrero se colocaron 8 cuadros de 30 x 30 cm, divididos en nueve subcuadros de 10 x 10 cm. En mayo, julio, noviembre y diciembre se colocaron cuadros de 20 x 20 cm divididos en subcuadros de 10 x 10 cm. El número de cuadros varió en función de las condiciones ambientales, en mayo se colocaron 12 cuadros, en julio 15, en noviembre 12 y en diciembre 6.

Utilizando cuadros de 20 x 20 cm, el esfuerzo de muestreo fue menor y se obtuvieron áreas de muestreo y número de especies similares a los cuadros de 30 x 30 cm. Por esta razón se decidió utilizar unidades de muestreo de 20 x 20 cm. Esta metodología coincide por la hecha por Moncada- García, (2018) “Durante febrero se instalaron ocho unidades de muestreo de 30 x 30 cm divididos en nueve subcuadros de 10 x 10 cm. Para reducir el esfuerzo y abarcar una mayor área se decidió que las unidades de muestreo en los meses posteriores serian de 20 x 20, divididos en cuatro subcuadros de 10 x 10 cm”.

Se hizo el registro fotográfico de cada cuadro y subcuadro, con una cámara CANON 10 de 15 MG, equipada con un housing, para cuantificar la cobertura de los corales y las macroalgas posteriormente en el laboratorio.

Se recolectaron las macroalgas presentes en cada subcuadro con ayuda de un martillo, cincel y pinzas de disección y posteriormente se colocaron en bolsas de plástico previamente etiquetadas para su transportación. En total se tomaron 277 fotos y se colectaron 73 muestras de macroalgas.

Actividades de laboratorio

Las muestras de algas colectadas se fijaron en formol glicerinado al 4% con agua marina. Posteriormente se etiquetaron con los datos de fecha, localidad, número de muestra, y colectores para ser incorporadas a la Colección de Algas del Herbario de la Facultad de Ciencias, UNAM (FCME) en la colección del PTM (Pacífico Tropical Mexicano).

Para la determinación taxonómica de las especies de algas y corales, se usaron técnicas que incluyeron el uso de un microscopio óptico (OLYMPUS Modelo BX51) y un microscopio estereoscópico (OLYMPUS Modelo SZ2-ILST y SZ31-RTSF), haciendo observaciones de talos completos y cortes histológicos de las algas, usando claves, fotos y descripciones disponibles tales como: Abbott & Hollenberg (1976), Dawson, (1953, 1954, 1960, 1962), Candelaria, (1985), Hollenberg, & Dawson, (1961), Mateo-Cid, & Mendoza-González, (2012), Norris, & Johansen, (1981), Rodríguez *et al.* (2008), Senties (1993, 1995) y Senties & Dreckmann (2002). Cada especie fue asignada a su grupo algal correspondiente (Littler y Littler, 1981; Díaz-Pulido *et al.*, 2007; López *et al.*, en prep.) La identificación de las especies de coral se hizo usando las descripciones y fotografías de Veron, (2000).

Actividades de gabinete

La estructura de las comunidades algales y coralinas, se definió utilizando los siguientes parámetros: riqueza, composición, cobertura y frecuencia relativa.

Se elaboraron matrices de datos por fecha de trabajo en hojas de cálculo Excel (Microsoft Office 2016), las cuales incluyen datos de la cobertura absoluta de grupos de algas y especies de corales, la cual se obtuvo utilizando el método de ³Braun-Blanquet. Se colocó sobre cada una de las fotos de los subcuadros una lámina de acetato con una cuadrícula subdividida en cuadros de 10 x 10 cm con la finalidad de facilitar la cuantificación. Se sumó la cobertura por grupo algal y especies de coral de todos los subcuadros para obtener la cobertura (m²) total en el cuadro.

³El método de Braun-Blanquet, consiste en asignar un índice de cobertura estimada visualmente a cada grupo algal usando rangos de escala dominancia-abundancia (González-Oliva *et al.*, 2017)

La transformación de cm^2 a m^2 se realizó con la siguiente fórmula.

- Valor de la cobertura en $\text{cm}^2 \times 10,000 / 900$ (para el mes de febrero)
- Valor de la cobertura en $\text{cm}^2 \times 10,000 / 400$ (para los meses de mayo, julio, noviembre y diciembre)

La frecuencia relativa fue calculada con la siguiente fórmula:

$$\text{Frecuencia absoluta} = \frac{\text{Número de muestras donde aparece la especie} \times \text{No. Total de muestras}}{\text{No. Total de muestras}}$$

$$\text{Frecuencia relativa} = \frac{\text{Frecuencia absoluta de la especie} \times \text{Sumatoria frecuencias absolutas de todas las especies}}{\text{Sumatoria frecuencias absolutas de todas las especies}}$$

Con los valores de frecuencia relativa obtenidos por especie de algas, se formaron tres grupos: alto (≥ 0.05), medio ($0.03-$) y bajo ($0.01-$).

Las especies registradas en más de tres periodos de muestreo, fueron consideradas constantes, las que se registraron en dos fechas se consideraron escasas y las que solo estuvieron presentes en una fecha, se consideraron especies raras.

8.2 FACTORES AMBIENTALES

Actividades de campo

Para coleccionar el sedimento suspendido, sobre la superficie del arrecife se colocaron al azar ocho trampas de sedimentos en cada fecha de estudio (Figura 2). Las trampas permanecieron en el fondo por un periodo de 4 -12 días. Esto estuvo determinado por las condiciones climáticas posteriores a su colocación. Las trampas estuvieron sujetas a una varilla fijada al arrecife con plastilina epóxica, y fueron colocadas en posición vertical para evitar la resuspensión del sedimento.

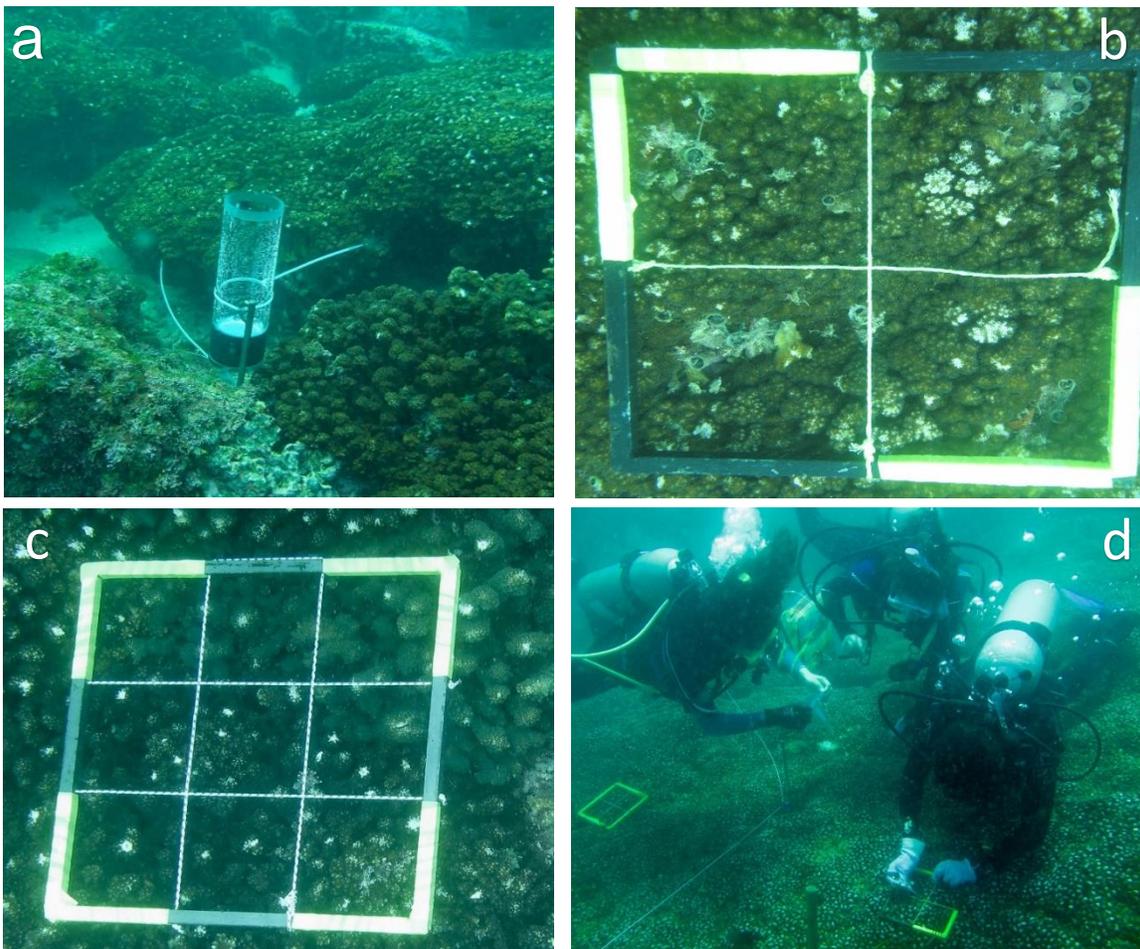


Figura 2. (a) Trampa de sedimentos. (b) Cuadro con cuatro subcuadros de 10x10 cm. (c) Cuadro con nueve subcuadros de 10x10 cm. (d) Colecta de macroalgas.

En la base de cada trampa de sedimentos, se colocó un sensor de temperatura Data Logger HOBO tipo colgante de 64 k de memoria, Modelo UA-002-64. Estos sensores se programaron previamente para registrar los datos de la luz (lum/ft²) y de la temperatura (°C) cada 30 segundos durante el periodo que estuvieron sumergidas las trampas de sedimentos.

Posteriormente se tomaron cuatro muestras de agua por fecha de colecta (febrero, mayo, julio, noviembre y diciembre) para cuantificar la concentración de nitrato, fósforo y amonio disueltos en el agua.

Actividades de laboratorio

Se separó el sedimento contenido en las trampas en sus fracciones fina (<250 µm) y gruesa (>250 µm), pasándolo a través de una malla con una luz de 250 µm. El sedimento fino que pasó a través de la malla, se filtró con una bomba de vacío usando filtros de microfibras "all-glass" 47 mm Watmann Millipore GSWP (0.22 µm de luz y 47mm de diámetro) previamente pesados.

El sedimento de la malla y del filtro, fue secado en un horno de convección mecánica marca HINOTEC Modelo DHG-9145A a una temperatura de 60°C durante 24 horas. Cada malla con sedimento grueso y cada filtro con sedimento fino, se pesaron en una balanza digital marca Sartorius Modelo BL210S (precisión 0.015 g), este procedimiento concluyó hasta que el peso fue constante.

Las muestras de agua fueron transportadas en una hielera al laboratorio. Se realizó la filtración de las muestras de agua, para cuantificar la concentración de nutrientes disueltos expresada en mg/l.

Se usaron reactivos HACH: ammonia salicylate reagent, ammoniacyanurate, nitrate R 6 nitrate reagent, phosphate R 3 phosphate reagent, de acuerdo con el manual de procedimientos de colorimetría HACH.

Las lecturas de los análisis de agua se realizaron con un colorímetro HACH DR/890.

Actividades de gabinete

Se cuantificó la tasa de sedimentación fina, gruesa y total (la cantidad total de sedimento fue obtenida por la suma de las fracciones fina y gruesa por trampa) con la siguiente formula:

$$\text{Sedimentación (gr m}^{-2} \text{ d}^{-1}) = \text{PS}/(\text{AT})(\text{D})$$

Dónde:

PS = peso seco del sedimento

AT = área de la trampa (m²)

D = tiempo de exposición (días)

Los registros de la luz y la temperatura fueron analizados con el programa HOBOWare 2014. Posteriormente con los datos de luz obtenidos y expresados en lum/ft² durante los días de muestreo de cada mes del estudio, se realizó una depuración para eliminar los datos registrados durante la noche y los datos restantes fueron acomodados en intervalos de 30 min.

Los datos de la temperatura obtenidos en °C fueron depurados en periodos de una hora. Se usaron los datos de todos los días que las trampas estuvieron sumergidas.

8.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Usando el software Statistica 8, se realizaron las pruebas de ⁴Kruskal-Wallis. Se analizaron las medias y los errores estándar de los datos de coberturas de algas y corales, tasas de sedimentación, luz y temperatura obtenidos durante los meses de estudio.

Se realizaron pruebas de ⁵correlación de Spearman. Los datos analizados fueron los valores máximos, mínimos, medias y medianas de las variables ambientales (tasas de sedimentación, temperatura y luz), y los valores medios de las coberturas de algas y corales. Posteriormente las correlaciones obtenidas se sometieron a un

modelo de regresión polinómica para conocer la relación de los resultados obtenidos.

Finalmente, usando el software PCORD 5, se realizó un ⁶análisis de correspondencia sin tendencia (DCA), con el fin de conocer la dispersión de las especies algales en función de las fechas de muestreo.

⁴Prueba no paramétrica la cual prueba la hipótesis nula de que un grupo de datos proviene de la misma población y asume que la variable bajo estudio tiene una distribución continua subyacente (Siegel, 1956).

⁵Prueba no paramétrica que proporciona una medida de la asociación lineal entre dos variables (Johnson, 2000) y que mide el grado de correspondencia entre clases, en lugar de entre los valores reales de las variables (Gibbons & Chakraborti, 2011).

⁶Es una técnica multivariante usada para resumir los cambios ecológicos a través del tiempo y requiere el cumplimiento de pocos supuestos y los resultados pueden ser interpretados en forma de recambio ecológico (Ayoub- Hannaa *et al.*, 2013 y Correa- Metrio *et al.*, 2014).

9. RESULTADOS

9.1 GRUPOS ALGALES

Riqueza

Se registraron 37 especies de algas en total, de las cuales 23 (63%) fueron Rhodophyta, 9 (24%) Chlorophyta, 3 (8%) Ochrophyta-Phaeophyceae, y 2 (5%) Cyanophyta (Figura 3).

El mes con mayor riqueza fue diciembre (23 especies) y el de menor riqueza fue mayo (6 especies) (Figura 4).



Figura 3. Porcentaje de especies por Phylum en el Zacatoso.

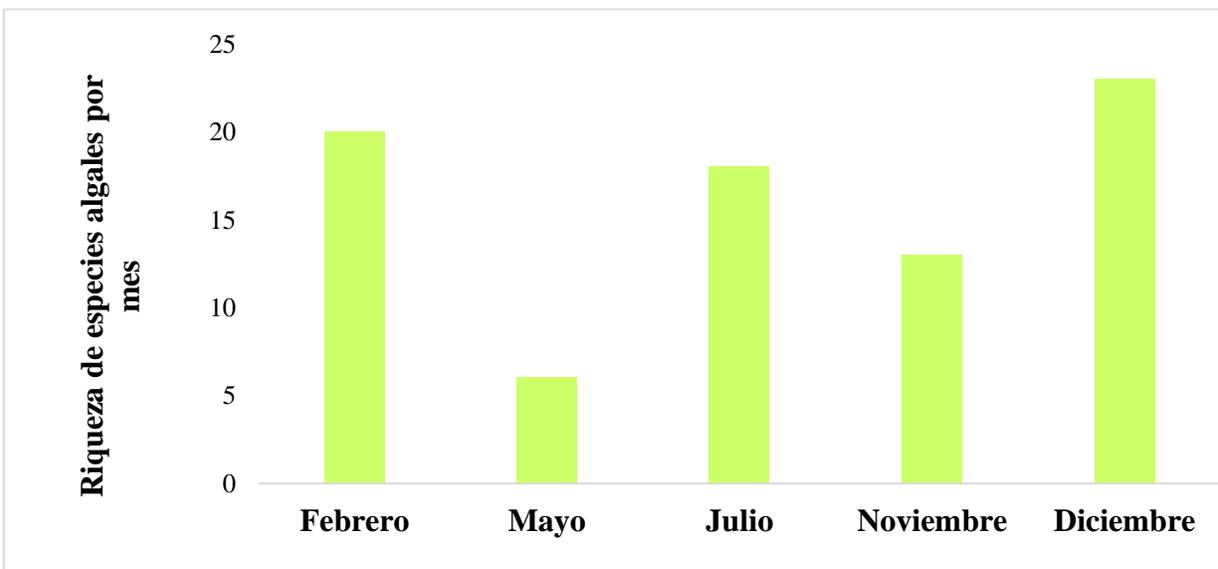


Figura 4. Riqueza de especies presentes en cada mes en el Zacatoso.

Variación temporal de la composición de las especies de algas

La tabla 1 muestra la presencia de las especies a lo largo del estudio.

