



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS

Variabilidad temporal de las comunidades bentónicas del  
litoral de Sisal, Yucatán

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

DOMINIQUE PAMELA ORVAÑANOS DONIS



DIRECTOR DE TESIS:  
DOCTOR. JOAQUÍN RODRIGO GARZA PÉREZ  
2010

*Dedicatoria:*

*A mis padres, mis guías, mis amigos, mis consejeros, a los que me han dado todo incluyendo la vida. A ustedes les dedico este trabajo, porque sin su apoyo incondicional y su confianza no habría llegado tan lejos.*

*Los amo David y Magdalena.*



## Agradecimientos:

Agradezco al Dr. Joaquín Rodrigo Garza Pérez por su apoyo incondicional en todo momento para la realización de esta tesis, por la confianza depositada en mi, por sus valiosos comentarios, por las enseñanzas, por su tiempo, por hacerme muy amena y placentera mi estancia, por el automóvil facilitado para mi transportación y por estar siempre pendiente de mi.

Agradezco al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la Universidad Nacional Autónoma de México por la beca otorgada para la realización de mi tesis de licenciatura durante un año. Agradezco también por el patrocinio del proyecto de investigación “Caracterización de hábitats submarinos del litoral de Sisal, Yucatán y análisis de la estructura-función de sus comunidades” clave IN209408 en su segunda y tercera fase (2009-2010), bajo la responsabilidad del Dr. Joaquín Rodrigo Garza Pérez, a partir del cual se derivó la investigación de esta tesis

Agradezco el préstamo de las instalaciones y equipo necesario proporcionado por el Programa de Investigación Espacial en Ambientes Costeros y Marinos (PIESACOM), de la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación (UMDI) Sisal de la Facultad de Ciencias de la UNAM, para la investigación y redacción de mi tesis.

Agradezco a la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación (UMDI) Sisal de la Facultad de Ciencias de la UNAM, por permitirme el uso de las instalaciones y equipo.

Agradezco al técnico académico M.C. Enrique Puerto Novelo, asociado al proyecto IN209408 durante 2009, por su ayuda en el trabajo de campo.

Agradezco al comité de evaluación de tesis: Dr. Frank Raúl Gío Argaez, Dr. Manuel Uribe Alcocer del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM, a la Dra. Brigitta Ine Van Tussenbroek Ribbink del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Unidad Académica de Sistemas Arrecifales (Puerto Morelos, Q. Roo), al Dr. Joaquín Rodrigo Garza Pérez de la Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación (UMDI) Sisal de la Facultad de Ciencias de la UNAM, y a la Dra. Guillermina Alcaraz Zubeldía de la Facultad de Ciencias UNAM, por su amable disposición para formar parte del comité y por sus valiosos comentarios y sugerencias que han servido para enriquecer esta tesis.

Agradezco al M. en C. Gilberto-Acosta González por las asesorías brindadas, por el material facilitado y por el apoyo incondicional durante mi estancia en Yucatán para la realización de esta tesis.

## Agradecimientos personales:

- A Dios, porque siempre está conmigo y me bendice en gran manera.
- A mis papás por su amor, su confianza y su apoyo tanto moral como económico que me brindaron durante toda mi estancia en Yucatán.
- A mis sobrinos Melina y Caleb, por ser mi alegría.
- A mi abue chelo, por sus oraciones y su amor.
- A mi familia “muégano” por su apoyo incondicional en todo momento, sus oraciones, sus correos y sus palabras de aliento: Tía Mara, Joy, Bians, Aarón, Samy, Migue, Mara, Artur, tío Miguel, Raquel, Lili, Ana, Hidekel, Keila, Aynkan, Caleb, Melina, Freddy, Chelo, Martis, Omar, Carlos, tío Job, tía Alba, Isaac, Diana.
- A mi amiga Leslie Cid, por su enorme paciencia para realizar en mi representación el engorroso trámite de titulación, por escucharme cuando lo necesite y estar ahí para mí.
- A mis amigas Yolanda y Mónica, por su asesoría en alguno de los mil pasos de la titulación.
- A mi primo Omar, por apoyarme en la entrega de documentos.
- A mis amigos y familiares que tomaron tiempo para visitarme en Sisal: Freddy, Ismael “pandroso”, Mara “Pach”, tía Mara, mamá, papá y abue. Gracias por su compañía y amor.
- A mis amigos de Sisal: Pastora Angélica y familia, Alejandro “Bambino”, por estar al pendiente de mi y por hacerme sentir en casa.

# INDICE

Dedicatoria: .....	2
Agradecimientos: .....	3
Agradecimientos personales: .....	4
Lista de Figuras .....	6
Lista de Tablas.....	7
Lista de gráficas.....	8
Lista de Imágenes .....	9
Resumen: .....	10
I. Introducción: .....	12
II. Objetivos: .....	19
Objetivo general: .....	19
Objetivos particulares: .....	19
III. Área de estudio: .....	20
IV. Materiales y Método:.....	21
1. Diseño de muestreo. ....	21
V. Resultados:.....	31
1. Diferencias en las coberturas bentónicas en las tres temporadas climáticas.....	32
2. Descripción de los paisajes.....	34
3. Comparación de las coberturas bentónicas de cada uno de los seis paisajes entre las tres temporadas climáticas.....	57
4. Asociación de la cobertura bentónica con el tipo de fondo.....	67
VI. Discusión:.....	77

## Lista de Figuras

Figura 1. Distribución de las unidades sedimentarias de la era pos glacial de la plataforma de Yucatán.....	18
Figura 2. Ubicación geográfica de la zona litoral de Sisal en el estado de Yucatán en México.....	20
Figura 3. Ubicación de las estaciones de muestreo, sobre una imagen de satélite de resolución media Landsat 7 ETM+ .....	22
Figura 4. Método de filmación de videotransectos.....	24
Figura 5. Ejemplo de la disposición sistemática de los puntos en el monitor de alta resolución para la identificación de cobertura en cada cuadro a lo largo de los videotransectos.....	25
Figura 6. MDS aplicada a las comunidades bentónicas de Sisal en las temporadas de 1 ▲ (secas), 2 ▼ (lluvias), y 3 ■ (nortes).....	32
Figura 7. Cluster para determinar los paisajes presentes en la zona litoral de Sisal en el estado de Yucatán, en temporada de secas.....	36
Figura 8. Cluster para determinar los paisajes presentes en la zona litoral de Sisal en el estado de Yucatán, en temporada de lluvias.....	37
Figura 9. Cluster para determinar los paisajes presentes en la zona litoral de Sisal en el estado de Yucatán, en temporada de nortes.....	38
Figura 10 Diagrama de dispersión (biplot) de los componentes bióticos y los tipos de fondo en la temporada climática de Secas.....	69
Figura 10.1 Diagrama de escalamiento multidimensional (MDS).....	70
Figura 10.2 Diagrama de escalamiento multidimensional (MDS).....	70
Figura 11 Diagrama de dispersión (biplot) de los componentes bióticos y los tipos de fondo en la temporada climática de Lluvias.....	72
Figura 11.1 Diagrama de escalamiento multidimensional (MDS).....	73
Figura 11.2 Diagrama de escalamiento multidimensional (MDS).....	74
Figura 12. Diagrama de dispersión (biplot) de los componentes bióticos y los tipos de fondo en la temporada climática de nortes.....	75
Figura 12.1 Diagrama de escalamiento multidimensional (MDS).....	76
Figura 12.2 Diagrama de escalamiento multidimensional (MDS).....	76

## Lista de Tablas

Tabla 1. Correspondencia de Grandes Grupos taxonómicos y géneros o especies.....	31
Tabla 2. Análisis de similaridad de una vía (ANOSIM) para las tres temporadas.....	33
Tabla 3. Coberturas bentónicas que causan la similitud inter-temporadas en el grupo basados en la similitud Bray-Curtis.....	33
Tabla 4. Coberturas bentónicas que causan la diferencia entre temporadas basados en la similitud Bray-Curtis. ....	34
Tabla 5. Promedio de coberturas bentónicas del Paisaje 1 <i>Algas rojas con parches de algas verdes sobre arena</i> .....	39
Tabla 6. Promedio de las coberturas bentónicas y D.E del Paisaje 2 <i>Praderas de algas mixtas dominada por algas filamentosas/pardas sobre arena</i> .....	42
Tabla 7. Promedio de las coberturas bentónicas del Paisaje 3 <i>Arena</i> .....	45
Tabla 8. Promedio y D.E de las coberturas bentónicas del Paisaje 4 <i>Algas verdes sobre arena</i> .....	48
Tabla 9. Promedio y D.E de las coberturas bentónicas del Paisaje 5 <i>Algas rojas con parches de algas verdes sobre sedimento blando</i> .....	51
Tabla 10. Promedio y D.E de las coberturas bentónicas del Paisaje 6 <i>Algas filamentosas/pardas con parches de algas verdes sobre arena</i> .....	54
Tabla 11. Coberturas bentónicas que causan la similitud inter-paisaje basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 1. ....	58
Tabla 12. Coberturas bentónicas que causan la diferencia del paisaje entre temporadas, basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 1. ....	58
Tabla 13. Coberturas bentónicas que causan la similitud en el paisaje en la temporada de secas basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 2.....	59
Tabla 14. Coberturas bentónicas que causan la diferencia del paisaje entre temporadas, basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 2. ....	60
Tabla 15. Coberturas bentónicas que causan la similitud inter-paisaje basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 3. ....	61
Tabla 16. Coberturas bentónicas que causan la diferencia del paisaje entre temporadas, basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 3. ....	61
Tabla 17. Coberturas bentónicas que causan la similitud inter-paisaje basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 4. ....	62
Tabla 18. Coberturas bentónicas que causan la diferencia del paisaje entre temporadas, basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 4. ....	63
Tabla 19. Coberturas bentónicas que causan la similitud inter-paisaje basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 5. ....	64
Tabla 20. Coberturas bentónicas que causan la diferencia del paisaje entre temporadas, basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 5. ....	65
Tabla 21. Coberturas bentónicas que causan la similitud inter-paisaje basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 6. ....	66
Tabla 22. Coberturas bentónicas que causan la diferencia del paisaje entre temporadas, basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 6. ....	67

## Lista de gráficas

Grafica 1. Paisaje 1 <i>Algas rojas con parches de algas verdes sobre arena</i> . Muestra el promedio y la D.E de la cobertura biótica en las temporadas de secas, lluvias y nortes.....	40
Grafica 2. Paisaje 2 <i>Praderas de algas mixtas dominada por algas filamentosas/pardas sobre arena</i> . Muestra el promedio y la D.E de la cobertura biótica en las temporadas de secas, lluvias y nortes.....	43
Grafica 3. Paisaje 4 <i>Algas verdes sobre arena</i> . Muestra el promedio y D.E de la cobertura biótica en las temporadas de secas, lluvias y nortes. ....	49
Grafica 4. Paisaje 5 <i>Algas rojas con parches de algas verdes sobre sedimento blando</i> . Muestra el promedio y D.E de la cobertura biótica en las temporadas de secas, lluvias y nortes. ....	52
Grafica 5. Paisaje 6 <i>Algas filamentosas/pardas con parches de algas verdes sobre arena</i> . Muestra el promedio y D.E de la cobertura biótica en las temporadas de secas, lluvias y nortes. ....	55

## Lista de Imágenes

Imagen 1. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 1 <i>Algas rojas con parches de algas verdes sobre arena</i> durante la temporada de secas.....	40
Imagen 2. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 1 <i>Algas rojas con parches de algas verdes sobre arena</i> durante la temporada de lluvias.....	41
Imagen 3. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 1 <i>Algas rojas con parches de algas verdes sobre arena</i> durante la temporada de nortes.....	41
Imagen 4. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 2 <i>Praderas de algas mixtas dominada por algas filamentosas/pardas sobre arena</i> durante la temporada de secas.....	43
Imagen 5. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 2 <i>Praderas de algas mixtas dominada por algas filamentosas/pardas sobre arena</i> durante la temporada de lluvias.....	44
Imagen 6. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 2 <i>Praderas de algas mixtas dominada por algas filamentosas/pardas sobre arena</i> durante la temporada de nortes.....	44
Imagen 7. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 3 <i>Arena</i> durante la temporada de secas.....	46
Imagen 8. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 3 <i>Arena</i> durante la temporada de lluvias.....	46
Imagen 9. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 3 <i>Arena</i> durante la temporada de nortes.....	47
Imagen 10. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 4 <i>Algas verdes sobre arena</i> durante la temporada de secas.....	49
Imagen 11. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 4 <i>Algas verdes sobre arena</i> durante la temporada de lluvias.....	50
Imagen 12. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 4 <i>Algas verdes sobre arena</i> durante la temporada de nortes.....	50
Imagen 13. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 5 <i>Algas rojas con parches de algas verdes sobre sedimento blando</i> durante la temporada de secas.....	52
Imagen 14. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 5 <i>Algas rojas con parches de algas verdes sobre sedimento blando</i> durante la temporada de lluvias.....	53
Imagen 15. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 5 <i>Algas rojas con parches de algas verdes sobre sedimento blando</i> durante la temporada de nortes.....	53
Imagen 16. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 6 <i>Algas filamentosas/pardas con parches de algas verdes sobre arena</i> durante la temporada de secas.....	55
Imagen 17. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 6 <i>Algas filamentosas/pardas con parches de algas verdes sobre arena</i> durante la temporada de lluvias.....	56
Imagen 18. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 6 <i>Algas filamentosas/pardas con parches de algas verdes sobre arena</i> durante la temporada de nortes.....	56