Amphiroa beuvoisii, *Derbesia marina* y *Cladophora* sp fueron especies constantes.

Gayliella flaccida fue escasa y *Gelidium pusillum* fue una especie rara (Tabla 1).

Tabla 1. Variación de la composición algal en El Zacatoso

Especie	Grupo Algal	Grupo morfo-funcional	FEB	MAY	JUL	NOV	DIC
<i>Amphiroa beauvoisii</i>	Articulada	Articulada	*	*	*	*	*
<i>Amphiroa misakiensis</i>	Articulada	Filamentosa		*			
<i>Asteronema breviarticulatum</i>	Césped	Filamentosa	*		*	*	
<i>Audouinella</i> sp	Césped	Filamentosa				*	*
<i>Bryopsis pennata</i>	Césped	Filamentosa	*		*	*	*
<i>Ceramium affine</i>	Césped	Filamentosa	*		*		*
<i>Ceramium zacaе</i>	Césped	Filamentosa	*				*
<i>Chlorodesmis hildebrandtii</i>	Césped	Filamentosa					*
<i>Chlorodesmis</i> sp	Césped	Filamentosa	*				
Cyanophyta filamentosa	Césped	Filamentosa	*				*
<i>Cladophora microcladioides</i>	Césped	Filamentosa	*		*	*	*
<i>Cladophora</i> sp	Césped	Filamentosa	*			*	*
<i>Cladophoropsis</i> sp	Césped	Filamentosa	*		*		
<i>Derbesia marina</i>	Césped	Filamentosa	*		*	*	*
<i>Dictyota dichotoma</i>	Césped	Lámina			*		
<i>Erythrotrichia carnea</i>	Césped	Filamentosa				*	
<i>Erythrotrichia tetraseriata</i>	Césped	Filamentosa	*		*		*
<i>Gayliella flaccida</i>	Césped	Filamentosa	*				*
<i>Gelidium pusillum</i>	Césped	Ramificadas-Carnosas			*		
<i>Gelidium mcnabblanum</i>	Césped	Ramificadas-Carnosas					*
<i>Grateloupia aff. multiphylla</i>	Césped	Ramificadas-Carnosas		*			
<i>Grateloupia</i> sp	Césped	Ramificadas-Carnosas				*	
<i>Herposiphonia littoralis</i>	Césped	Filamentosa			*		*
<i>Herposiphonia plumula</i>	Césped	Filamentosa		*			
<i>Hypnea johnstonii</i>	Césped	Ramificadas-Carnosas	*		*		
<i>Hypnea pannosa</i>	Césped	Ramificadas-Carnosas	*	*	*		*
<i>Jania</i> sp	Césped	Articulada					*
<i>Lithophyllum</i> sp	Costra rosa	Costra			*	*	*
<i>Lyngbya</i> sp	Césped	Filamentosa					*
<i>Peyssonnelia</i> sp	Costra roja	Costra					*
<i>Polysiphonia confusa</i>	Césped	Costra	*				
<i>Polysiphonia mollis</i>	Césped	Filamentosa			*	*	
<i>Polysiphonia subtilissima</i>	Césped	Filamentosa	*		*		*
<i>Pterocladia caloglossoides</i>	Césped	Ramificadas-Carnosas		*		*	*
<i>Rhizoclonium aff. riparium</i>	Césped	Filamentosa	*				
<i>Sphacelaria furcigera</i>	Césped	Filamentosa	*		*		*
<i>Ulva flexuosa</i>	Césped	Filamentosa	*		*	*	*

Cobertura de los grupos algales

Los grupos algales presentes en El Zacatoso fueron, articuladas, flóculos, costra rosa, costra roja, costra purpura, y céspedes.

El grupo con mayor cobertura media a lo largo del año fue el de los céspedes y el menor fue el de los flóculos. No se encontró diferencia significativa entre los grupos algales a lo largo del estudio (Figura 5).

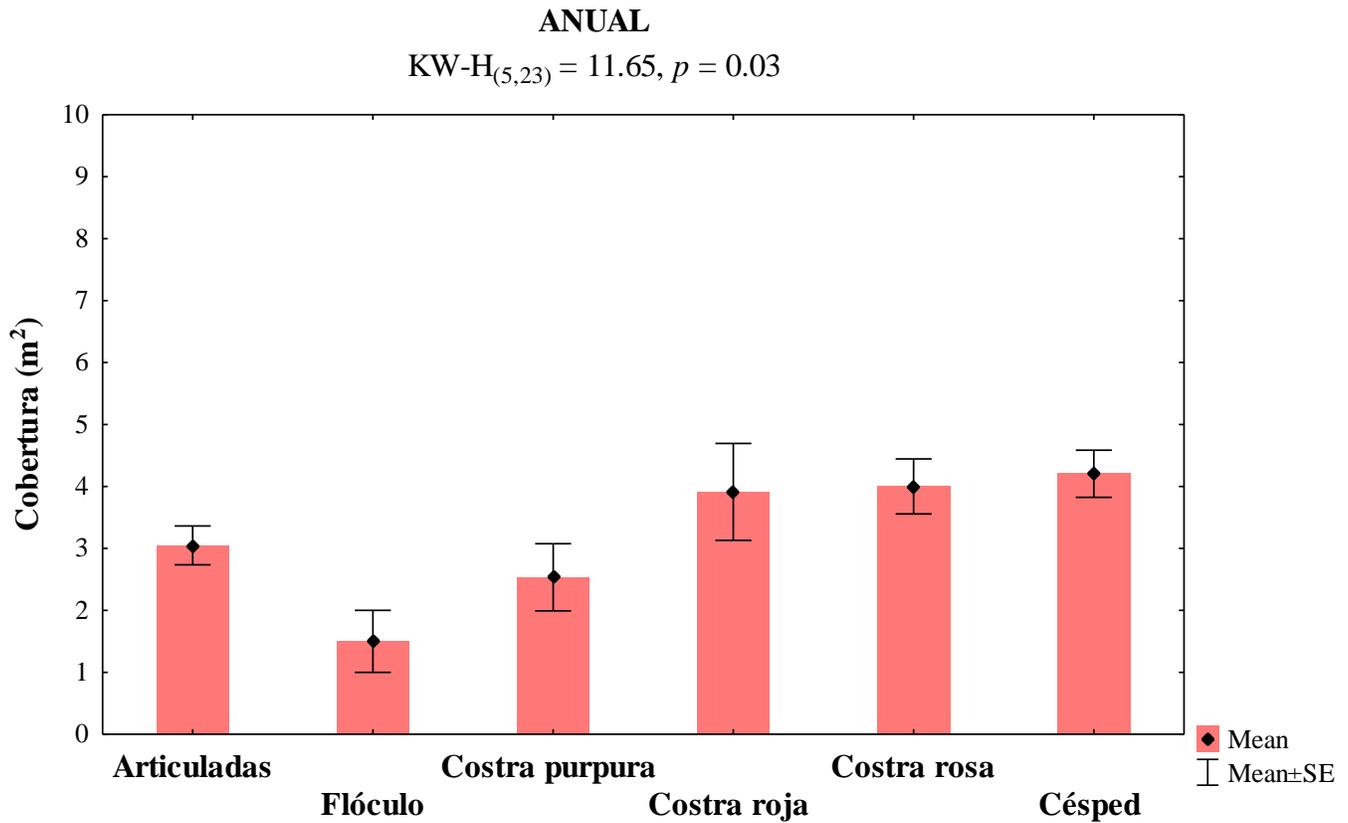


Figura 5. Cobertura media anual de los grupos algales en El Zacatoso.

El análisis de cobertura media mensual, mostró que los grupos algales con mayores valores fueron los céspedes, y las costras rosa y roja. No se encontraron diferencias significativas en la cobertura de cada grupo algal en cada mes. (Figura 6).

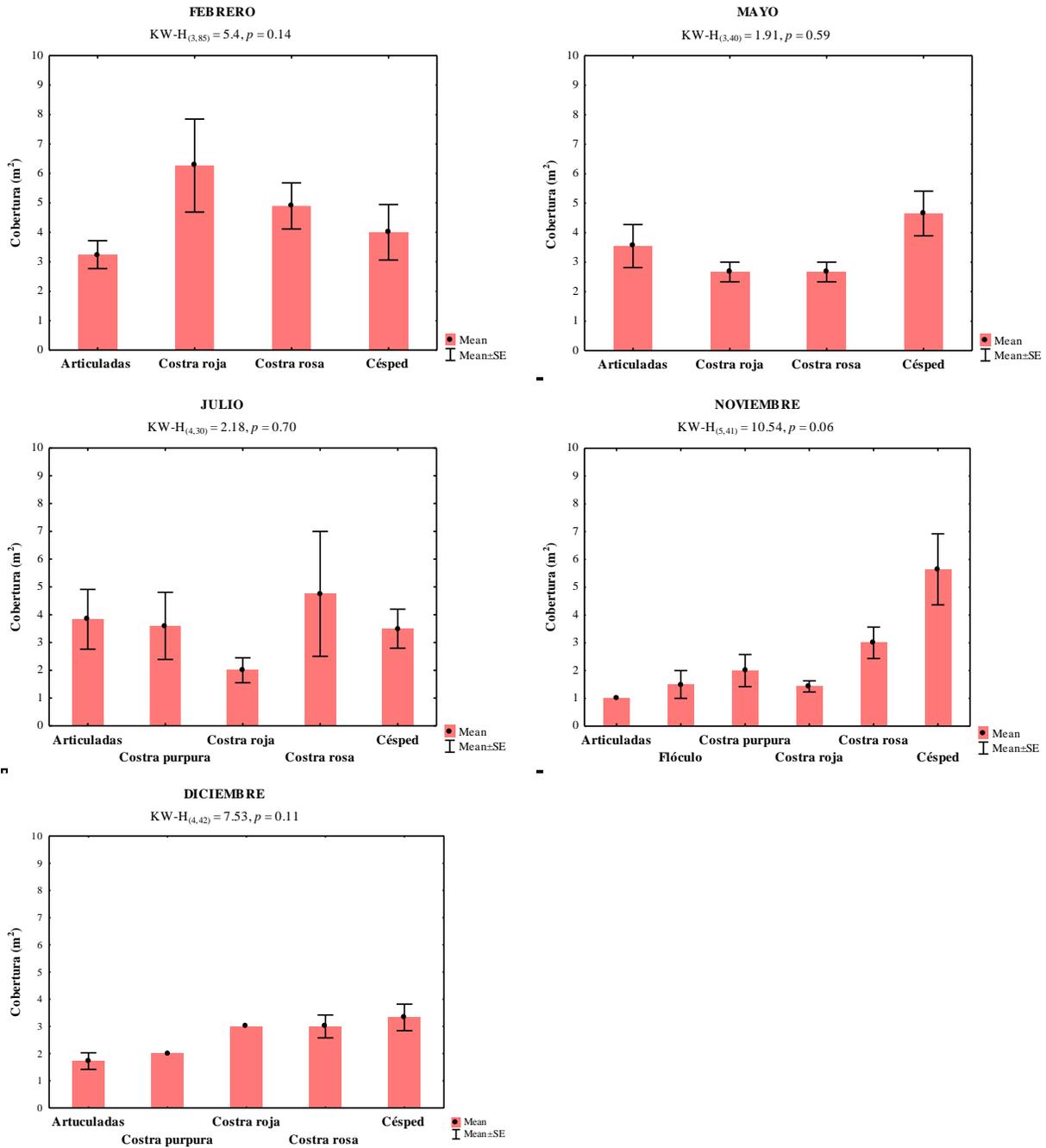


Figura 6. Cobertura media mensual de los grupos algales en El Zacatoso durante el 2014.

El análisis de cobertura media por grupo algal, mostró que los meses con mayores valores fueron julio, noviembre y diciembre. Se encontraron diferencias significativas en los siguientes grupos algales, articuladas entre los meses de febrero y diciembre ($p = 0.04$) y costra roja entre los meses de noviembre y diciembre ($p = 0.001$) (Figura 7).

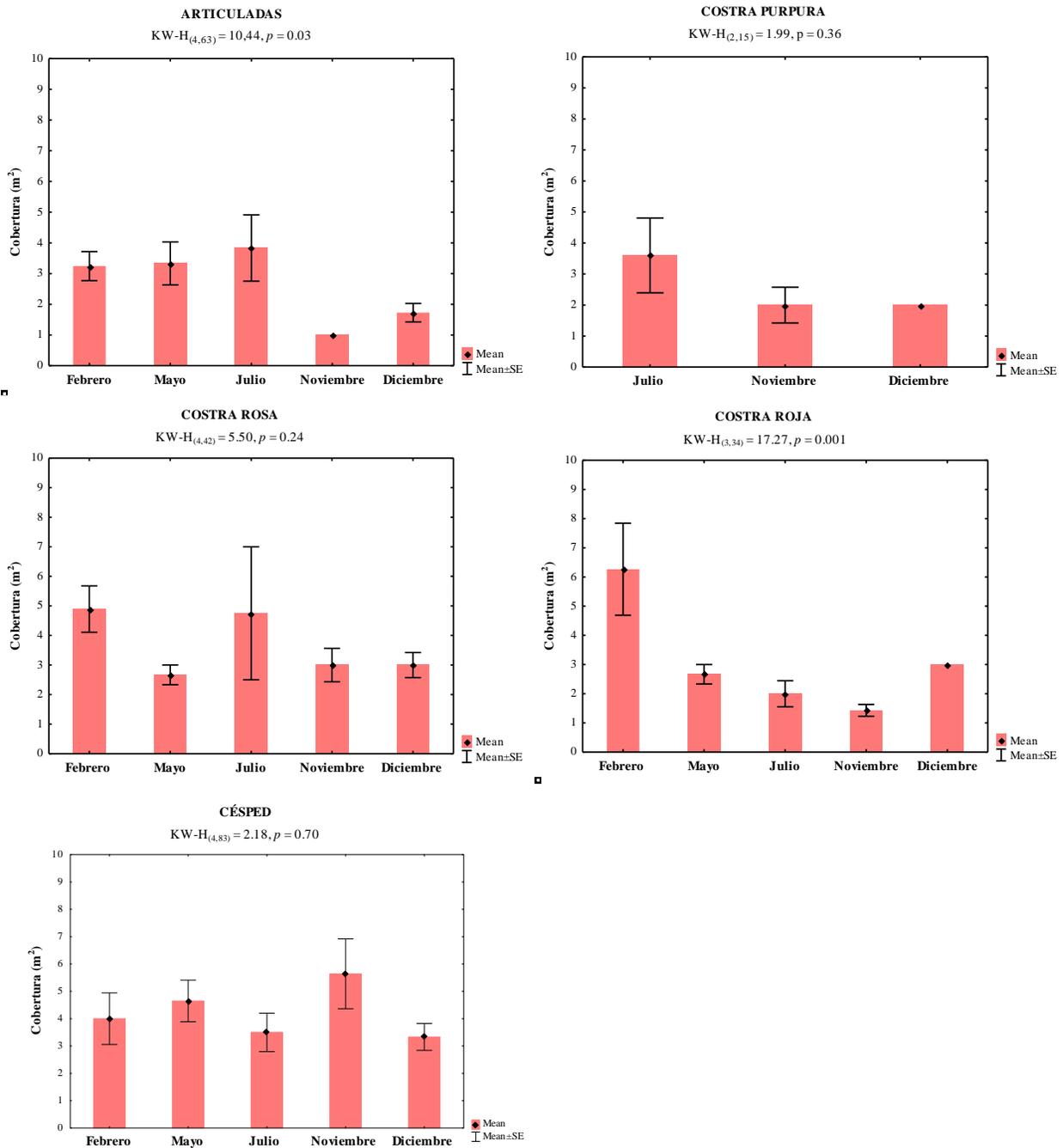


Figura 7. Cobertura media absoluta de los grupos algales en El Zacatoso durante el 2014.

Frecuencia relativa

La especie con el valor de frecuencia relativa más alto durante todo el estudio fue *Amphiroa beauvoisii* (0.062), otras especies con valores altos fueron *Hypnea pannosa* (0.05), *Ceramium zaca*e (0.037) y las especies con menores valores fueron *Dictyota dichotoma* (0.025) y *Herposiphonia plumula* (0.012) (Figura 8).