## "Variabilidad temporal de las comunidades bentónicas del litoral de Sisal Yucatán."

### Resumen:

El presente trabajo se realizó en la zona litoral de Sisal en el estado de Yucatán en México, a lo largo de una extensión de litoral de 46 km y un área aproximada de 1,240 km<sup>2</sup>, ubicada en la región costera noroccidental del estado de Yucatán a una distancia de 53 km de Mérida. Sus coordenadas geográficas son 21°9'55.22"N, 90°1'54.93"W. El objetivo fue realizar una descripción de las comunidades bentónicas del litoral de Sisal, Yucatán y su cambio a través de tres temporadas climáticas: una temporada seca, una temporada lluviosa y una temporada de nortes durante un año. La falta de conocimiento sobre la dinámica espacial y temporal, y la importancia que representa el entendimiento de su función con respecto a la formación de hábitats para diversos organismos realza la necesidad de realizar un estudio de la distribución y caracterización de los paisajes, y de las comunidades de organismos bentónicos que los han conformado a lo largo del tiempo, proporcionando a diversos organismos alimento y refugio como es el caso de los corales y otras poblaciones de organismos bentónicos los cuales pueden cohabitar tales como, las algas, zoántidos, octocorales, peces, esponjas, entre otros. Para la descripción de los paisajes bentónicos se utilizó la versión modificada por Garza-Pérez, *et al.* (2004) del método de video-transectos de Aronson & Swanson (1997), mediante observaciones directas en campo realizadas utilizando buceo autónomo (SCUBA). Se realizaron tres campañas de trabajo en las tres temporadas climáticas. Durante los meses de abril-mayo (secas) y septiembre (lluvias) de 2009, y en marzo-abril (nortes) de 2010, con un total de (89) estaciones de muestreo. Las filmaciones de cada estación de muestreo se proyectaron en un monitor de alta resolución, se analizó detalladamente la imagen perpendicular obtenida del sustrato en cada videotransecto. Por medio de un análisis ANOSIM, se encontró que existen diferencias significativas en las coberturas bentónicas entre las temporadas climáticas de secas- nortes ( $R= 0.423$ ,  $p= 0.1\%$ ), y diferencias significativas ( $R= 0.152$ ,  $p= 0.1\%$ ) entre la temporada de lluvias-nortes, sin embargo no hay diferencias significativas ( $R= 0.068$ ,  $p= 1\%$ ) entre la temporada de secas y lluvias. Se describieron seis paisajes constantes a través de las tres temporadas, por medio del método de Cluster (aglomeración jerárquica). Posteriormente se utilizó un análisis SIMPER para determinar la similitud y diferencia entre las coberturas bentónicas de cada paisaje a través de las tres temporadas. Durante la temporada de secas, la diferencia está marcada principalmente por la cobertura de algas rojas, mientras que la similitud durante las temporadas de lluvias y nortes, está marcada por la cobertura de arena. Finalmente se realizaron un análisis de correspondencia Canónico (CCA) y un análisis de escalamiento multidimensional (MDS), con el fin de establecer las asociaciones entre la cobertura bentónica y el tipo de fondo en las tres temporadas climáticas. Se encontraron diferencias en las comunidades bentónicas de cada paisaje descrito a lo largo de tres temporadas climáticas, sin embargo estas diferencias son mínimas y están marcadas por el porcentaje de las diferentes coberturas, ya que los paisajes son muy homogéneos y la variación puede estar dada en términos de los cambios en los factores ambientales que determinan cada temporada climática, como la radiación solar, la concentración salina, el aumento o disminución en la precipitación, la intensidad del viento, etc. La identificación y caracterización en términos de cobertura de grupos morfo-funcionales, de estos seis paisajes submarinos permanentes o constantes en el litoral de Sisal constituyen un avance

importante en el conocimiento de esta zona del Banco de Campeche y del estado de Yucatán, en donde la información biológica, ecológica y ambiental en general es muy escasa. Este estudio puede servir para estudios posteriores y brinda información básica para futuras estrategias de manejo.

## I. Introducción:

México cuenta con un extenso litoral marítimo, incluyendo dos grandes penínsulas, Yucatán y Baja California. El recurso natural más valioso que posee la península de Yucatán es su ambiente costero, en particular su litoral marítimo, incluyendo las playas, lagunas y aguas marinas adyacentes. Esto contrasta con la pobreza en otros recursos naturales y su tasa actual de desarrollo en la costa (Capurro y Herrera, 2002). La península de Yucatán, es la porción septentrional de Mesoamérica, que divide el Golfo de México del mar Caribe en el extremo sureste de América del Norte y la parte norte de América Central, con un territorio de aproximadamente 145.000 km<sup>2</sup>. La integran los estados de Yucatán, Quintana Roo y Campeche, aunque en sentido estricto de geografía física, Belice y el Petén en Guatemala también la conforman. Las demarcaciones limítrofes peninsulares son: al suroeste, la Laguna de Términos en el estado de Campeche; al noroeste Celestún y el puerto de Sisal en el estado de Yucatán; al noreste, Cabo Catoche en el estado de Quintana Roo; al sureste, la bahía de Chetumal, en el estado de Quintana Roo.

Dentro de los principales recursos marinos que son obtenidos en el estado de Yucatán se encuentran los peces, crustáceos (langosta) y moluscos (pulpos), estos organismos se encuentran directamente relacionados con las características del sustrato bentónico (Ríos *et al.*, 1998). El bentos está constituido por aquellos organismos que viven sobre o asociados al piso oceánico. La complejidad que presentan las comunidades bentónicas es altamente variable en una escala espacial y temporal, por lo cual la descripción de los distintos paisajes que presenta un sistema bentónico, es una manera de establecer las características del bentos y su variación a diferentes escalas.

El concepto de paisaje ha sido muy discutido y controvertido en los últimos años; sin embargo, no existe una definición que satisfaga completamente todos los puntos de vista. Esto se debe a la jerarquía taxonómica que se asigna a uno o algunos de sus componentes, a su extensión o cobertura y a la temporalidad con la que se le concibe. No obstante en las diferentes definiciones que aparecen en la literatura, se aprecia una tendencia a relacionar y concatenar los componentes físicos y bióticos que conforman el medio natural (Chiappy *et al.*, 1999). El paisaje es definido por (Turner *et al.*, 2001) como un área que es espacialmente heterogénea en al menos un factor de interés, y que está conformada por un mosaico de parches individuales. Estos parches son la unidad espacial mínima con la cual se puede cuantificar y caracterizar al paisaje (McGarigal y Marks, 1995).

El enfoque paisajístico es un criterio metodológico que integra e interrelaciona los componentes físicos y biológicos, los cuales por sus características particulares asociadas a una área heterogénea en específico brindan una dimensión espacial o geográfica delimitada, esta delimitación se dificultaría si se realizara bajo el termino de ecosistema; ya que el ecosistema es un sistema natural a gran escala que está formado por un conjunto de organismos vivos y el medio físico donde se desarrollan, teniendo en cuenta las interacciones entre los organismos que forman la comunidad. En el caso particular de este estudio, el ecosistema está comprendido por la zona sublitoral de la costa de Yucatán, correspondiente a la plataforma del banco de Campeche y delimitado por la extensión del tapete Progreso. Dentro de este ecosistema se describen los paisajes bentónicos, correspondientes al área de interés de Sisal.

En la parte noroeste de la península de Yucatán en la zona costera de la localidad de Sisal (municipio de Hunucmá, Yucatán) existen una serie de ambientes marinos que soportan una gran cantidad de organismos bentónicos entre los que destacan algunas especies de

octocorales y corales formadores de arrecifes, estas estructuras de origen calcáreo denominados como bajas, en conjunto con todos los organismos bentónicos que los conforman, sirven como zonas de refugio y alimentación a una infinidad de especies de peces y otros organismos de importancia tanto comercial como ecológica (Bernardino, 2007).

El escaso conocimiento sobre la dinámica espacial y temporal, y la importancia que representa el entendimiento de su función con respecto a la formación de hábitats para diversos organismos realza la necesidad de realizar un estudio de la distribución y caracterización de los paisajes, y de las comunidades de organismos bentónicos que los han conformado a lo largo del tiempo, proporcionando a diversos organismos alimento y refugio como es el caso de los corales y otras poblaciones de organismos bentónicos los cuales pueden cohabitar tales como, las algas, zoóntidos, octocorales, peces, esponjas, entre otros

El escaso conocimiento de los ecosistemas marinos y sus componentes bióticos conducen a la toma de decisiones basadas en suposiciones, lo que puede fomentar la pérdida de diversidad biológica y el desequilibrio en el funcionamiento de los ecosistemas (Carricart-Ganivet y Beltrán Torres 1997).

Las condiciones climáticas regionales en el sureste del Golfo de México han llevado a la definición de tres temporadas climáticas: una temporada seca que va de Marzo a Mayo (secas), una temporada lluviosa de Junio a Octubre (lluvias) y una temporada de nortes (caracterizada por presentar fuertes vientos provenientes del norte, bajas temperaturas y escasa precipitación), la cual abarca de Noviembre a Febrero (Fuentes-Yaco *et al.*, 2001).

La temporada de secas se caracteriza por el aumento en la temperatura (de 36 a 38°C), así

como por un aumento en la tasa de evaporación, y mínimas precipitaciones (de 0 a 30mm), la temporada de lluvias se caracteriza por el aumento en la precipitación, siendo septiembre el mes con mayor precipitación (125mm promedio), lo que provoca una disminución en la salinidad del agua. La temporada de nortes, a su vez, se caracteriza por fuertes vientos, escasas precipitaciones, aire frío, incremento en el oleaje y turbidez del agua, la temperatura promedio es de 23°C y la precipitación de 40 mm (Tunnell, 1988). La variación de los factores ambientales en las temporadas climáticas, los factores ecológicos como la depredación, enfermedades, y la frecuencia e intensidad de los disturbios tanto naturales como por parte del hombre puede causar un cambio importante en la conformación de las comunidades bentónicas, así como en la abundancia y vitalidad de comunidades bentónicas vegetales y animales (Birkeland, 1987; Hughes, 1994). Las comunidades bentónicas, reciben desde hace décadas una fuerte presión humana. Existe una gran lista de los impactos directos que ha ejercido el hombre a las comunidades bentónicas las cuales actúan de manera primaria a nivel local pero que se han expandido globalmente como la sedimentación, la sobrepesca, la contaminación, como ejemplos de factores que amenazan la conservación de la diversidad (Brown, 1987; Ginsburg, 1994).

Los sedimentos marinos nos proporcionan mucha información para el conocimiento de la historia de los océanos y del planeta mismo. Están constituidos por materiales de diversa textura y procedencia, los cuales bajo diversos factores físicos, químicos y biológicos se acumulan en el fondo marino en capas, consolidándose con el transcurso del tiempo. Los factores físicos más importantes que influyen en el transporte de los sedimentos son los derivados de la topografía submarina, las propiedades físicas del agua, la dinámica del océano y factores climáticos. La vida bentónica tiene importancia geológica debido a que, durante su permanencia sobre el piso oceánico, modificará y cambiará algunas propiedades

físicas y químicas del sedimento. Por otra parte los factores biológicos de los sedimentos, guardan relación con el número y el tipo de organismos presentes, ya que algunos organismos incorporan sílice o calcio para la formación de esqueletos o estructuras rígidas, mientras que otros absorben ciertas sustancias para su conversión en materia orgánica, como es el caso de las algas marinas (<http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r24117.DOC>). En 1969, Logan describió detalladamente la plataforma de Yucatán en términos de cuerpos sedimentarios que pueden ser designados como unidades sedimentarias (equivalente a unidades de roca) (figura 1). La mayoría de estas formaciones cubren grandes áreas de la plataforma como capas que van desde unos pocos centímetros hasta algunos metros de espesor, y se les conoce con el término descriptivo de tapete.

Los sedimentos principales reconocidos en la plataforma de Yucatán son (1) la Calcilitita de Campeche, (2) el tapete Sigsbee, (3) el tapete Progreso, (4) el tapete Sisal, y (5) la Unidad Arrecifal de Yucatán. La distribución de dichas unidades sedimentarias se muestra en la figura 1. En el caso particular de nuestro estudio la unidad sedimentaria que nos interesa es el tapete Progreso, ya que el área de estudio se encuentra sobre éste.

El tapete Progreso es un tipo de recubrimiento biológico compuesto de unidades sedimentarias que van de fragmentos de esqueletos blancos a amarillos, arenas y coquina; unas pocas muestras contienen porcentajes moderados de litoclastos (fragmentos de calizas), pellets calcáreos, y nódulos de algas. El mayor constituyente de estos sedimentos son fragmentos angulares y subangulares de pelecípodos, gasterópodos, foraminíferos (principalmente *Peneroplie* y *Miliolidae*), placas de *Halimeda*, y fragmentos de algas

coralinas. La mayoría de los granos de arena son de tamaño medio a fino. El limo y la arcilla constituyen generalmente menos del 5% (Logan, 1969).

El tapete Progreso es una capa delgada que mide de 1.27cm hasta 1.21m sobre la plataforma interior de la provincia al noroeste de la plataforma. Al margen norte los límites de arena del tapete Progreso están marcados por la integración con pellets de litoclastos y calcarenitas del tapete Sigsbee. Estos cambios de fase ocurren en el piso de la plataforma y entre los bancos inorgánicos de la línea al margen de la plataforma interior; las profundidades van de 45.72m a 54m.

El margen occidental del tapete Progreso está marcado por un abrupto cambio de facies del típico limo carente de calcarenitas dentro de las calcilitas del tapete Sisal. La línea de demarcación entre estas unidades se encuentra a varias profundidades, que van de los 48m al norte a los 30m al sur de la pera principal. La superficie superior del tapete Progreso es la interface presente de agua y sedimento. El tapete más delgado se superpone a la superficie de transgresión existente en la caliza que es probablemente del pleistoceno temprano y posiblemente del terciario. Las unidades descansan sobre una superficie inclinada de transgresión ubicada entre el nivel del mar presente y los 54m en las bases de la elevación. Es una de las fases más jóvenes en la plataforma.