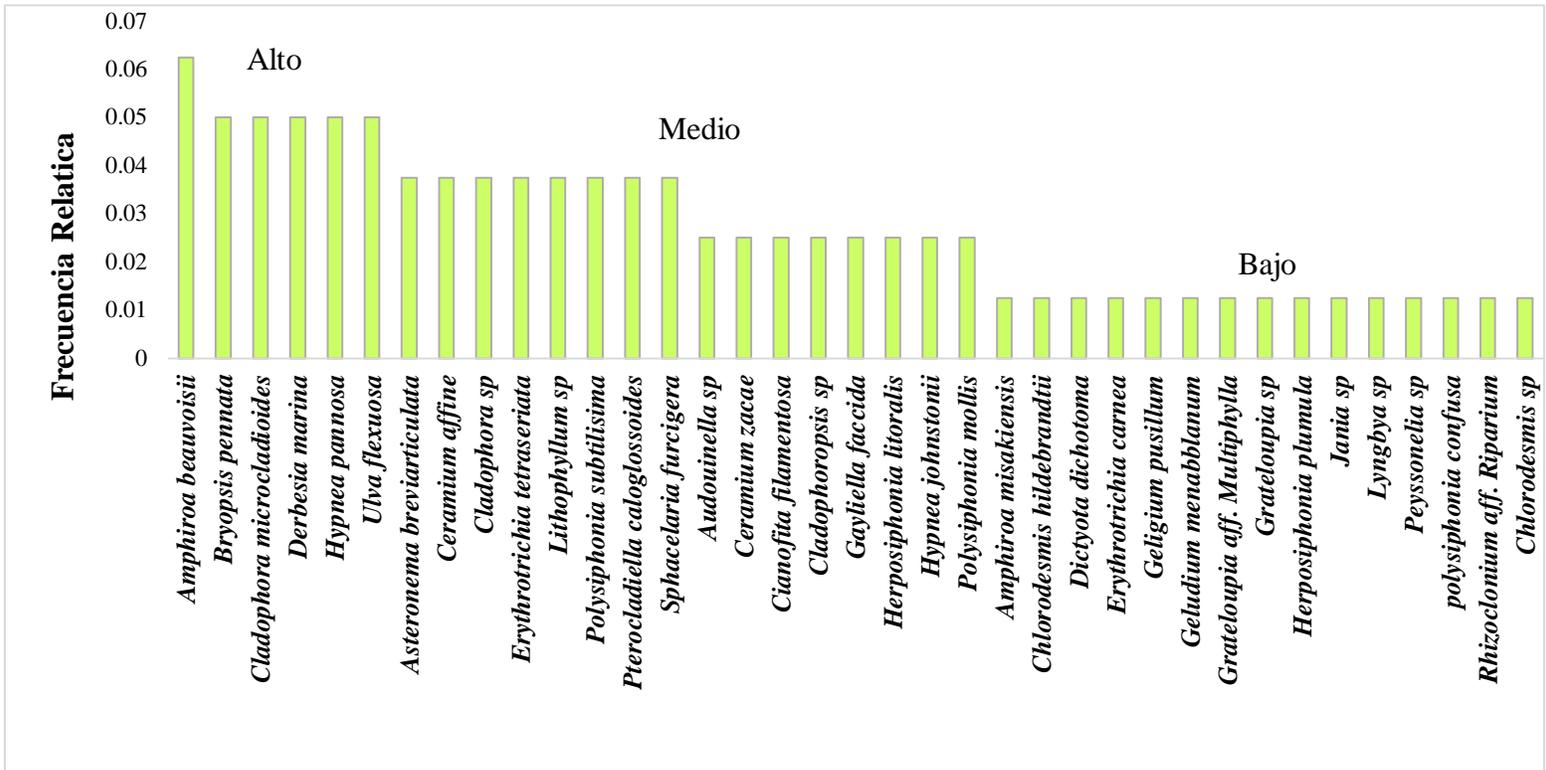


Figura 8. Frecuencia relativa anual por especies algales en El Zacatoso a lo largo del estudio.

Con respecto a la frecuencia relativa por grupo algal, los céspedes (0.89) y las articuladas (0.05), tuvieron el mayor valor a lo largo del año (Figura 9).

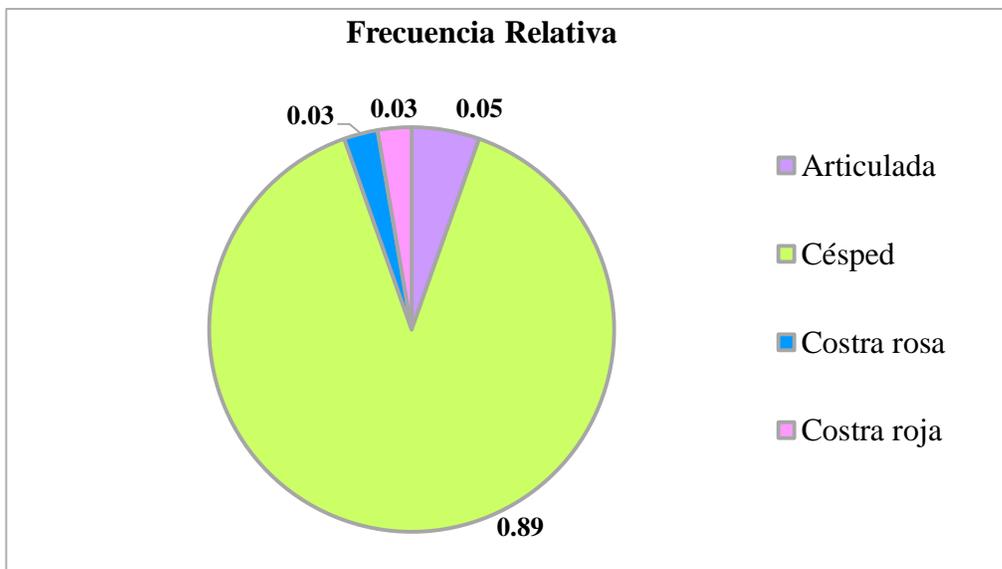


Figura 9. Frecuencia relativa anual de los grupos algales en El Zacatoso a lo largo del estudio.

9.2 COMUNIDAD CORALINA

Riqueza

Se registraron cinco especies de corales. La variación temporal de la riqueza se muestra en la figura 10. Los meses de febrero, julio y noviembre fueron los meses con mayor riqueza de especies, mayo fue el mes con menor riqueza (Figura 10).

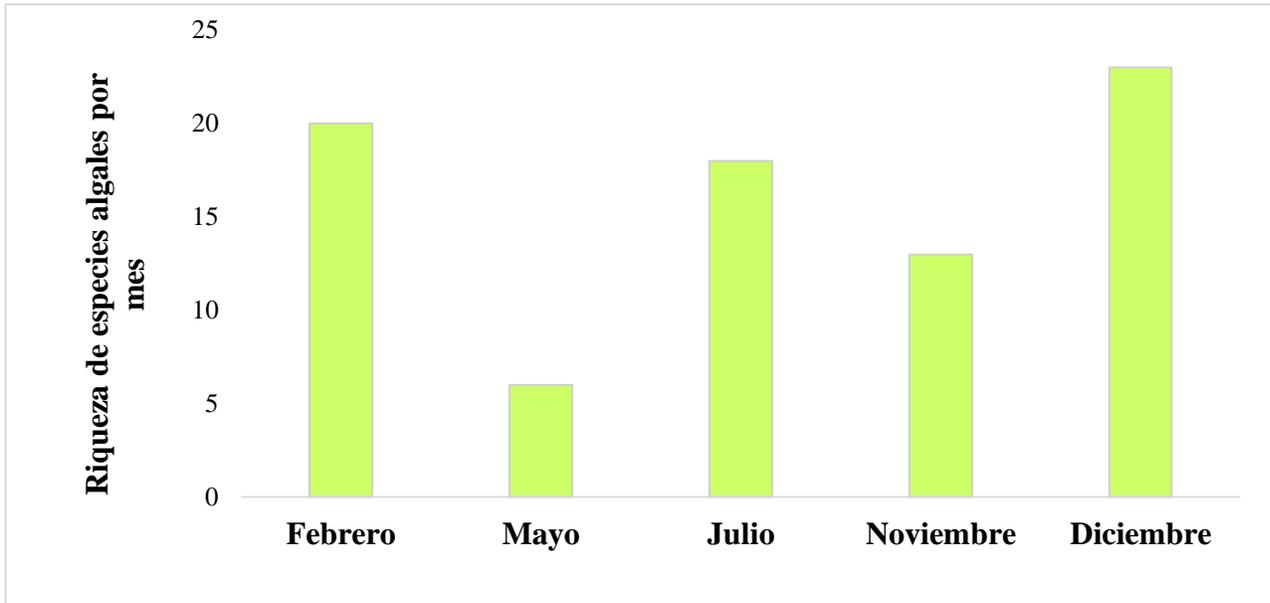


Figura 10. Riqueza mensual de corales de cada mes en El Zacatoso en 2014.

Composición

Se identificaron cinco especies de coral; *Pocillopora capitata* (Verril, 1864), *Pocillopora damicornis* (Linnaeus, 1758), *Pocillopora effusus* (Veron, 2000), *Pocillopora meandrina* (Dana, 1846), y *Pocillopora verrucosa* (Ellis & Solander, 1786), y una especie que no pudo ser identificada y que se denominó como *Pocillopora* sp1 debido a que sus características no coincidieron con las de la literatura de especies registradas en la zona del Pacífico mexicano.

Variación temporal de la composición de las especies de coral

La tabla 2 muestra la variación temporal por especie. Hubo dos especies que estuvieron presentes en todos los periodos de muestreo y con frecuencia relativa alta, *Pocillopora capitata* y *P. damicornis*. Las especies que estuvieron presentes sólo en un periodo de muestreo fueron *P. meandrina* y *Pocillopora* sp1 (Tabla 2).

Tabla 2. Variación temporal de corales en El Zacatoso.

ESPECIE	FEB	MAY	JUL	NOV	DIC
<i>Pocillopora capitata</i>	*	*	*	*	*
<i>Pocillopora meandrina</i>	*				
<i>Pocillopora damicornis</i>	*	*	*	*	*
<i>Pocillopora effusus</i>	*		*	*	
<i>Pocillopora verrucosa</i>	*			*	*
<i>Pocillopora</i> sp1			*		

Cobertura

Pocillopora damicornis y *P. verrucosa* fueron las especies con mayor valor de cobertura absoluta (Figura 11).

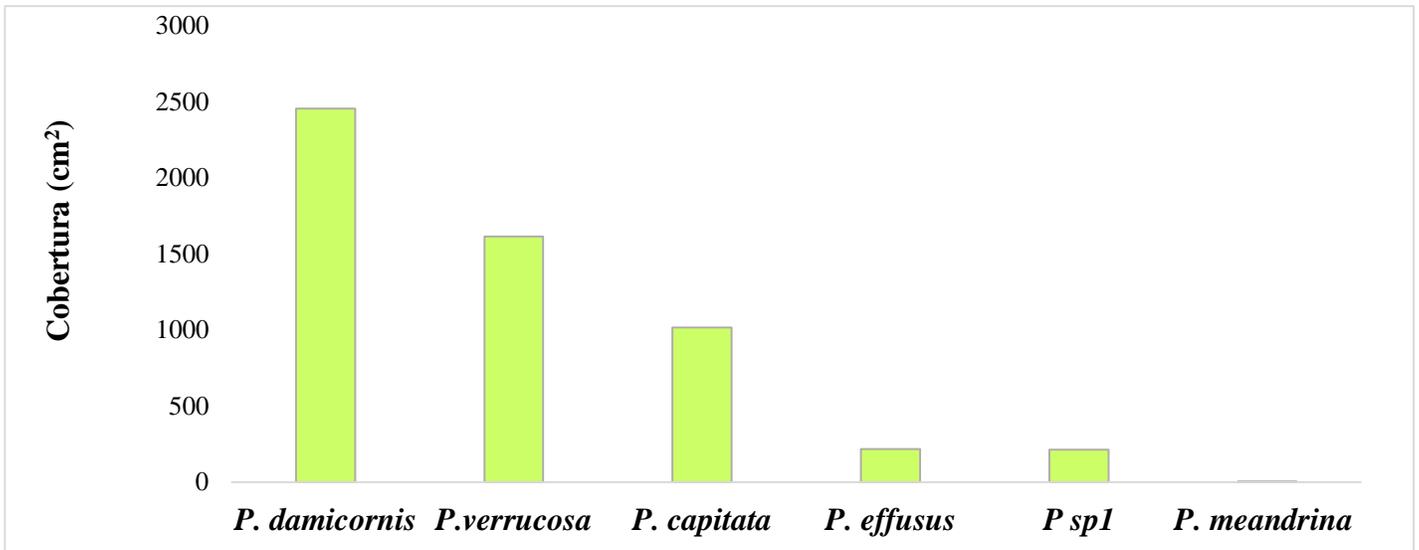


Figura 11. Cobertura absoluta de las especies de corales en el 2014 en El Zacatoso.

El análisis anual de cobertura media, mostró una amplia variación entre las especies de coral. Se encontraron diferencias significativas entre las siguientes especies de corales, *P. damicornis* y *P. capitata* ($p = 0.0001$), *P. damicornis* y *P. sp1* ($p = 0.0006$), *P. damicornis* y *P. verrucosa* ($p = 0.0001$) y *P. effusus* y *P. sp1* ($p = 0.01$) (Figura 12).

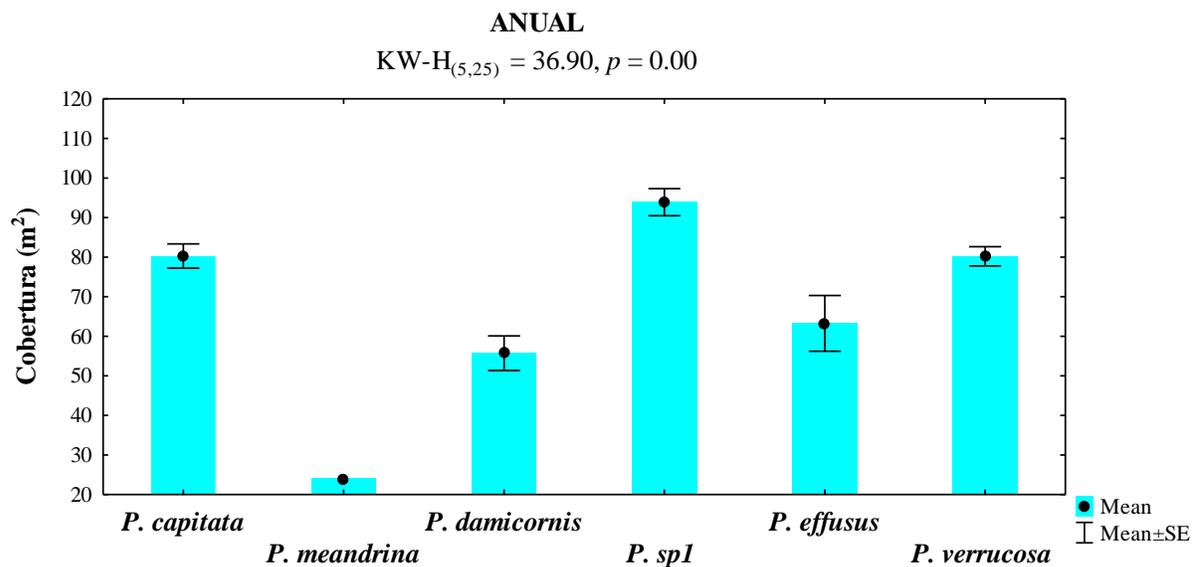


Figura 12. Cobertura media anual de las especies de coral en El Zacatoso.

El análisis por mes, mostró que las especies de corales con mayor cobertura media fueron *P. capitata*, *P. damicornis* y *P. verrucosa*.

Se encontraron diferencias significativas en los meses de febrero, entre *P. damicornis* - *P. capitata* ($p = 0.006$), y *P. damicornis* - *P. verrucosa* ($p = 0.01$) en febrero, entre *P. effusus*- *P. verrucosa* ($p = 0.03$) en noviembre y entre *P. damicornis*- *P. verrucosa* ($p = 0.0009$) en diciembre, (Figura 13).