La descripción de los paisajes de la península de Yucatán, es de gran importancia para la realización de futuras investigaciones en el campo de las ciencias naturales, al diferenciarse en gran medida del resto del territorio de la Republica Mexicana, tanto por sus características fisico-geográficas (Butterlin, 1958; Duch, 1988; 1991), como por la diversidad y riqueza de su biota (Flores y Espejel, 1994; Miranda, 1959; Rzedowski, 1978).

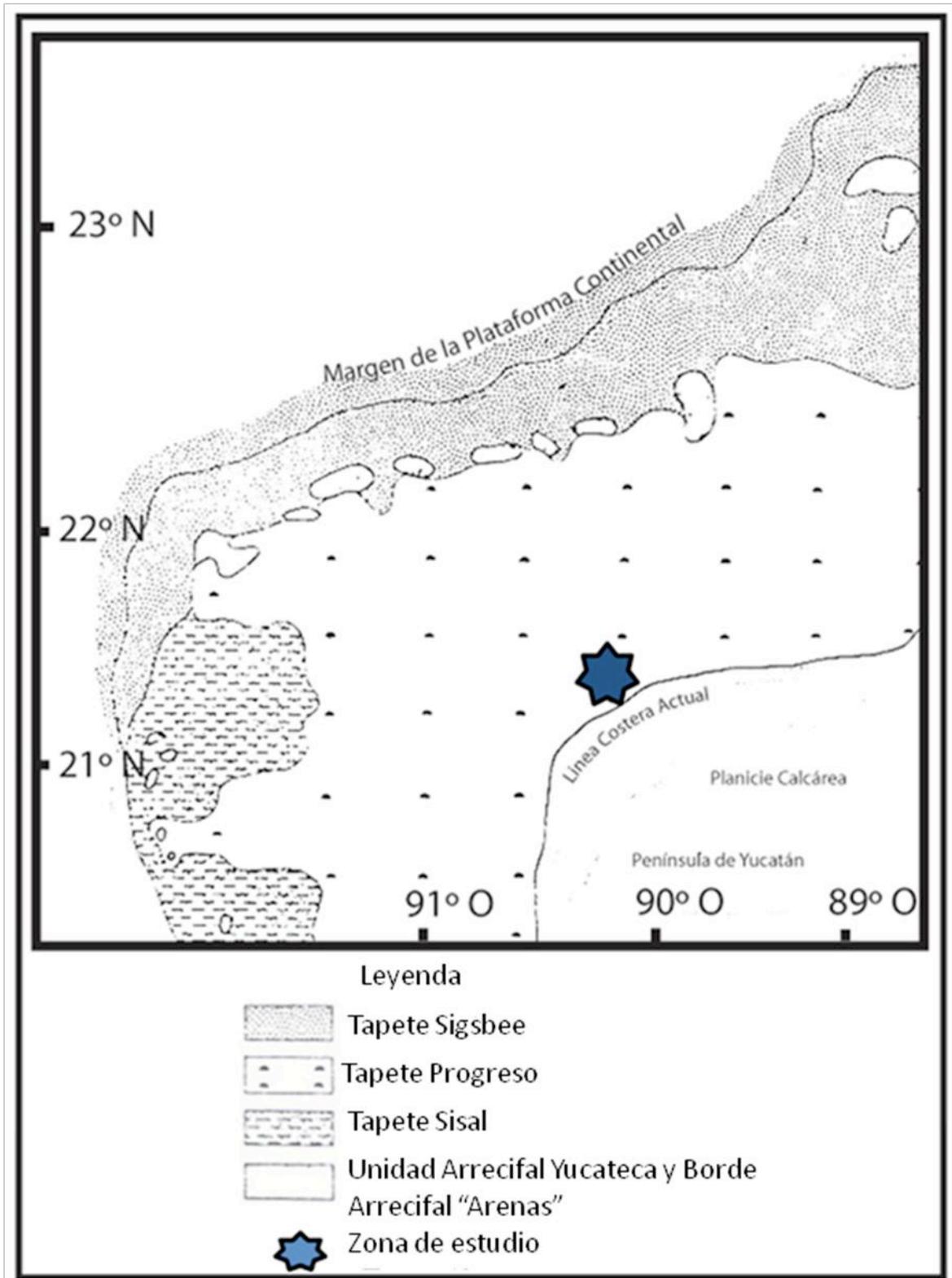


Figura 1. Distribución de las unidades sedimentarias de la era pos glacial de la plataforma de Yucatán. (Modificado de Logan, 1969)

## II. Objetivos:

### Objetivo general:

- Caracterizar la composición de las comunidades bentónicas del litoral de Sisal Yucatán en un período anual, en términos de la composición de grandes grupos taxonómicos, asociadas a cada paisaje definido y evaluar su cambio a través de las diferentes temporadas climáticas.

### Objetivos particulares:

- Definir los paisajes submarinos existentes en el litoral de Sisal, Yucatán a partir de muestreos en campo.
- Caracterizar la composición de las comunidades bentónicas asociadas a cada paisaje, en cada temporada climática.
- Evaluar el cambio en la composición de las comunidades bentónicas asociadas a cada paisaje a través de las temporadas climáticas.

### III. Área de estudio:

El presente estudio se realizó en la zona litoral de Sisal en el estado de Yucatán en México, ubicada en la región costera noroccidental del estado de Yucatán a una distancia de 53 km de Mérida. Sus coordenadas geográficas son 21° 9'55.22" N 90° 1'54.93" O. A lo largo de una extensión de litoral de 46 km y un área aproximada de 1,240 km<sup>2</sup> (figura 2).

En promedio la temperatura atmosférica se mantiene entre los 25 °C y los 30 °C durante todo el año, disminuyendo un poco en invierno y pudiendo sobrepasarlo en verano, mientras que la precipitación anual no rebasa los 50 cm (Britton y Morton, 1989).

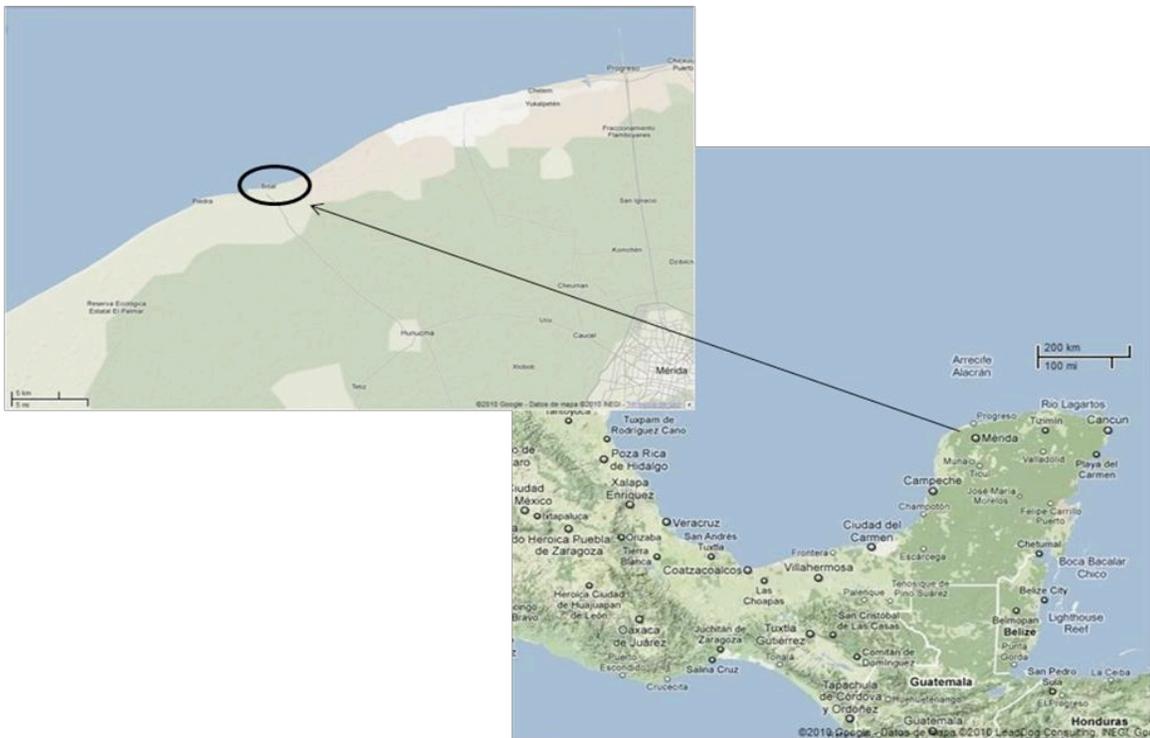


Figura 2. Ubicación geográfica de la zona litoral de Sisal en el estado de Yucatán en México.

#### IV. Materiales y Método:

##### 1. Diseño de muestreo.

Se realizaron tres campañas de trabajo en los meses de abril-mayo (secas) y septiembre del 2009 (lluvias), y en Marzo-Abril del 2010 (nortes), Cabe mencionar que la temporada de nortes abarca los meses de noviembre a febrero, sin embargo, las condiciones climáticas regionales en los últimos años han dado lugar a que dicha temporada se extienda hasta los meses de abril y mayo, ya que durante estos meses los fuertes vientos, aire frío, incremento en el oleaje y turbidez del agua siguen presentes. Se contó con un total de (89) estaciones de muestreo, las cuales fueron monitoreadas en las tres temporadas climáticas (figura 3). Las estaciones de muestreo fueron seleccionadas por medio de un diseño estratificado al azar, el cual consistió en seleccionar las estaciones de muestreo usando números al azar sobre una clasificación no-supervisada a partir de una imagen de satélite Landsat 7 ETM+, en la cual las estaciones de muestreo fueron divididos en un grupo más pequeño, conocido como estrato. La formación de estos estratos se basa en que los sitios de dicho estrato compartan una característica en específico (EPA, 2002).

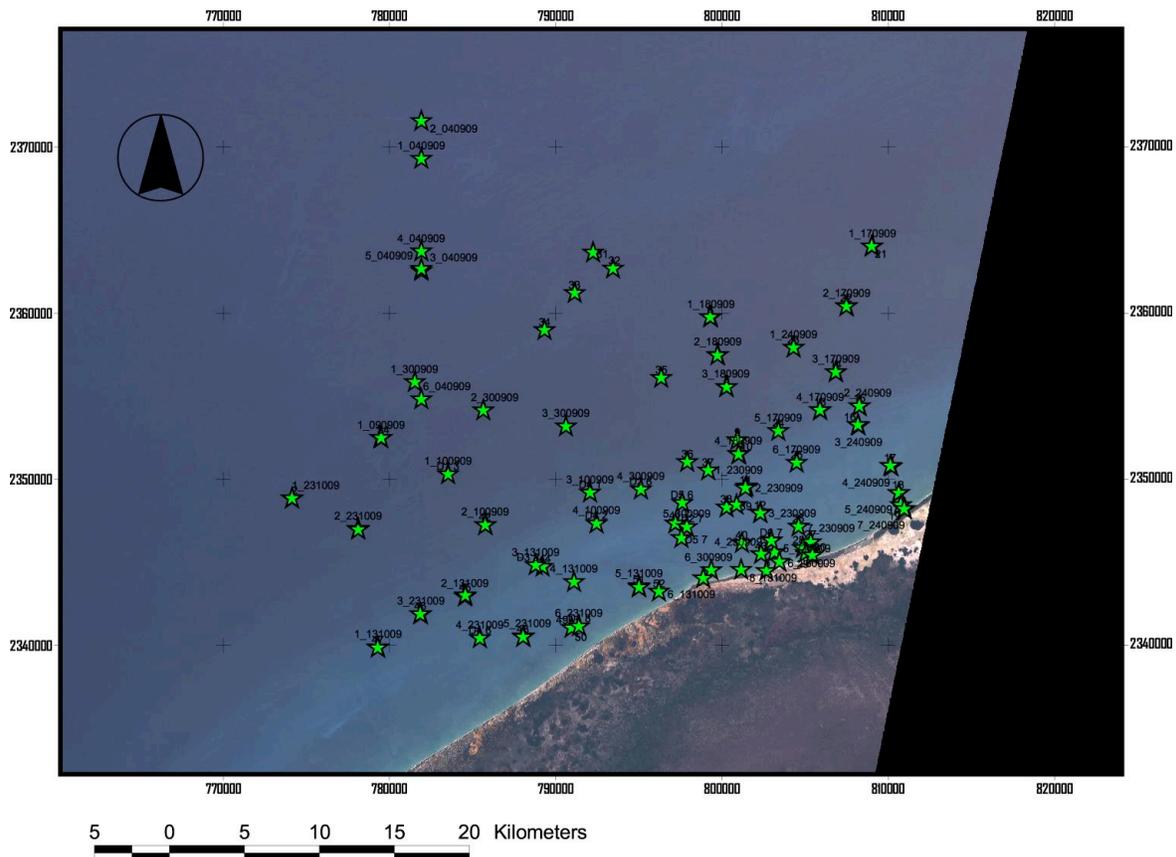


Figura3. Ubicación de las estaciones de muestreo, sobre una imagen de satélite de resolución media Landsat 7 ETM+

## 2. Método para la caracterización de paisajes submarinos en campo

### 2.1 Método de muestreo por videotransectos

La caracterización y evaluación de las comunidades bentónicas en cada estación fue realizada usando la metodología de (Garza-Pérez *et al.*, 2004) que consiste en una versión modificada del método de video-transectos de Aronson y Swanson (1997). El método consiste en hacer una filmación del fondo, con un enfoque perpendicular al sustrato, siguiendo un transecto de 50m, a una distancia de 40cm del sustrato para obtener un barrido de 0.60 x 50m.