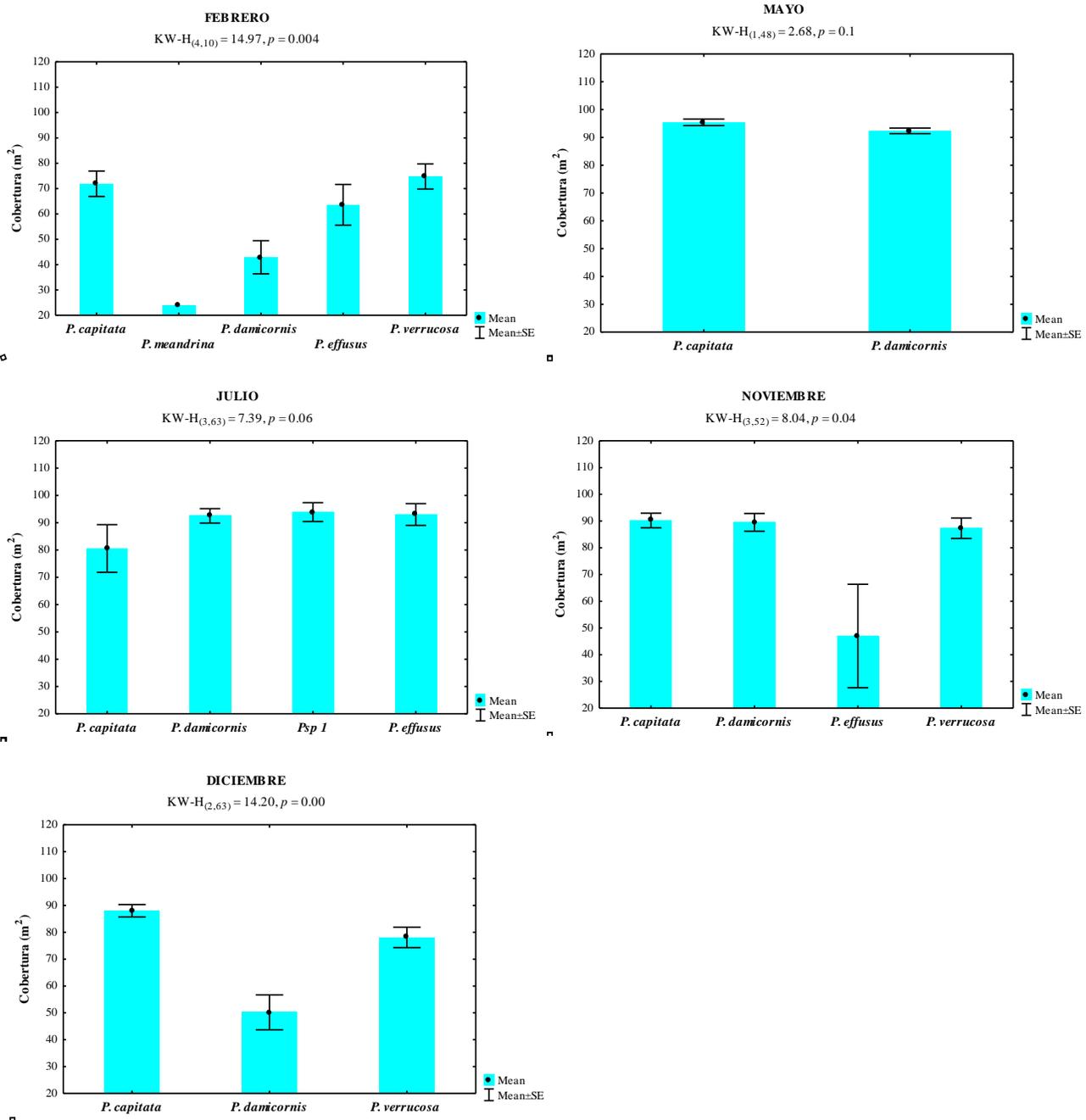


Figura 13. Cobertura media mensual de las especies de coral en El Zacatosa.

En el análisis de cobertura media por especies se encontraron diferencias significativas en *P. damicornis*, entre los meses de mayo- febrero ($p = 0.00008$), julio- febrero ($p = 0.000$), noviembre- febrero ($p = 0.01$), mayo- diciembre ($p = 0.0002$), julio- diciembre ($p = 0.000$) y noviembre- diciembre ($p = 0.02$) (Figura 14).

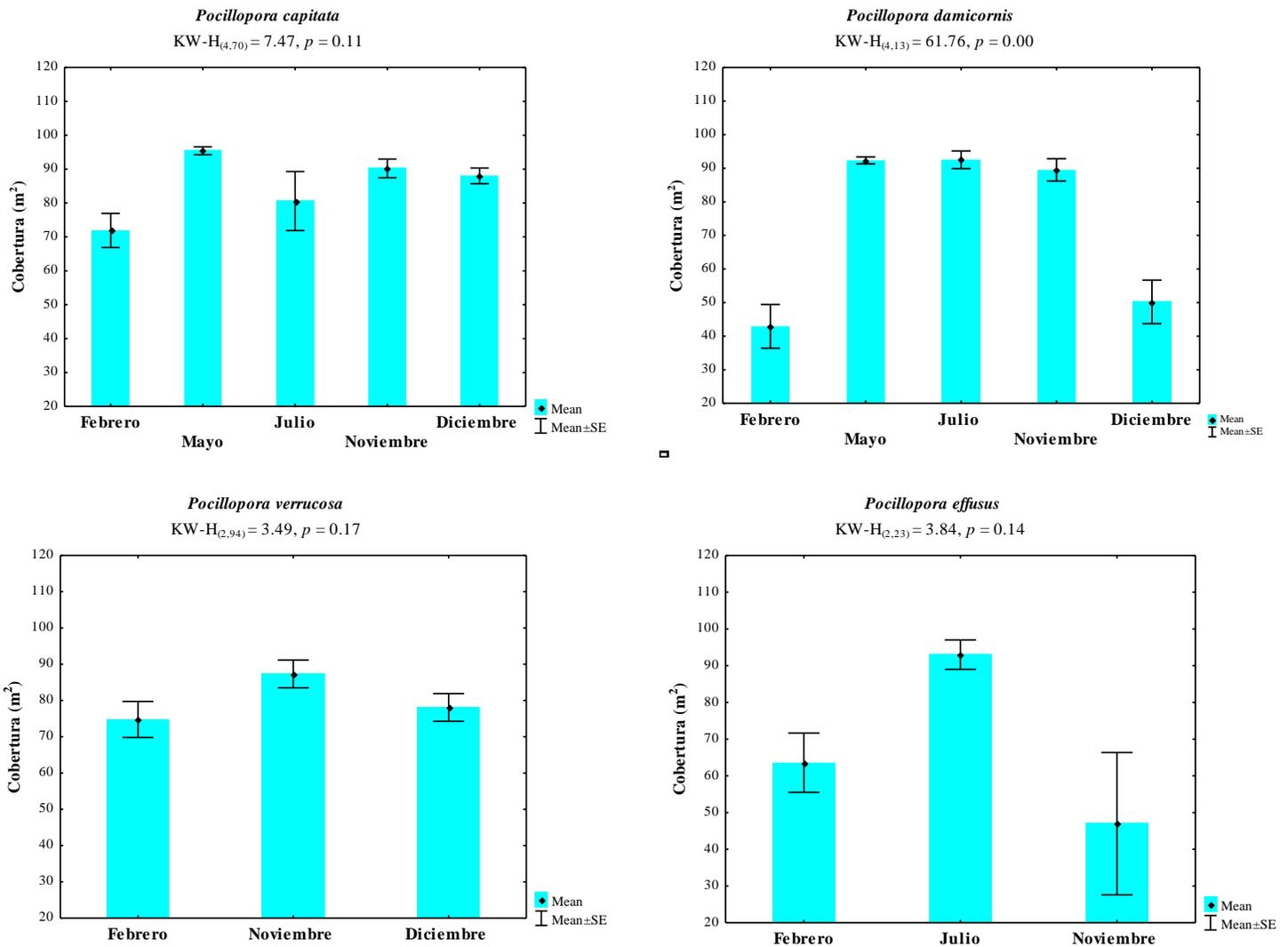


Figura 14. Cobertura media absoluta de las especies de coral en El Zacatoso.

Frecuencia relativa

Las especies con la frecuencia relativa más alta fueron *P. capitata* (0.28) y *P. damicornis* (0.28), y las de menor frecuencia fueron *P. meandrina* (0.6) y *P. sp1* (0.6) (Figura 15).

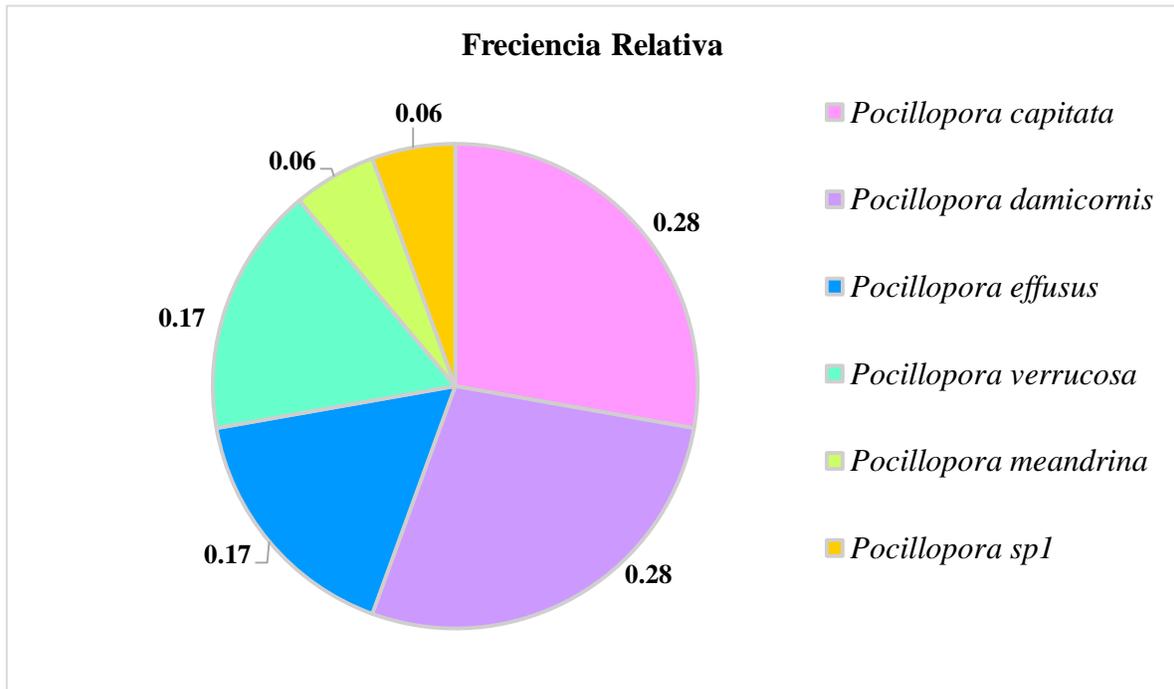


Figura 15. Frecuencia relativa de las especies de coral en El Zacatoso a lo largo del estudio.

9.2 DATOS AMBIENTALES

Sedimentos

La tasa de sedimentación total mostró una variación de 8 -180 ($\text{gr m}^{-2}\text{d}^{-1}$), la tasa de sedimentación fina fue de 4-12 ($\text{gr m}^{-2}\text{d}^{-1}$) y la gruesa de 3-167 ($\text{gr m}^{-2}\text{d}^{-1}$). (Tabla 3).

Tabla 3. Variación temporal de las tasas de sedimentación ($\text{gr m}^{-2}\text{d}^{-1}$) gruesa, fina y total a lo largo del estudio en El Zacatoso.

TS ($\text{gr m}^{-2}\text{d}^{-1}$)	Febrero	Mayo	Julio	Noviembre	Diciembre
Gruesa	0.024±0.004	0.167±0.032	0.006±0.001	0.012±0.045	0.003±0.0007
Fina	0.005±0.0008	0.012±0.002	0.007±0.002	0.005±0.0006	0.004±0.0002
Total	0.03±0.005	0.18±0.033	0.014±0.003	0.017±0.005	0.008±0.0006

No se encontraron diferencias significativas entre las tasas de sedimentación finas (TSF). En las tasas de sedimentación gruesas (TSG), se encontraron diferencias significativas entre los meses de, febrero- diciembre ($p = 0.02$), mayo- julio ($p = 0.006$), mayo- noviembre ($p = 0.03$) y mayo- diciembre ($p = 0.00$). Las tasas de sedimentación total (TST) presentaron diferencias significativas entre los siguientes meses, mayo- julio ($p = 0.01$), mayo- noviembre ($p = 0.02$) y mayo- diciembre ($p = 0.00$) (Figura 16).

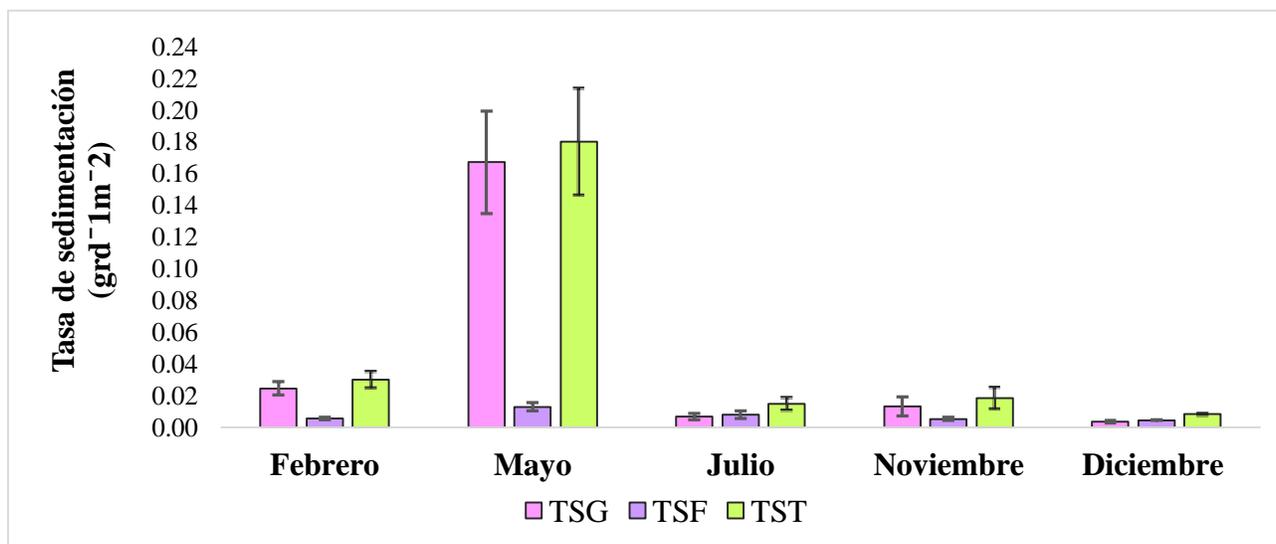


Figura 16. Variación de las tasas de sedimentación gruesa, fina y total a lo largo del 2014 en El Zacatoso.

Luz

Los mayores valores promedio de luz (lum/ft^2) registrados fueron en los meses de, mayo (350-480 lum/ft^2), julio (290-530 lum/ft^2) y noviembre (240-910 lum/ft^2). Se encontraron diferencias significativas entre las horas de los siguientes meses, mayo, entre las 13:00- 16:00 hrs ($p = 0.01$), noviembre entre las 12:00- 15:00 hrs ($p = 0.01$), 12:00- 16:00 hrs ($p = 0.00$), 13:00- 15:00 hrs ($p = 0.04$) y 13:00- 16:00 hrs ($p = 0.00$), y diciembre entre las 12:00-16:00 hrs ($p = 0.002$) y 13:00-16:00 ($p = 0.02$) (Figura 17).

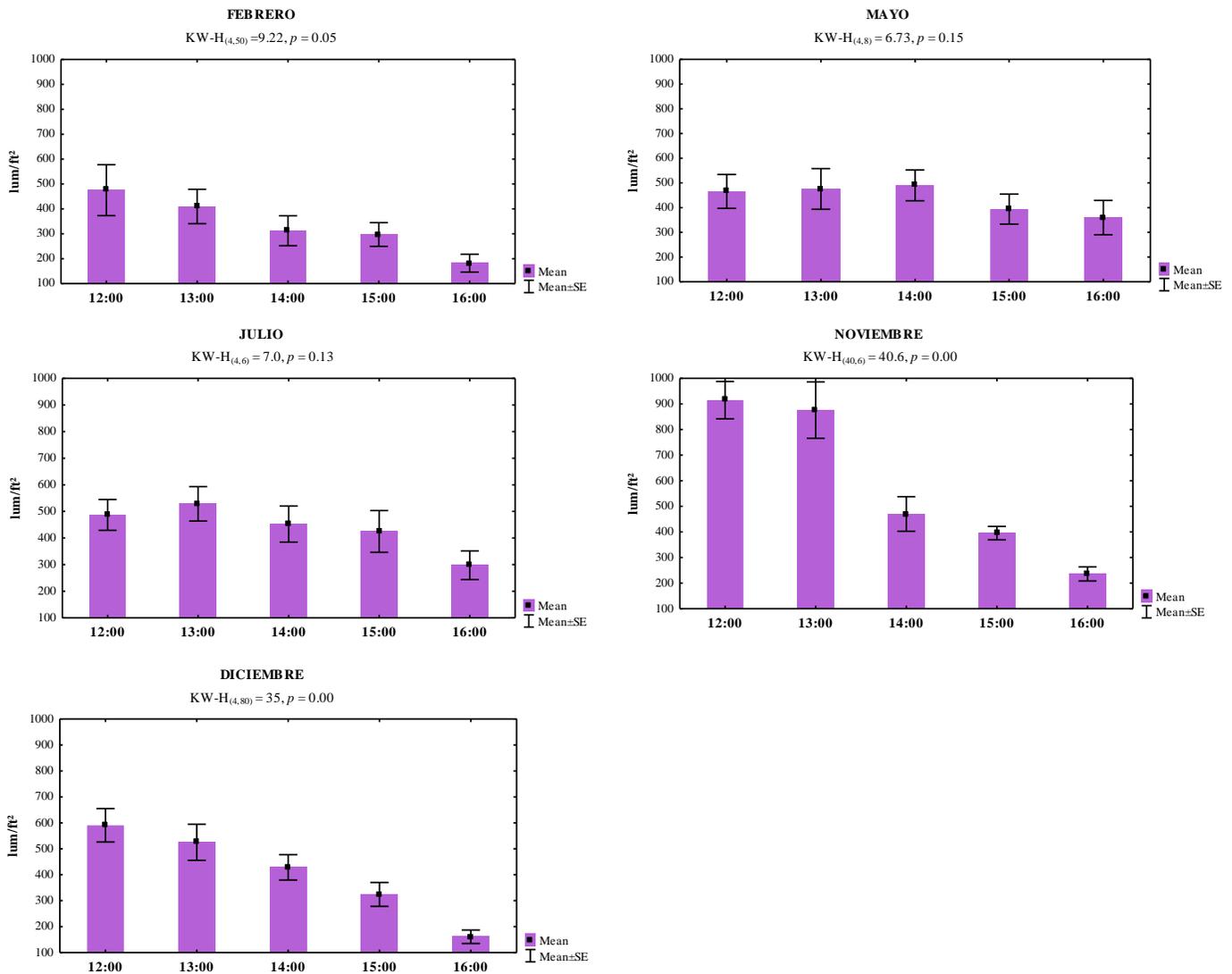


Figura 17. Variación de la intensidad de luz (lum/ft^2) a lo largo del estudio en El Zacatoso.

Temperatura

Los meses con mayor valor de temperatura promedio fueron mayo (29°C), julio (30.4°C) y noviembre (29.5 °C) (Figura 18).

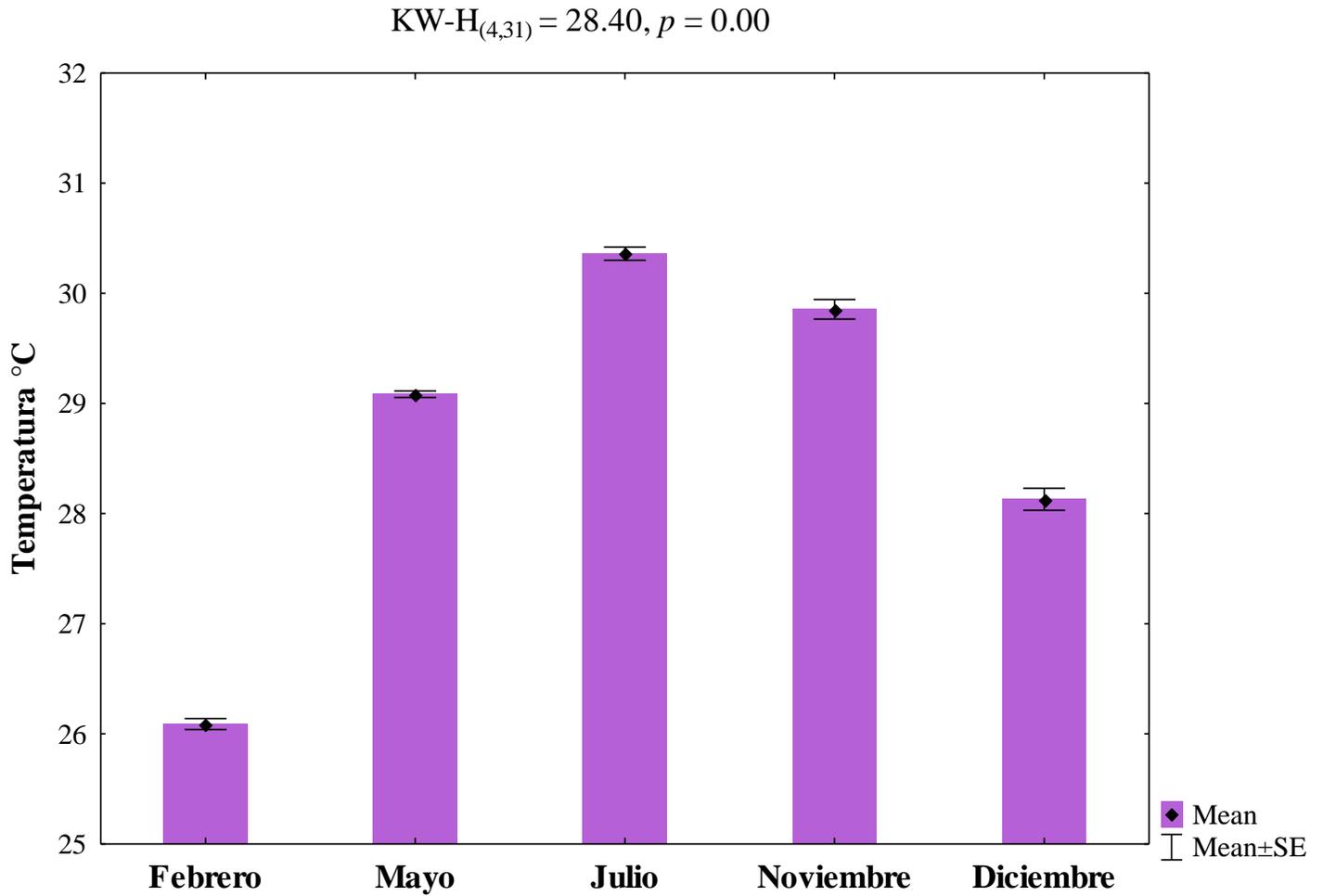


Figura 18. Valores promedio de temperatura en El Zacatoso durante el 2014.

Nutrientes

La variación en las concentraciones de los nutrientes (mg/l) en el agua fue muy amplia. Durante mayo se registró la mayor concentración de nitratos (0.09 mg/l) y en los siguientes meses los valores fueron menores (0.01- 0.09 mg/l). En febrero se registró el mayor valor (0.15 mg/l) de fosfatos y en los siguientes meses los valores fueron menores (0.01- 0.15). En julio se registró el mayor valor de amonios (0.04 mg/l) y en noviembre el menor (0.03 mg/l), en los demás meses no fueron detectables los valores de amonio debido a que las concentraciones fueron muy pequeñas (Tabla 4).

Tabla 4. Valores promedio de los nutrientes (los espacios marcados con asterisco significan que los valores de nutrientes en el agua son indetectables para el colorímetro), a lo largo del 2014 en El Zacatoso.

	Febrero	Mayo	Julio	Noviembre	Diciembre
Nitrato (mg/l) (muestra 1)	0.01	0.09	0.01	0.01	0.01
Nitrato (mg/l) (muestra 2)	*	0.06	0.02	0.01	0.01
Fosfato (mg/l) (muestra 1)	0.15	0.01	0.07	0.02	0.03
Fosfato (mg/l) (muestra 2)	*	0.01	0.08	0.06	0.03
Amonio (mg/l) (muestra 1)	*	*	0.04	0.03	*
Amonio (mg/l) (muestra 2)	*	*	*	*	*

9.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Correlaciones de Spearman

Las correlaciones significativas obtenidas fueron entre: a) tasa máxima de sedimentación gruesa y la media de luz ($r_s = -0.78$), b) tasa máxima de sedimentación fina y cobertura media de *Pocillopora damicornis* ($r_s = 0.71$), c) cobertura media de las articuladas y la cobertura media de *P. damicornis* ($r_s = 0.79$), d) tasa máxima de sedimentación fina y la mediana de la luz ($r_s = -0.75$).

El único valor significativo que muestra un coeficiente de asociación alto ($R^2 = 0.89$), fue entre la temperatura y la cobertura de *P. damicornis* ($r_s = 0.75$) (Figura 19).

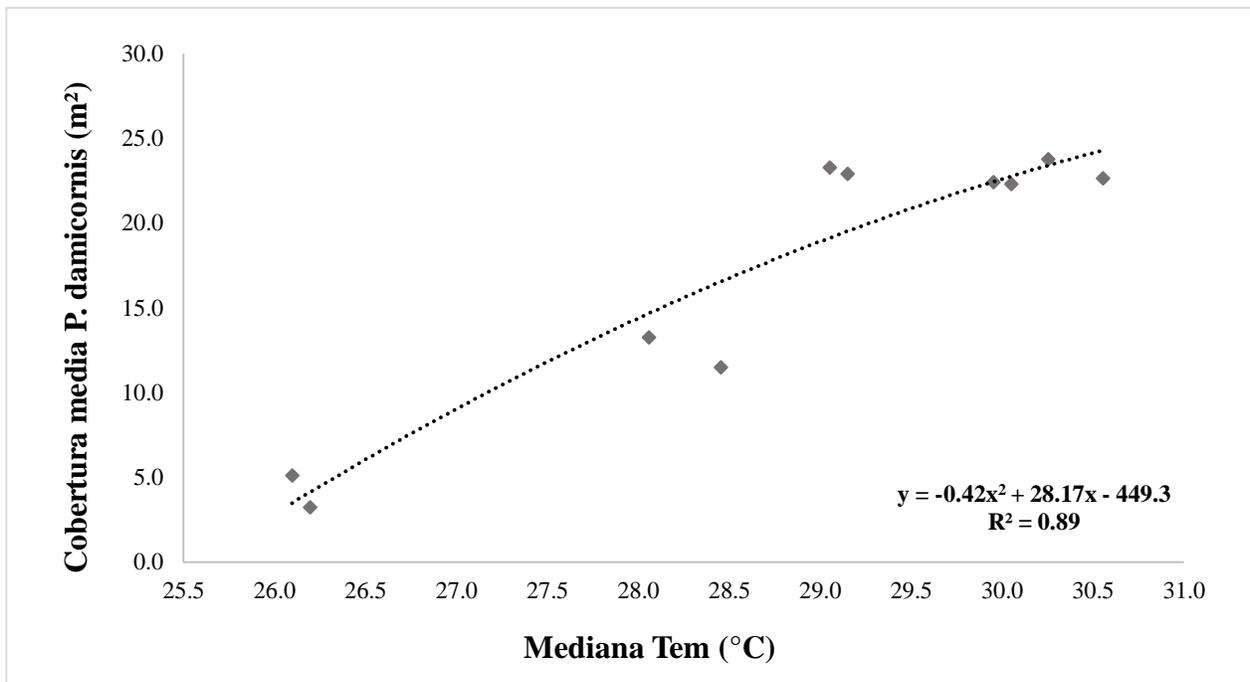


Figura 19. Ajuste del modelo polinómico que muestra la relación entre la mediana de la temperatura sobre la cobertura media de *Pocillopora damicornis*.

Análisis de Correspondencia sin Tendencia

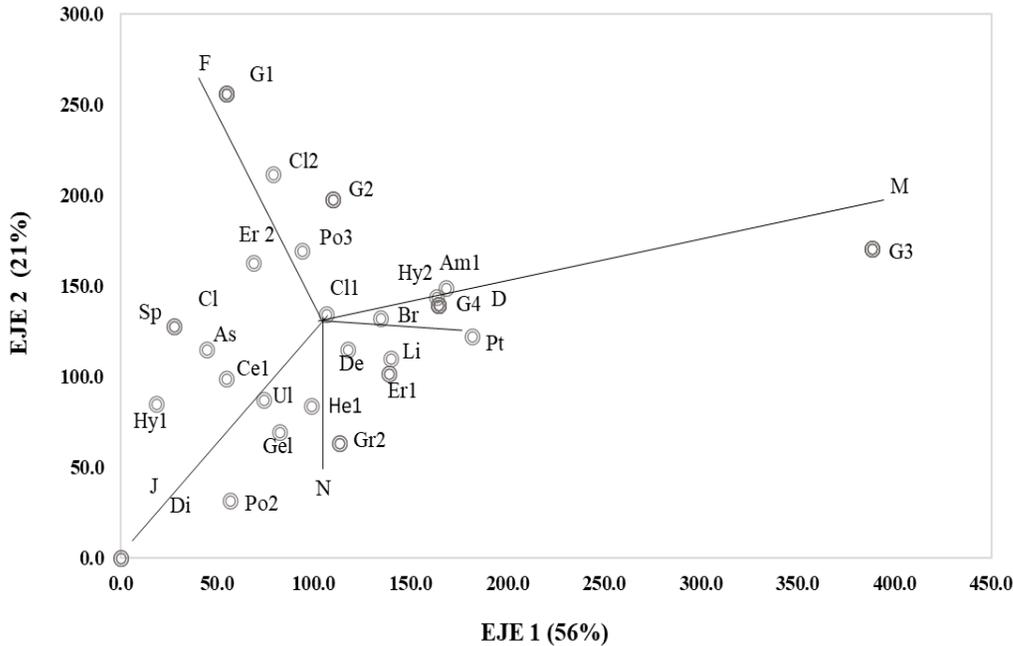


Figura 20. DCA (las abreviaturas se muestran en la tabla 5).

Las especies que se localizan al centro de los ejes son en su mayoría filamentosas y están presentes en más de dos meses del estudio, además tienen una frecuencia relativa alta. El grupo 1 (G1) se localiza en el extremo superior izquierdo y está representado por especies filamentosas (Ch2, Po1 y Rh), las cuales tienen valores de frecuencia relativa bajos. El grupo 2 (G2) se localiza en la parte inferior izquierda y está representado por especies filamentosas (Ci, Ce2 y Ga), las cuales solo están presentes en los meses de febrero y diciembre con un valor de frecuencia relativa mínimo. El grupo 3 (G3) se localiza en el extremo derecho y está representado por especies articuladas, filamentosas y ramificadas (Am2, Gr1, y He2) las cuales están presentes en el mes de mayo y tienen un valor de frecuencia relativa mínimo. El grupo 4 (G4) se localiza en el centro de ambos ejes y está representado por especies filamentosas, ramificadas, articuladas y costrosas (Ch1, Ge2, Ja, Pe y Ly) solo están presentes en el mes de diciembre y tienen un valor de frecuencia relativa mínimo.

Especie	Clave	Grupo
<i>Amphiroa beauvoisii</i>	Am1	
<i>Amphiroa misakiensis</i>	Am2	G3
<i>Asteronema breviararticulatum</i>	As	
<i>Audouinella sp</i>	Au	
<i>Bryopsis pennata</i>	Br	
<i>Ceramium affine</i>	Ce1	
<i>Ceramium zacaе</i>	Ce2	G2
<i>Chlorodesmis hildebrandtii</i>	Ch1	G4
<i>Chlorodesmis sp</i>	Ch2	G1
Cyanophyta filamentosas	Ci	G2
<i>Cladophora microcladioides</i>	Cl1	
<i>Cladophora sp</i>	Cl2	
<i>Cladophoropsis sp</i>	Cl	
<i>Derbesia marina</i>	De	
<i>Dictyotadichotoma</i>	Di	
<i>Erythrotrichia carnea</i>	Er1	
<i>Erythrotrichia tetraseriata</i>	Er2	
<i>Gayliella flaccida</i>	Ga	G2
<i>Gelidium pusillum</i>	Ge1	
<i>Gelidium mcNabbianum</i>	Ge2	G4
<i>Grateloupia aff. multiphylla</i>	Gr1	G3
<i>Grateloupia sp</i>	Gr2	
<i>Herposiphonia littoralis</i>	He1	
<i>Herposiphonia plumula</i>	He2	G3
<i>Hypnea johnstonii</i>	Hy1	
<i>Hypnea pannosa</i>	Hy2	
<i>Jania sp</i>	Ja	G4
<i>Lithophyllum sp</i>	Li	
<i>Lyngbya sp</i>	Ly	G4
<i>Peyssonnelia sp</i>	Pe	G4
<i>Polysiphonia confusa</i>	Po1	G1
<i>Polysiphonia mollis</i>	Po2	
<i>Polysiphonia subtilissima</i>	Po3	
<i>Pterocladia caloglossoides</i>	Pt	
<i>Rhizoclonium aff. riparium</i>	Rh	G1
<i>Sphacelaria furcigera</i>	Sp	
<i>Ulva flexuosa</i>	Ul	

Tabla 5. Abreviaturas DCA

10. DISCUSIÓN

GRUPOS ALGALES

La riqueza específica que se encontró en El Zacatoso fue de 37 especies, 23 (63%) fueron Rhodophyta, 9 (24%) Chlorophyta, 3 (8%) Phaeophyceae-Ochrophyta y 2 (5%) Cyanophyta. Esta proporción coincide con el patrón de riqueza mayor de rodofitas en regiones tropicales. (Sandoval-Coronado 2016, González-Pizá 2013, Vázquez-Texocotlita 2013) y para otras regiones tropicales como el suroeste de Australia (Smale *et al.*, 2011), en los arrecifes de Brasil (Figueiredo *et al.*, 2008, Villaça *et al.*, 2010), en Samoa Americana (Tribollet *et al.*, 2010) y en el Atlántico colombiano (Díaz-Pulido y Díaz Ruiz, 2003).