### 3. Trabajo en campo.

El punto de inicio de la inmersión se geoposicionó por medio de una unidad GPS 76 GARMIN. Utilizando buceo autónomo (SCUBA), con ayuda de un buzo se tendió un

transecto con cinta métrica de PVC de 50m de longitud, sobre el contorno del sustrato en cada una de las estaciones definidas, el camarógrafo filmaba detrás de esta. El sustrato fue filmado siguiendo el transecto como guía con una videocámara de alta resolución Sony Handycam HDR-HC9 en una caja sumergible StingRayHD equipada con lente gran angular, la cámara de vídeo se mantuvo a una distancia promedio constante 40cm horizontal del sustrato, con ayuda de una cinta plástica lastrada, a fin de conservar un área constante mínima de  $0.3\text{m}^2$  en cada cuadro (figura 4). Adicionalmente, se tomaron imágenes panorámicas de la estación.

Los transectos no fueron fijados de manera permanente, debido a que es complicado por el tipo de sustrato y la alta turbidez del agua la cual dificulta encontrarlos nuevamente.

Los video-transectos proporcionaron información de cobertura de los componentes bióticos (algas, pastos marinos, esponjas, corales, octocorales, zoantidos y tunicados) y de los componentes abióticos (arena, pedacería y pavimento calcáreo).



Figura 4. Método de filmación de videotransectos (tomada de Garza Pérez 1999)

#### 4. Método para la caracterización de paisajes submarinos en laboratorio.

Para realizar la caracterización de paisajes submarinos se capturaron los videos digitales en alta resolución desde la cámara hacia un disco duro externo y se proyectaron en un monitor de alta resolución. El videotransecto de cada estación se analizó detalladamente con una plantilla transparente de 13 puntos marcados y distribuidos de manera homogénea colocada sobre la pantalla de monitor (figura 5). Se observaron 40 cuadros (muestras) de video a lo largo de los 50m de videotransecto, realizando 40 pausas con un total de 520 puntos registrados por cada videotransecto, analizándose un área aproximada de  $12\text{m}^2$ , este método ha sido probado ser suficiente para caracterizar cualquier ambiente bentónico (Membrillo-Venegas, 1999; Hernández-Landa, 2004; Acosta-González, 2005; Garza Pérez, 2004; Osborne y Oxley, 1997; Aronson y Swanson, 1997). Los organismos bentónicos fueron

identificados a nivel de grandes grupos taxonómicos, corales escleractíneos e hidrocorales se identificaron al nivel taxonómico de especie.



Figura 5. Ejemplo de la disposición sistemática de los puntos en el monitor de alta resolución para la identificación de cobertura en cada cuadro a lo largo de los videotransectos

Para la estimación de cobertura de los grupos bentónicos se empleó la siguiente fórmula (Osborne y Oxley, 1997):

$$\% \text{ de cobertura} = \frac{\text{Total de núm. de puntos por forma de vida} \times 100}{\text{Total de núm. de puntos por videotransecto}}$$

## 5. Análisis estadístico

### 5.1 Análisis multivariado

Con el fin de observar si existen diferencias en las coberturas bentónicas en las tres temporadas climáticas se realizó un análisis de escalamiento multidimensional no paramétrico (MDS) (Kruskal y Wish, 1978). Como explica Clarke y Warwick (2001) el propósito del MDS es construir un mapa o configuraciones de las muestras, en varias dimensiones específicas, usualmente en dos dimensiones.

La interpretación se da en términos de valores relativos de similitud entre un grupo y otro. Dicha interpretación da la pauta para realizar una representación gráfica de las muestras, y el rango de similitud es sólo información usada por un MDS de ordenación exitoso. De tal manera que la escala de las distancias entre las muestras en el mapa coincide con el rango de correspondencia de similitud, tomado de la matriz de similitud triangular. La medida de fidelidad de la representación se evalúa mediante el coeficiente de estrés (Ecuación.1), el cual refleja el grado al cual los dos conjuntos de rangos no coinciden. La ordenación da una simple y convincente representación visual de “cercanía” de la composición de especies entre dos muestras cualquiera.

El valor del estrés <0.05 es indicativo de una representación veraz sin posibilidad de interpretación errónea (una representación perfecta sería probablemente una con un estrés<0.01 dado que las iteraciones numéricas frecuentemente terminan cuando el estrés se reduce bajo este valor. Un estrés<0.1 corresponde a una buena interpretación sin posibilidad de error. Un estrés<0.2 todavía da una representación potencial y útil en dos dimensiones y finalmente un estrés>0.3 indica que los puntos están cercanos a ser arbitrariamente representados en dos dimensiones. Clarke y Warwick. (2001):

#### Ecuación 1

$$\text{Stress} = \frac{\sum_j \sum_k (d_{jk} - \hat{d}_{jk})^2}{\sum_j \sum_k d_{jk}^2}$$

Donde  $\hat{d}_{jk}$  es la distancia prevista de la regresión ajustada correspondiente a la disimilitud  $d_{jk}$ . Si  $d_{jk} = \hat{d}_{jk}$  para todas las  $N(N-1)/2$  distancias en esta suma, el stress es cero.

Para determinar la existencia de diferencias significativas entre las coberturas bentónicas de las tres temporadas climáticas también se realizó un análisis ANOSIM (Mantel 1967; Clarke y Green, 1988). El análisis de similitud (ANOSIM) proporciona una forma de probar estadísticamente si hay una diferencia significativa entre dos o más grupos de unidades de muestreo. Opera en una matriz de similitud, realiza un análogo del análisis univariado ANOVA (análisis de varianza), dado que ambas pruebas parten de la hipótesis nula que no hay diferencias entre los grupos o muestras especificados.

Para determinar que coberturas bentónicas contribuyen más a la similaridad en las tres temporadas climáticas, se aplicó un análisis de SIMPER (Clarke y Warwick, 2001), así como también para determinar la contribución a la similaridad de los paisajes entre las tres temporadas climáticas. Para identificar rasgos característicos, SIMPER calcula el porcentaje de similaridad Bray-Curtis entre todos los pares de muestras intra-grupo, debido a que es la suma algebraica de la contribución de cada grupo taxonómico (Ecuación 2) donde el porcentaje de similaridad entre sitios puede ser expresado en términos del porcentaje de contribución de cada grupo taxonómico. La desviación estándar provee una medida de que tan consistente es la contribución de un grupo taxonómico dado a la similaridad entre sitios (Mumby y Alastair, 1998). Los grupos taxonómicos que entran en el umbral de similitud del 90% fueron considerados como los más importantes en la determinación de estructura de la comunidad.

Todos los cálculos estadísticos y las graficas fueron realizadas usando el software Primer v.6 (Primer-E Ltd. Plymouth, UK). PRIMER (Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research) consiste primeramente en un amplio número de rutinas univariadas, graficas y multivariadas para analizar matrices de especies por muestras de datos de una

comunidad ecológica, los datos son típicamente de abundancia, biomasa, porcentaje de área, cobertura, presencia/ausencia etc., y surge en el monitoreo biológico de impacto ambiental y estudios más fundamentales (Clarke y Gorley, 2006), Ecuación 2.

$$S_{jk} = \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^p |x_{ij} - x_{ik}|}{\sum_{i=1}^p (x_{ij} + x_{ik})} \right]$$

Ecuación 2

Donde  $x_{ij}$  es la abundancia de  $i$ =especie en  $j$ =muestra y donde  $p$ = especies totales.