La Rhodophyta son un grupo bastante amplio y cosmopolita, su dominancia está relacionada con sus estrategias adaptativas y de competencia, e.g., su capacidad de absorción de luz en agua turbias, su capacidad de crecimiento rápido, sombreado, alelopatía, alta resistencia a cambios ambientales, su capacidad de precipitar CaCO₃ dentro de sus células, ya que esta acción le permite explicar su éxito ecológico, ya que le confiere protección contra los herbívoros y resistencia a los movimientos del agua y ciclos de vida cortos (Bahartan *et al.*, 2010; Luna-Ortega & Vicencio de la Cruz, 2017 y Vásquez-Elizondo & Enríquez, S, 2017).

Es notorio que, en este estudio, la riqueza fue considerablemente menor que la reportada por González-Piza (2013), para El Zacatoso. Dicho estudio se realizó en época de lluvias y secas durante el 2010 y se encontró una riqueza de 61 especies, de las cuales 21 son compartidas con este trabajo, e.g. *Amphiroa beauvoisii*, *Bryopsis pennata*, *Ceramium zaca*, *Derbesia marina*, *Gelidium pusillum*, *Hypnea pannosa*. Tales diferencias en la riqueza se pueden deber a los factores ambientales predominantes en cada año en los diferentes estudios. En el 2010 se registró el año más caluroso a nivel mundial desde 1880 (Organización Meteorológica Mundial, 2011) lo cual puede indicar que el incremento en la temperatura del agua es un factor relacionado con el desarrollo de ciertas especies de algas (Bahartan *et al.*, 2010). El año 2014 se caracterizó por ser un año en el cual el fenómeno conocido como El Niño (ENOS) dio comienzo. Entre enero y febrero se registraron las

primeras anomalías en la temperatura superficial del mar, de marzo a junio las anomalías descendieron y en julio y agosto y, hasta final de año volvieron a incrementarse. En el periodo de noviembre a diciembre se registraron las anomalías más intensas. A pesar de que las anomalías fueron superiores a 0.8°C, los vientos del Este en los niveles bajos y altos tuvieron un comportamiento neutral y el índice de la Oscilación del Sur registró valores cercanos a 0.8 y 0.9. Todos estos factores entre la atmósfera y el océano favorecieron el predominio de la fase neutral del ENOS durante el 2014 (Comisión Nacional del Agua, 2014 y <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/sstoi.indices>), por lo cual se podría decir la temperatura en el arrecife era la habitual para esa época del año. Sin embargo, en el mes de mayo se presentaron condiciones de fuerte oleaje originado por vientos y tormentas ocurridas en el Pacífico durante el invierno (mar de fondo). El oleaje causado por el mar de fondo viaja miles de kilómetros hasta llegar a la costa donde incrementa hasta 1.5 veces su altura y rompe con mucha intensidad (<http://www.srh.noaa.gov/jetstream/ocean/waves.html>). La baja riqueza de especies en mayo durante el mar de fondo sugiere que las macroalgas son susceptibles a cambios bruscos en el oleaje y por lo tanto pudieron ser desprendidas del sustrato debido a los cambios repentinos del oleaje y las corrientes marinas.

La mayoría de las especies encontradas en tres o más periodos de muestreo, fueron *Bryopsis pennata*, *Cladophora microcladioides*, *Cladophora* sp, *Derbesia marina*, *Ulva flexuosa*, *Erythrotrichia tetraseriata*, *Polysiphonia subtilissima*, *Amphiroa beauvoisii*, *Hypnea pannosa*, *Pterocladia caloglossoides* y *Lythophyllum* sp, lo cual indica que tienen capacidades de respuesta y rangos de tolerancia amplios a las variaciones de los factores ambientales, a estas especies se les llama euroicas (Margalef, 1977). E.g., en julio se registró el mayor valor de temperatura promedio (30.5°C), en mayo se reportó el máximo valor de la tasa de sedimentación total ($0.18 \pm 0.033 \text{ gr m}^{-2} \text{d}^{-1}$) y de los nitratos (0.09 y 0.06 mg/l), en febrero se registraron los valores mínimos de temperatura promedio (26.2 °C) y en el mes de diciembre se registraron los menores valores de luz promedio (150 lum/ft²), y de la tasa de sedimentación total (0.008-0.0006 $\text{gr m}^{-2} \text{d}^{-1}$). La presencia de especies como *Amphiroa beauvoisii* e *Hypnea pannosa* en los meses mencionados, coincide con

el reportado por Vega *et al.* (2008), en la Bahía de Mazatlán, donde *Hypnea pannosa* y *Amphiroa misakiensis* están presentes en todas las localidades y épocas del estudio las cuales abarcan secas y lluvias.

La mayoría de las especies que se presentaron en dos periodos de muestreo, pertenecen al Phylum Rhodophyta, sin embargo, están presentes en diferentes estaciones y pertenecen a diferentes grupos funcionales algales. En la mayoría de las especies colectadas en este trabajo, la información reproductiva es insuficiente debido a la carencia de estructuras reproductivas para hacer una evaluación detallada sobre la estacionalidad de cada especie.

La presencia de especies escasas (ocho especies) y raras (15 especies) en El Zacatoso puede ser importante en el mantenimiento de la estabilidad funcional de los ecosistemas, especialmente en el cambio de temporada. Pero, por otro lado, su rareza las vuelve vulnerables a las actividades antropogénicas y a la degradación del hábitat. Algunas especies pueden influir en la estabilidad y resiliencia en los ecosistemas de sedimentos blandos (Ellingsen *et al.*, 2007) y en los arrecifes coralinos también pueden jugar el mismo papel. Por otro lado, ciertos procesos demográficos (mortalidad, fecundidad y dispersión) pueden provocar que una especie rara pueda estar presente en alguna comunidad por casualidad más que por ser un competidor superior (Levin & Carpenter, 2012).

Por otro lado, hay especies que manifiestan demandas estrictas con relación a un cierto factor del medio, esto es, aquellas que no toleran más que variaciones muy pequeñas de dicho factor, son muy selectivas en cuanto al hábitat, sin embargo, no son endémicas a nivel geográfico, son organismos indicadores de algún tipo en particular de factor y su distribución se reduce a condiciones ambientales muy bien definidas, y se les denominan estenoicas (Ferrer *et al.*, 2001).

Gómez-Gutiérrez *et al.* (en Ferrer *et al.*, 2001) mencionaron que “las estenoicas permanecen en sus ambientes más favorables y las eurioicas son desplazadas de las áreas dónde los factores abióticos son más adecuados para el desarrollo. Tal desplazamiento es un efecto de la mayor agresividad y poder competitivo de estas, que por su más elevada eficiencia resultan más adecuadas para esas condiciones”

En este trabajo las especies raras registradas fueron *Chlorodesmis hildebrandtii*, *Chlorodesmis* sp, *Dictyota dichotoma*, *Erythrotrichia carnea*, *Gelidium pusillum*, *Gelidium mcnabblanum*, *Grateloupia aff. multiphyla*, *Grateloupia* sp, *Herposiphonia plumula*, *Jania* sp, *Lyngbya* sp, *Peyssonnelia* sp, *Polysiphonia confusa* y *Rizoclonium aff. riparium*. Posiblemente estas especies tienen diversas estrategias adaptativas que les permiten estar presentes en temporadas particulares del año, y estas estrategias están relacionadas con la especificidad del hábitat, la tolerancia de la especie hacia cambios ambientales, cantidad de sedimentos en el hábitat, su ciclo de vida y su capacidad de dispersión (Ellingsen *et al.*, 2007). Las especies raras en este estudio pudieron estar presentes debido a estas cualidades biológicas, o también a que se consideraron raras debido al método y al tamaño del área que se utilizó para colectarlas. Por lo tanto, es necesario realizar más estudios en la localidad, con áreas más grandes con un mayor número de muestreos por periodos más largos y así determinar si existen o no las especies raras en la localidad.

Los resultados de este trabajo muestran que la composición del ensamble algal estuvo conformado por algas filamentosas como, *Cladophora microcladiodes*, *Bryopsis pennata* y *Derbesia marina*, así como también por las ramificadas-carnosas como, *Hypnea pannosa* y *Pterocladella caloglossoides*, por las articuladas como, *Amphiroa beauvoisii* y por las laminares como *Ulva flexuosa*. Estos resultados coinciden con Vázquez- Texcotitla (2013), quien reportó que el ensamble más abundante en todos los sustratos muestreados fue el de las algas calcáreas articuladas, costrosas, ramificadas, filamentosas y láminas, para El Zacatoso.

La forma en que se manifestaron las especies está determinada por la capacidad que tiene cada una en reaccionar a los diferentes factores bióticos y abióticos. Por ejemplo, *Amphiroa beauvoisii* es una especie dominante, ya que estuvo presente en los cinco periodos de muestreo, con una frecuencia relativa alta de 0.062, probablemente porque está en constante reproducción y es resistente a las variaciones ambientales contrastantes, e.g. las condiciones ambientales entre mayo (lluvias) y diciembre (secas), en las cuales hubo una marcada diferencia entre las

tasas de sedimentación que son el resultado de la influencia de las lluvias que acarrear los sedimentos desde tierra hacia el mar. Otras especies dominantes en El Zacatoso son *Bryopsis pennata*, *Cladophora microcladioides*, *Hypnea pannosa*, *Derbesia marina* y *Ulva flexuosa*. Estos registros coinciden con lo reportado por Sandoval- Coronado (2016) en Playa Coral, Zihuatanejo, a 4.3 Km de distancia de El Zacatoso para *Amphiroa beauvoisii* y *Bryopsis pennata*, ambas especies igualmente presentaron los valores más altos de frecuencia relativa durante el estudio. Ambos resultados muestran que las especies de algas filamentosas y articuladas son predominantes en las regiones arrecifales de Zihuatanejo.

COBERTURAS

De los grupos de ensambles algales analizados, los céspedes tuvieron un mayor valor (349 m²). Estos resultados coinciden con lo obtenido por Sandoval- Coronado (2016), quien reportó una mayor dominancia de los céspedes en Playa Coral, Zihuatanejo.

La forma de crecimiento algal dominante en este trabajo fue el césped, el cual estuvo conformado por rodofitas y clorofitas filamentosas e.g. *Bryopsis pennata*, *Cladophora microcladioides*, *Cladophora* sp, *Ceramium affine* y *Polysiphonia subtilissima*, esta composición coincide en su mayoría con la reportada por Alvarado *et al.* (2016), en la Isla Coco, ubicada en el Pacífico de Costa Rica, en la cual describió que el césped estaba conformado en su mayoría por *Cladophora*, *Dyctyota*, *Chlorodesmis*, *Polysiphonia*, *Ceramium*, *Gelidium* y *Amphiroa*. Vazquez-Texcotitla (2013), también reporta resultados similares para El Zacatoso, aunque ella no menciona el término “césped” durante su trabajo reporta que hay una mayor cobertura de algas filamentosas principalmente de los géneros *Ceramium*, *Polysiphonia* y *Acrochaetium* sobre diferentes sustratos, como los corales vivos y muertos. Dicha dominancia de las algas filamentosas cespitosas, puede indicar que se trata de especies oportunistas, las cuales pueden corresponder con el modelo de Grime, (1977 en Littler & Littler 1984), el cual establece que, 1) que las especies se pueden categorizar como oportunistas exhibiendo altas tasas reproductivas,

habilidades de alta dispersión, reducen actividades competitivas a largo plazo y ocupan hábitats perturbados; 2) tienden a ser longevas con crecimiento lento, pueden tolerar el estrés fisiológico crónico, exhiben tasas de recolonización baja, tienden a ser longevos con crecimiento lento y por lo tanto son pobres competidores; 3) formas bióticamente competentes que viven generalmente en ambientes fisiológicamente favorables, longevas y son buenas competidoras que han creado mecanismos para evitar la reproducción (Littler & Littler 1984). Por otra parte, la dominancia de las algas filamentosas en términos de interacciones competitivas con corales arrecifales, particularmente en el contexto de la degradación del arrecife, puede ocurrir por tres procesos: 1) asentamiento y crecimiento de propágulos de algas en el tejido sano del coral; 2) competencia vegetativa causada por el sobrecrecimiento de los talos algales adyacentes; y 3) perturbación de los corales, lesiones o estrés, seguida de cualquiera de los pasos anteriores (Díaz- Pulido & McCook, 2004).

La composición y la estructura de céspedes, es muy variable, por ello es un término muy general, sin embargo, tienen en común que se asocian con sedimentos, ya que varias de las especies que conforman los céspedes, principalmente las filamentosas, tienen la capacidad de retener una cantidad considerable de sedimento los cuales influyen en su composición y estructura y no representan un factor de estrés (Airoldi *et al.*, 1995). Los céspedes de El Zacatoso son conjuntos de especies en su mayoría filamentosas, las cuales tienen menos de 5 cm de altura, crecen muy unidas unas con otras, crecen por encima del coral y retienen sedimentos entre sus filamentos. Las características y la dominancia de los céspedes de esta tesis coinciden con los que se han descrito en los trabajos de, Sandoval- Coronado (2016) y Moncada- García (2018).

COMUNIDAD CORALINA

La riqueza específica que se encontró en El Zacatoso es de 6 especies, fue similar a la reportada en estudios anteriores realizados en la misma localidad por López- Pérez *et al.* (2012), quienes encontraron 9 especies durante los meses de agosto

del 2008 (final de temporada de lluvias) y en febrero del 2009 (temporada de secas). Las especies reportadas en dicho trabajo coinciden con las que se registraron en el presente trabajo: *Pocillopora damicornis*, *P. capitata*, *P. verrucosa*, *P. effusus* y *P. meandrina*.

En el presente no se encontraron diferencias significativas en cuanto a la riqueza de las especies según la temporada.

En cada periodo de muestreo se registraron especies que persistieron durante los distintos periodos de muestreo, como *Pocillopora capitata*, y *P. damicornis*, sin embargo, las otras cuatro especies (*P. meandrina*, *P. effusus*, *P. verrucosa* y *Pocillopora* sp 1) no estuvieron presentes en todos los periodos de muestreo. Estas diferencias en la riqueza temporal en El Zacatoso pueden deberse a la alta variabilidad fenotípica que presentan varias especies de coral, ya que se han reportado colonias que han sido identificadas con un determinado nombre científico y marcadas para registrar su crecimiento, tiempo después cambian a tal grado su morfología, que pueden ser identificadas con otro nombre. (El Khattabi-Salazar *et al.*, 2015).

De los dos grupos de organismos analizados (corales y algas) los corales fueron los que tuvieron un valor total mayor de cobertura absoluta a lo largo del estudio (25771 m²). De las especies de coral analizadas, *Pocillopora damicornis* obtuvo el mayor valor de cobertura absoluta (20500 m²) seguido de *P. verrucosa* (1600 m²), *P. capitata* (1000 m²), *P. effusus* (250 m²), Psp1 (240 m²) y *P. meandrina* (24 m²). El orden de importancia de las especies de corales en este sitio coincide con lo reportado por López-Pérez *et al.* (2012), quien reportó una mayor dominancia de *P. damicornis*, seguida de *P. verrucosa* y *P. capitata*, para El Zacatoso.

Las comunidades coralinas de Zihuatanejo, corresponden con las reportadas para las Bahías de Huatulco. Esta similitud se puede explicar porque tanto Zihuatanejo en Guerrero, como Huatulco en Oaxaca se ubican en el Pacífico Tropical Mexicano, cuyas características climáticas, topográficas y litológicas y patrones de corrientes, tienen una influencia a nivel regional que posibilita la presencia de las comunidades arrecifales. Así mismo Guerrero representa un puente entre comunidades de

corales bien desarrolladas, compuestas principalmente por especies típicas de los arrecifes centroamericanos, y otras comunidades coralinas características de regiones más septentrionales, que representan taxones, ampliamente distribuidos López-Pérez *et al.* (2012).

CONDICIONES AMBIENTALES

Los factores ambientales: sedimentación, intensidad de luz, temperatura y concentración de los nutrientes disueltos en el agua fueron usados para saber si prevaleció alguna relación entre éstos y la presencia de las especies. Sin embargo, ninguno de ellos se pudo correlacionar con la variación espacio-temporal de la estructura de los ensamblajes algales y tampoco de los corales.

Las tasas de sedimentación más altas ocurrieron durante la temporada de lluvias, específicamente durante el mes de mayo. Este resultado coincide con lo reportado por Moncada- García (2018), quien registra que durante el 2014 en el arrecife Caleta de Chon, en Zihuatanejo, separado de El Zacatoso por 8 Km, también se obtuvieron valores elevados en la tasa de sedimentación, correspondiente al mes de mayo (T.S.T 0.092-0.066 gr m⁻²d⁻¹), los cual sugiere que ambos resultados pueden estar directamente relacionados con la temporada de lluvias y huracanes así como con el “mar de fondo”, ya que pueden afectar drásticamente las condiciones ambientales debido a las fuertes marejadas del agua del fondo.

Por el contrario, los valores de las tasas de sedimentación más bajas ocurrieron durante la temporada de secas, particularmente en el mes de diciembre. Dicho resultado coincide con lo reportado por Vásquez- Texcotitla (2009), quien registró un valor menor de la tasa de sedimentación para El Zacatoso durante el mes de diciembre del 2007, estos resultados sugieren que los niveles de sedimentación están muy marcados por las temporadas (secas y lluvias), y que durante la temporada de secas los niveles descienden considerablemente, esto puede deberse a que no hay eventos ambientales perturbadores como huracanes, mares de fondo o ciclones tropicales.

En este estudio se encontró que la mayor riqueza de las especies algales ocurrió cuando la cantidad de sedimentos fue menor, como en el mes de diciembre que se registraron 23 especies, en contraste la menor riqueza se registró cuando la cantidad de sedimentos fue mayor como en el mes de mayo que se registraron seis especies. Esto sugiere que la variación temporal de la composición no se debe exclusivamente a la deposición del sedimento, sino que es un efecto en conjunto de varios factores ambientales que predominan en un determinado momento y afectan de manera diferente a cada especie, o bien cada especie tiene una respuesta diferencial ante las variaciones ambientales.

A pesar de que la correlación entre la tasa de sedimentación de la fracción fina y la luz, no fue significativa ($r_s = - 0.42$), si se encontró que a medida que la sedimentación aumenta, la luz disminuye. Es decir, conforme el sedimento se acumula sobre el sustrato y consecuentemente sobre las comunidades algales, la luz disminuye, esta situación afecta las tasas fotosintéticas de las algas, lo cual repercute en su sobrevivencia y en la estructura de la comunidad (Littler, 1980).

La temperatura del mar mostró variaciones, alcanzando valores máximos de 32°C (julio) y mínimos de 27°C (febrero). Este resultado es muy similar a lo reportado por Vázquez- Texcotitla (2013) para El Zacatoso. La temperatura tuvo una correlación significativa con la cobertura media de *Pocillopora damicornis* ($p= 0.001$). Lo cual sugiere que la temperatura es adecuada para el desarrollo de esta especie. A pesar de que las correlaciones con las otras especies de coral no fueron significativas, la cobertura del coral se mantuvo alta durante todo el estudio.

Los resultados mostraron que los niveles de nutrientes disueltos en el agua son muy bajos para ser detectados por los reactivos usados para determinar la concentración de amonios y nitratos, incluso en algunos meses fueron indetectables por el lector de nutrientes, como ocurrió en febrero, mayo y diciembre, para el amonio. Sin embargo, otros nutrientes mostraron una mayor concentración en el agua, como ocurrió en mayo para los nitratos y en julio para los fosfatos. La variación de los nutrientes disueltos a través de los meses puede deberse a la erosión costera y a las corrientes marinas, al mar de fondo y a otros eventos naturales que están

relacionados con los movimientos del agua. Por otra parte, la baja concentración de nutrientes es una buena señal de conservación del arrecife, ya que los corales se desarrollan en aguas claras oligotróficas (bajo contenido de nutrientes) (Nava & Ramírez-Herrera, 2011 y Storlazzi *et al.*, 2009).

11. CONCLUSIONES

- 11.1 La riqueza de macroalgas fue de 37 especies, 23 Rhodophyta, 9 Chlorophyta, 3 Phaeophyceae y 2 Cyanophyceae.
- 11.2 Las variaciones en temporales en las tasas de sedimentación tienen una influencia importante sobre la estructura de los ensamblajes algales. La riqueza más alta ocurrió en la temporada de secas, cuando la tasa de sedimentación fue más baja y la más baja se registró durante la temporada de lluvias, cuando la tasa de sedimentación fue más alta.
- 11.3 Los grupos funcionales algales en Zacatoso fueron, articuladas, flóculos, costra rosa, costra roja, costra purpura y céspedes. Los céspedes tuvieron la mayor cobertura media durante todo el estudio.
- 11.4 Las especies con la mayor frecuencia relativa fueron, *Amphiroa beauvoisii*, *Hypnea pannosa* y *Ceramium zacaе*. Estas especies se encontraron durante todo el estudio en condiciones ambientales contrastantes, lo cual indica que tienen una amplia capacidad de respuesta, es decir son especies euroicas.
- 11.5 La riqueza de corales fue de 5 especies, las cuales fueron, *Pocillopora capitata*, *Pocillopora damicornis*, *Pocillopora effusus*, *Pocillopora meandrina*, y *Pocillopora verrucosa*. La riqueza es alta si se considera que las especies registradas en el estado de Guerrero es de ocho especies (*Pocillopora capitata*, *Pocillopora damicornis*, *Pocillopora effusus*, *Pocillopora meandrina*, *Pocillopora verrucosa*, *Porites lobata* y *Pavona gigantea*). (López- Pérez et al., 2012).

- 11.6 La variación de la tasa de sedimentación total durante todo el estudio fue de 8-180 gr m⁻²d⁻¹, la tasa de sedimentación fina varió de 4-12 gr m⁻²d⁻¹ y la tasa de sedimentación gruesa fue de 3-167 gr m⁻²d⁻¹. Los valores más altos de sedimentación total se registraron en la temporada de lluvias y los más bajos durante las secas, lo cual tuvo un efecto en la riqueza algal.
- 11.7 Las variaciones significativas de luz durante todo el estudio fueron entre los meses, mayo (350-480 lum/ft²), julio (290-530 lum/ft²) y noviembre, (240-910 lum/ft²). Se encontró que a medida que la sedimentación aumenta, la luz disminuye, lo cual repercute en la sobrevivencia y en la estructura de la comunidad algal.
- 11.8 La temperatura del mar mostró variaciones, alcanzando valores máximos de 32°C y mínimos de 27°C, lo cual indica que la temperatura es adecuada para el desarrollo de las especies de coral, ya que la cobertura se mantuvo alta durante todo el estudio.
- 11.9 Los nutrientes analizados fueron, nitratos, fosfatos y amonios. Las variaciones entre los meses del estudio fueron entre los 0.15-0.01mg/l. La variación de los nutrientes disueltos a través de los meses puede ser consecuencia de diversos eventos naturales que están relacionados con los movimientos del agua. Sin embargo, la baja concentración de nutrientes es un indicador de conservación, ya que los corales pueden desarrollarse en aguas oligotróficas (Nava & Ramírez-Herrera, 2011).
- 11.10 Los análisis univariados realizados en este trabajo han permitido establecer claros patrones en la estructura de los ensamblajes algales en relación con las temporadas de lluvias y de secas. Sin embargo, es necesario considerar en trabajos posteriores derivados de esta tesis, la realización de análisis multivariados con la finalidad de encontrar modelos de predicción de la estructura de los ensamblajes algales.

11.11 Hasta el 2014, El Zacatoso puede considerarse como un arrecife conservado, aunque las actividades antropogénicas, principalmente las generadas por el sector turístico y el desarrollo costero no planificado son los factores que están causando efectos severos en los arrecifes coralinos de la región, que junto con fenómenos climáticos, principalmente los que tienen que ver con cambios en la temperatura del océano (como el ENOS), ya están comenzando a tener una afectación irreversible en la estructura y dinámica de estos ecosistemas. Este trabajo estuvo dirigido a determinar cómo el incremento de la sedimentación y los consecuentes cambios en la concentración de nutrientes y de luz modifican la estructura y dinámica de los ensambles algales, para establecer los patrones espacio temporales que son básicos en la elaboración de investigaciones futuras con el objetivo de comprender los procesos que afectan la salud del arrecife como consecuencia de las actividades humanas.

12. BIBLIOGRAFÍA CITADA

Abbott, A. & Hollenberg G. (1976). *Marine Algae of California*. Stanford University Press. United States of America. USA. 827 pp.

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

Airoidi, L. (2003). The effects of sedimentation on rocky coast assemblages. *Oceanography and Marine Biology*, 41,161-236.

Alvarado, J., Beita-Jiménez, A., Mena, S., Fernández-García, C., Guzman-Mora, A., & Cortés, J. (2016). Ecosistemas coralinos del Parque Nacional Isla del Coco, Costa Rica: estructura y comparación 1987-2014. *Revista De Biología Tropical*, 64(1), 153.

Ayoub-Hannaa, W., Huntley, J., & Fürsich, F. (2013). Significance of Detrended Correspondence Analysis (DCA) in palaeoecology and biostratigraphy: A case study from the Upper Cretaceous of Egypt. *Journal Of African Earth Sciences*, 80, 48-59.

Bahartan, K., Zibdah, M., Ahmed, Y., Israel, A., Brickner, I., & Abelson, A. (2010). Macroalgae in the coral reefs of Eilat (Gulf of Aqaba, Red Sea) as a possible indicator of reef degradation. *Marine Pollution Bulletin*, 60(5), 759-764.

Barott, K., Smith, J., Dinsdale, E., Hatay, M., Sandin, S., & Rohwer, F. (2009). Hyperspectral and Physiological Analyses of Coral-Algal Interactions. *Plos ONE*, 4(11), e8043.

Barott, K., Rodriguez-Mueller, B., Youle, M., Marhaver, K., Vermeij, M., Smith, J., & Rohwer, F. (2011). Microbial to reef scale interactions between the reef-building coral *Montastraea annularis* and benthic algae. *Proceedings Of The Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1733), 1655-1664.

Barott, K., Williams, G., Vermeij, M., Harris, J., Smith, J., Rohwer, F., & Sandin, S. (2012). Natural history of coral–algae competition across a gradient of human activity in the Line Islands. *Marine Ecology Progress Series*, 460, 1-12.

Bender, D., Diaz-Pulido, G., & Dove, S. (2012). Effects of macroalgae on corals recovering from disturbance. *Journal Of Experimental Marine Biology And Ecology*, 429, 15-19.

Billerbeck, M., Røy, H., Bosselmann, K., & Huettel, M. (2007). Benthic photosynthesis in submerged Wadden Sea intertidal flats. *Estuarine, Coastal And Shelf Science*, 71(3-4), 704-716.

Birrell, C., McCook, L., & Willis, B. (2005). Effects of algal turfs and sediment on coral settlement. *Marine Pollution Bulletin*, 51(1-4), 408-414.

Birrell, C., McCook, L., Willis, B., & 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*, 46, 25-63.

Bruno, J., Sweatman, H., Precht, W., Selig, E., & Schutte, V. (2009). Assessing evidence of phase shifts from coral to macroalgal dominance on coral reefs. *Ecology*, 90(6), 1478-1484.

Candelaria, S. (1985). Caracterización de la ficoflora de la localidad de Puerto Escondido, Guerrero. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 172 pp.

Carballo, J. (2006). Effect of natural sedimentation on the structure of tropical rocky sponge assemblages. *Ecoscience*, 13(1), 119-130.

Castro, P. & M.E. Huber. (2007). *Biología Marina*. McGraw Hill/Interamericana. España. 486 pp.

Chin, D., Webber, D., & Webber, M. (2014). Status of the coral reefs in Foul and Folly Bays, Morant Wetlands, south-eastern Jamaica, with emphasis on corals and macroalgae. *Revista De Biología Tropical*, 62, 39.

Collado Vides, L. y Braga, M. R. A. (1996). Crecimiento y forma de las algas marinas. *Ciencias*, 42, 20-25.

Comisión Nacional del Agua. (2014). Reporte del clima en México. Comisión Nacional del Agua y Servicio Meteorológico Nacional. México. 27 pp.

Correa Metrio, A., Dechnik, Y., Lozano García, S., & Caballero, M. (2014). Detrended correspondence analysis: A useful tool to quantify ecological changes from fossil data sets. *Boletín De La Sociedad Geológica Mexicana*, 66(1), 135-143.

Dawson, E.Y. (1953). Marine Red Algae of pacific México. Part 1. Bangiales to Corallinaceae, Subf. Corallinoideae. The University of Southern California Press, California.

Dawson, Y. (1954). Marine red Algae of Pacific México. Parte 2. Cryptonemiales. Allan Hancock Pacific Expedition 17,1-397pp.

Dawson, E. Y. (1960). Marine red algae of Pacific Mexico. Part 3. Cryptonemiales, Corallinaceae subfam. Melobesioidea. *Pac. Nat.* 3, 3- 125.

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

Díaz-Pulido, G., & Díaz-Ruíz, M. (2003). Benthic photosynthesis in submerged Wadden Sea intertidal flats. *Biota Colombiana*, 4(2), 203-246.

Díaz-Pulido, G., & McCook, L. (2002). The fate of bleached corals: patterns and dynamics of algal recruitment. *Marine Ecology Progress Series*, 232, 115-128.

Díaz-Pulido, G., & Garzón-Ferreira, J. (2002). Seasonality in Algal Assemblages on Upwelling-influenced Coral Reefs in the Colombian Caribbean. *Botanica Marina*, 45(3).

Díaz-Pulido, G., & McCook, L. (2004). Effects of live coral, epilithic algal communities and substrate type on algal recruitment. *Coral Reefs*, 23(2).

Díaz-Pulido, G., McCook, L.J., Larkum, A.W.D., Lotze, H.K., Raven, J.A., Schaffelke, B., Smith, J. y Steneck, R.S. (2007). Vulnerability of macroalgae of the Great Barrier Reef to climate change. In: Johnson, J. & Marshall, P. (Eds). Climate change and the Great Barrier Reef. Great Barrier Reef Marine Park Authority & The Australian Greenhouse Office. pp 151-192.

Díaz-Pulido, G., Harii, S., McCook, L., & Hoegh-Guldberg, O. (2009). The impact of benthic algae on the settlement of a reef-building coral. *Coral Reefs*, 29(1), 203-208.

El Khattabi-Salazar S., D. Paz-García, E. Balart. (2015). Variación morfológica y distribución espacial de los corales *Pocillopora* en el Pacífico Oriental. VIII Congreso Mexicano de Arrecifes Coralinos. Puerto Vallarta, Jalisco.

Ellingsen, K., Hewitt, J., & Thrush, S. (2007). Rare species, habitat diversity and functional redundancy in marine benthos. *Journal Of Sea Research*, 58(4), 291-301.

Ferrer, C., Barrantes, O., & Broca, A. (2001). La noción de biodiversidad en los ecosistemas pascícolas españoles. *PASTOS XXXI*, 2, 129-184.

Figueiredo, M., Horta, P., Pedrini, A., & Nunes, J. (2008). Benthic marine algae of the coral reefs of Brazil: a literature review. *Oecologia Australis*, 12(02), 258-269.

Flórez-Leiva, L., Rangel-Campo, A., Díaz-Ruiz, M., Venera-Pontón, D., & Díaz-Pulido, G. (2010). Efecto de la sedimentación en el reclutamiento de las macroalgas *Dictyota* ssp. y *Lobophora variegata*: un estudio experimental en el parque nacional natural Tayrona, caribe colombiano. *Boletín De Investigaciones Marinas Y Costeras*, 39(1), 41-56.

García E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía-UNAM, México. pp 57-61.

García-Martínez, M. (2009). Estructura comunitaria de la fauna asociada a algas submareales en tres sitios contrastantes en Zihuatanejo, Guerrero. Tesis Maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Gibbons J.D., Chakraborti S. (2011) Nonparametric Statistical Inference. In: Lovric M. (eds) International Encyclopedia of Statistical Science. Springer, Berlin, Heidelberg.

González Pizá, L. (2013). Diversidad de macroalgas asociadas al arrecife coralino El Zacatoso, Zihuatanejo, Guerrero. Tesis profesional. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias.

González-Oliva, L., Ferro Díaz, J., Rodríguez-Cala, D. & Berazaín, R. (2017). Métodos de inventario de plantas. Pp. 60-85. En: Diversidad biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas (C. A. Mancina y D. D. Cruz, Eds.). Editorial AMA, La Habana, 502 pp.

Gorgula, S., & Connell, S. (2004). Expansive covers of turf-forming algae on human-dominated coast: the relative effects of increasing nutrient and sediment loads. *Marine Biology*, 145(3).

Gowan, J., Tootell, J., & Carpenter, R. (2014). The effects of water flow and sedimentation on interactions between massive *Porites* and algal turf. *Coral Reefs*, 33(3), 651-663.

Granja-Fernández, M.R. & R.A. López-Pérez. (2008). Sedimentación en comunidades arrecifales de Bahías de Huatulco. Oaxaca, México. *Rev. Biol. Trop*, 56, 1179-1187.

Harris, J., Lewis, L., & Smith, J. (2015). Quantifying scales of spatial variability in algal turf assemblages on coral reefs. *Marine Ecology Progress Series*, 532, 41-57.

<http://administracion2014-2015.guerrero.gob.mx/articulos/geografia/#clima>

<http://www.agrra.org>.

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf

<http://www.srh.noaa.gov/jetstream/ocean/waves.html>

Hollenberg, G. J. & Dawson, E.Y. (1961). Marine red algae of Pacific Mexico. Part 5. The genus *Polysiphonia*. *Pac. Nat.* 2, 345-347.

Hurrey, L., Pitcher, C., Lovelock, C., & Schmidt, S. (2013). Macroalgal species richness and assemblage composition of the Great Barrier Reef seabed. *Marine Ecology Progress Series*, 492, 69-83.

Jompa, J., & McCook, L. (2003). Contrasting effects of turf algae on corals: massive *Porites* spp. are unaffected by mixed-species turfs, but killed by the red alga *Anotrichium tenue*. *Marine Ecology Progress Series*, 258, 79-86.

Johnson, D. (2000). Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. México [etc.]: International Thomson Editores. 566 pp.

Levin, S., & Carpenter, S. (2012). The Princeton guide to ecology. Princeton, N.J.: Princeton University Press. 842 pp.

Littler M. M. (1980). Morphological Form and Photosynthetic Performances of Marine Macroalgae: Test of a Functional/ Form Hypothesis. *Bot. Mar.* XXII(161), 161-165.

Littler, M., & Littler, D. (1984). Relationships between macroalgal functional form groups and substrata stability in a subtropical rocky-intertidal system. *Journal Of Experimental Marine Biology And Ecology*, 74(1), 13-34.

López-Pérez, R., Calderón-Aguilera, L., Reyes-Bonilla, H., Carriquiry, J., Medina-Rosas, P., & Cupul-Magaña, A. (2012). Coral communities and reefs from Guerrero, Southern Mexican Pacific. *Marine Ecology*, 33(4), 407-416.

López N., P. Ramírez-García, C. Candelaria y D. Rodríguez. En prep. Evaluación de nuevos grupos morfo-funcionales de macroalgas bentónicas como componentes del paisaje en un arrecife rocoso en Zihuatanejo, Guerrero.

Luna Ortega, I., & Vicencio de la Cruz, F. (2017). Ensamblajes de macroalgas sobre superficies muertas de corales escleractinios (Anthozoa: Scleractinia) en el arrecife oro verde, Veracruz, México. *CICIMAR Océánides*, 32(1), 11-23.

McClanahan T. R. & D. Obura. (1997). Sedimentation effects on shallow coral communities in Kenya. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 209, 103-122.

McCook, L. (2001). Competition between corals and algal turfs along a gradient of terrestrial influence in the nearshore central Great Barrier Reef. *Coral Reefs*, 19(4), 419-425.

Margalef, R. 1977. Ecología. Omega. Barcelona. 951 pp.

Márquez, G., & Patiño, F. (1985). Aspectos ecológicos en la producción primaria de algas y comunidades bénticas vegetales de la región de santa marta, caribe colombiano. *Acta Biológica Colombiana*, 1(2).

Mateo-Cid, L.E. y Mendoza-González, A.C. (2012). Algas marinas bentónicas de la costa noroccidental de Guerrero, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83, 905-928.

Monge-Nájera, J. (2015). ¿Existen realmente los ensamblajes ecológicos? *Revista De Biología Tropical*, 63(3), 575.

Moncada García, A. (2018). Evaluación del impacto de la sedimentación de la estructura de los ensamblajes algales del arrecife en Caleta de Chón en Zihuatanejo, Guerrero, México. Tesis profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Montoya Moreno, Y., & Aguirre, N. (2013). Dinámica del ensamblaje algal epifítico en el sistema de planos inundables de ayapel a través del pulso de inundación. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16 (2), 491-500.

Nava, H., & Ramírez-Herrera, M. (2011). Land use changes and impact on coral communities along the central Pacific coast of Mexico. *Environmental Earth Sciences*, 65(4), 1095-1104.

Nava, H., Ramírez-Herrera, M., Figueroa-Camacho, A., & Villegas-Sanchez, B. (2013). Habitat characteristics and environmental factors related to boring sponge assemblages on coral reefs near populated coastal areas on the Mexican Eastern Pacific coast. *Marine Biodiversity*, 44(1), 45-54.

Nugues, M., & Roberts, C. (2003). Coral mortality and interaction with algae in relation to sedimentation. *Coral Reefs*, 22(4), 507-516.

Ogston, A., Storlazzi, C., Field, M., & Presto, M. (2004). Sediment resuspension and transport patterns on a fringing reef flat, Molokai, Hawaii. *Coral Reefs*, 23, 559-569.

Organización Meteorológica Mundial. (2010). Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2010. OMM- N° 1074.

Putra, M., Afatta, S., Wilson, J., Muljadi, A., & Yusidarta, I. (2015). Coral Reef Resilience in 17 Islands Marine Recreation Park, Riung – An Assessment of Functional Groups of Herbivorous Fish and Benthic Substrate. *Procedia Environmental Sciences*, 23, 230-239.

Reyes Bonilla, H., Leyte Morales, G., Carriquiry, J., & Cupul Magaña, A. (2002). Effects of the El Niño-Southern Oscillation and the anti-El Niño event (1997–1999) on coral reefs of the western coast of México. *Coral Reefs*, 21, 368-372.

Rodríguez, D. López, N. & J. González-González. (2008). Gelidiales (Rhodophyta) en las costas del Pacífico mexicano con énfasis en las especies tropicales. En: Senties A.G. y Dreckmann, K.M. Monografías Ficológicas. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. 159pp.

Sandoval Coronado, B. (2016). Patrones de abundancia y distribución de macroalgas del arrecife coralino de Isla Ixtapa, Zihuatanejo, Guerrero. Tesis profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Sentías, A. (1993). Evaluación taxonómica del género *Polysiphonia* Greville (Ceramiales, Rhodophyta) en el Pacífico Tropical Mexicano. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 79pp.

Sentías, A. (1995). El género *Polysiphonia* (Ceramiales: Rodomelaceae) en el Pacífico tropical mexicano. *Rev. Biol. Trop.*, 43(1-3) 39-54.

Sentías, A.G. & Dreckmann, K.M. (2002). Monografías Ficológicas. Universidad Autónoma Metropolitana- Iztapalapa. México. 192pp.

Siegel, S. (1956). Nonparametric statistics for the behavioral sciences (2nd ed.). New York: McGraw-Hill, 1956.

Smale, D., Kendrick, G., & Wernberg, T. (2011). Subtidal macroalgal richness, diversity and turnover, at multiple spatial scales, along the southwestern Australian coastline. *Estuarine, Coastal And Shelf Science*, 91(2), 224-231.

Smith, T., Nemeth, R., Blondeau, J., Calnan, J., Kadison, E., & Herzlieb, S. (2008). Assessing coral reef health across onshore to offshore stress gradients in the US Virgin Islands. *Marine Pollution Bulletin*, 56(12), 1983-1991.

Souter, D., & Lindén, O. (2000). The health and future of coral reef systems. *Ocean & Coastal Management*, 43(8-9), 657-688.

Steneck, R.S. & Dethier, M.N. (1994). A functional group approach to the structure of algal- dominated communities. *Oikos. Dinamarca*, 69, 476-498.

Storlazzi, C., Field, M., Bothner, M., Presto, M., & Draut, A. (2009). Sedimentation processes in a coral reef embayment: Hanalei Bay, Kauai. *Marine Geology*, 264(3-4), 140-151.

Tribollet, A.D., Schils, T. & Vroom, P.S. (2010). Spatio-temporal variability in macroalgal assemblages of American Samoa. *Phycologia*, 49, 574–591.

Valadez Cruz, F. (1998). Empleo de crecimientos algales para la caracterización de ambientes loticos en la cuenca bajo del río Amacuzac, Morelos. Tesis Maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Vázquez Texocotitla, P. (2009). Efecto del sedimento retenido en la estructura de los ensambles algales submareales. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Vázquez Texocotitla, P. (2013). Variación espacio-temporal de la estructura de los ensambles algales asociados a diferentes sustratos en el arrecife coralino El Zacatoso, Zihuatanejo, Guerrero. Tesis Maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.

Vásquez-Elizondo, R., & Enríquez, S. (2017). Light Absorption in Coralline Algae (Rhodophyta): A Morphological and Functional Approach to Understanding Species Distribution in a Coral Reef Lagoon. *Frontiers In Marine Science*, 4.

Vega, C., Olabarria, C., & Carballo, J. (2008). Variación espacio-temporal de moluscos y macroalgas en sustratos rocosos intermareales en la bahía de Mazatlán. *Ciencia Y Mar*, 12(34), 3-16.

Vermeij, M., van Moorselaar, I., Engelhard, S., Hörnlein, C., Vonk, S., & Visser, P. (2010). The Effects of Nutrient Enrichment and Herbivore Abundance on the Ability of Turf Algae to Overgrow Coral in the Caribbean. *Plos ONE*, 5(12), e14312.

Veron, J.E.N. (2000). Corals of the world (Vols. 1-3, p. 1410). Townsville: Australian Institute of Marine Sciences.

Villaça R., A. Carvalhal Fonseca, V. Köppe Jensen & B. Knoppers. (2010). Species composition and distribution of macroalgae on Atol das Rocas, Brazil, SW Atlantic. *Botânica Marina*, 53, 113-122.

Vroom, P., Page, K., Kenyon, J., & Brainard, R. (2006). Algae-Dominated Reefs: Numerous reports suggest that reefs must be dominated by coral to be healthy, but many thriving reefs depend more on algae. *American Scientist*, 94(5), 430-437.

Weber, M., Lott, C., & Fabricius, K. (2006). Sedimentation stress in a scleractinian coral exposed to terrestrial and marine sediments with contrasting physical, organic and geochemical properties. *Journal Of Experimental Marine Biology And Ecology*, 336(1), 18-32.

Woolfe, K., & Larcombe, P. (1999). Terrigenous sedimentation and coral reef growth: a conceptual framework. *Marine Geology*, 155(3-4), 331-345.

Wolanski, E., Richmond, R., & McCook, L. (2004). A model of the effects of land-based, human activities on the health of coral reefs in the Great Barrier Reef and in Fouha Bay, Guam, Micronesia. *Journal Of Marine Systems*, 46(1-4), 133-144.

ANEXO 1

Chlorophyta

Orden: Bryopsidales

Familia: Bryopsidaceae

Género: Bryopsis J.V. Lamouroux

Especie: *Bryopsis pennata* J. V. Lamouroux

Familia: Udoteaceae

Género: Chlorodesmis W. H. Harvey & J. W. Bailey

Especie: *Chlorodesmis hildebrandtii* A. Gepp & E. S. Gepp

Especie: *Chlorodesmis* sp

Familia: Derbesiaceae

Género: Derbesia Solier

Especie: *Derbesia marina* (Lyngbye) Solier

Orden: Cladophorales

Familia: Cladophoraceae

Género: Cladophora Kützing

Especie: *Cladophora* sp

Especie: *Cladophora microcladioides* Collins

Género: Rhizoclonium Kützing

Especie: *Rhizoclonium* aff. riparium

Orden: Ulvales

Familia: Ulvaceae

Género: Ulva Linnaeus

Especie: *Ulva flexuosa* Wulfen

Cyanobacteria

Clase: Cyanophyceae

Orden: Oscillatoriales

Familia: Oscillatoriaceae

Género: Lyngbya C.Agardh ex Gomont

Especie: *Lyngbya* sp

Ochrophyta

Clase: Phaeophyceae

Orden: Dictyotales

Familia: Dictyotaceae

Género: Dictyota J. V. Lamouroux

Especie: *Dictyota dichotoma* (Hudson) J. V. Lamouroux

Orden: Scytothamnales

Familia: Asteronemataceae

Género: Asteronema Delépine & Asensi

**Especie: *Asteronema breviarticulatum* (J. Agardh)
Ouriques & Bouzon**

Orden: Sphacelariales

Familia: Sphacelariaceae

Género: Sphacelaria Lyngbye

Especie: *Sphacelaria rigidula* Kützing

Rhodophyta

Orden: Acrochaetiales

Familia: Acrochaetiaceae

Género: *Audouinella* Bory

Especie: *Audouinella* sp.

Orden: Ceramiales

Familia: Ceramiaceae

Subfamilia: Ceramioideae

Género: *Ceramium* Roth

Especie: *Ceramium affine* Setchell & N. L. Gardner

Especie: *Ceramium zaca*e Setchell & N. L. Gardner

Género: *Gayliella* T. O. Cho, L. J. McIvor & S. M. Boo

Especie: *Gayliella flaccida* (Harvey ex Kützing)

Familia: Rhodomelaceae

Género: *Herposiphonia* Nägeli

Especie: *Herposiphonia littoralis* Hollenberg

Especie: *Herposiphonia plumula*(J.Agardh) Falkenberg

Género: *Polysiphonia* Greville

Especie: *Polysiphonia confusa* Hollenberg

Especie: *Polysiphonia mollis* J. D. Hooker & Harvey

Especie: *Polysiphonia subtilissima* Montagne

Orden: Corallinales

Familia: Corallinaceae

Subfamilia: Lithophylloideae

Género: *Jania* J. V. Lamouroux

Especie: *Jania* sp

Género: Lithophyllum Philippi

Especie: *Lithophyllum* sp

Género: Amphiroa J. V. Lamouroux

Especie: *Amphiroa beauvoisii* J. V. Lamouroux

Especie: *Amphiroa misakiensis* Yendo

Orden: Erythropeltales

Familia: Erythrotrichiaceae

Género: Erythrotrichia Areschoug

Especie: *Erythrotrichia carnea* (Dillwyn) J. Agardh

Especie: *Erythrotrichia tetraseriata* N. L. Gardner

Orden: Gelidiales

Familia: Gelidiaceae

Género: Gelidium J. V. Lamouroux

Especie: *Gelidium pusillum* (Stackhouse) Le Jolis

Especie: *Gelidium mcnabbianum* (E. Y. Dawson) B. Santelice

Familia: Pterocliadiaceae

Género: Pterocliadiella B. Santelices & Hommersand

Especie: *Pterocliadiella caloglossoides* (M. Howe) Santelices

Orden: Gigartinales

Familia: Cystocloniaceae

Género: Hypnea J. V. Lamouroux

Especie: *Hypnea johnstonii* Setchell & N. L. Gardner

Especie: *Hypnea pannosa* J. Agardh

Orden: Halymeniales

Familia: Halymeniaceae

Género: Grateloupia J.V.Lamouroux

Especie: *Grateloupia* sp

Especie: *Grateloupia* aff. multiphylla

Orden: Peyssonneliales

Familia: Peyssonneliaceae

Género: Peyssonnelia Decaisne

Especie: *Peyssonnelia* sp