Adicionalmente se realizó un análisis multivariado de agrupamiento jerárquico (análisis de conglomerados o clusters) con ayuda del software MVSP v.3.1 (Multi Variate Statistical Package, Kovach Computing Services), a fin de generar un esquema de clasificación de los paisajes bentónicos, basados en la similaridad entre sus coberturas. Para realizar este análisis se utilizó el coeficiente general de similaridad de Gower descrito por (Legendre y Legendre, 1998), el cual permite combinar diferentes tipos de descriptores, sean cuantitativos, cualitativos y ordinales no cualitativos o no cuantitativos (Acosta González, 2005).

El objetivo del análisis Clúster es encontrar objetos similares (o relacionado) o diferente (o no relacionado) con objetos en otros grupos. A mayor similaridad (u homogeneidad) dentro de cada grupo y mayor diferencia entre grupos se obtienen mejores resultados (Tan *et al.*, 2004).

El análisis de clúster divide los datos en grupos (Clusters) los cuales son significativos, útiles o ambos.

La representación de la comunidad presente en cada muestra es un dendrograma, donde en el eje X se define el nivel de similaridad entre dos muestras o grupos son considerados estar unidos, y en el eje Y se representa el conjunto completo de muestras. Esta representación es

apropiada para los casos donde se espera que las muestras se dividan en grupos bien definidos (Clarke y Warwick. 2001).

De manera complementaria, con el fin de observar la asociación entre las coberturas bentónicas y el tipo de fondo se realizó un análisis de correspondencia Canónico (CCA) mediante el software CANOCO v.4.5 for Windows (Ter Braak y P. Smilauer, 1998) y posteriormente un análisis de escalamiento multidimensional no paramétrico (MDS).

El análisis Canónico como lo explica Legendre (1998) es el análisis simultáneo de dos, o eventualmente de varias series de datos. Permite a los ecólogos realizar una comparación directa de dos matrices de datos. Típicamente, el interés es en la relación entre la primera variable que describe la composición de los grupos taxonómicos y la segunda variable que son los descriptores ambientales, observados en la misma ubicación.

En el caso particular del análisis de correspondencia canónico (CCA), este se utiliza para el análisis de tablas de contingencia. El primer paso es la conversión de todos los datos a datos proporcionales, a continuación se calcula una matriz de distancias (Shennan, 1997).

De esta matriz se extraen Eigenectores por una regresión ortogonal, realizada por un valor singular de descomposición (Greenacre, 1984; Madsen, 1988). Los Eigenectores (auto-vector) son regresiones lineales, se calculan como variables en el conjunto de datos original. El primer Eigenector es calculado para dar cuenta de la mayor parte de la varianza en el conjunto de datos; el segundo Eigenector es situado para describir la mayor varianza del resto, y así sucesivamente. Cada Eigenector es un eje en un sistema de coordenadas ortogonales; por lo tanto la posición de las variables (muestras y taxones) en este espacio puede ser determinado por coordenadas o por las puntuaciones de los Eigenectores. La puntuación del primer Eigenector es el valor explicativo más alto comparado con la puntuación de todos los otros Eigenectores. En el análisis de

correspondencia canónico, la variable independiente se establece. El análisis optimiza el resultado de la variación correlacionada con la variable independiente.

## V. Resultados:

A través de los videotransectos se obtuvo la clasificación de la cobertura bentónica en 9 grandes grupos taxonómicos y 3 tipos de fondo (Tabla 1). Los géneros y especies son los más abundantes observados en campo y fueron cotejados con bibliografía especializada, (Scullion *et al.*, 1989; Humann, 2002; 2003).

Tabla 1. Correspondencia de Grandes Grupos taxonómicos y géneros o especies.

Grupo principal	Grupo taxonómico	Género o especie
Coral Pétreo	coral incrustante	<i>Siderea siderea</i> , <i>Siderastrea radians</i> , <i>Solenastrea hyades</i> , <i>Stephanocoenia mechelinni</i> , <i>Solenastrea bournoni</i>
Octocoral	Octocoral Ramoso	Genero <i>Pseudoplexaura</i> , <i>Plexaurella nutans</i> , <i>Pterogorgia citrina</i>
Esponjas	Esponja incrustante	<i>Calyx podatypa</i> , <i>Anthosigmella varians</i>
	Esponja semiesférica	<i>Cinachyra sp.</i>
Algas	Algas de forma filamentosa	<i>algas verde-azules</i>
	Algas pardas	<i>Padina jamaicensis</i> , <i>Lobophora variegata</i> <i>Dictyota ciliolata</i> , <i>Dictyota Sargassum fluitans</i> , <i>Sargassum platycarpum cervicornis</i> , <i>Dictyoperis jamaicensis</i>
	Algas Verdes	<i>Penicillus pyriformis</i> <i>Caulerpa sertularioides</i> <i>Caulerpa serrulata</i> , <i>Neomeris annulata</i> , <i>Avrainvillea asarifolia</i> , <i>Udotea cyathiformi</i> <i>Rhipocephalus phoenix</i> , <i>Acetabularia calyculus</i> , <i>Bryopsis plumosa</i> , <i>Caulerpa mexicana</i> , <i>Caulerpa prolifera</i> , <i>Avrainvillea longicaulis</i>
	Algas Calcáreas/Articuladas verdes	<i>Halimeda monile</i> , <i>Halimeda incrassata</i> , <i>Halimeda tuna</i> , <i>Halimeda discoidea</i>
	Algas Rojas	<i>Halymenia duchassaingii</i> , <i>Bostrychia tenella</i> , <i>Wrightiella blodgettii</i> , <i>Digenia simplex</i> <i>Laurencia papillosa</i> , <i>Acanthophora spicifera</i> , <i>Bryothamnion triquetrum</i> , <i>Gracilaria curtissiae</i> , <i>Eucheuma isiforme</i>
Pastos marinos	Pastos	<i>Syringodium filiforme</i> , <i>Halodule beaudettei</i> , <i>Thalassia testudinum</i>
Zoantideos/Tunicados	Zoantideos/Tunicados	<i>Palythoa caribaeorum</i>
Tipos de fondo	Arena*	substrato 100% de arena suelta
	Sedimento	Sedimento suave de carbonatos
	Pavimento calcáreo	Fondo duro

\*Arena: Se distinguió tomando un puñado y dejándolo caer, esta se precipita hacia el fondo sin dejar rastro de su trayectoria, lo cual no sucede con el sedimento ya que el sedimento produce turbidez al caer.

## 1. Diferencias en las coberturas bentónicas en las tres temporadas climáticas.

Las comunidades bentónicas de Sisal no mostraron grandes variaciones en las temporadas de secas, lluvias y nortes (figura 6). Sin embargo al realizar un análisis ANOSIM encontramos que existen diferencias significativas en las coberturas bentónicas entre las temporadas climáticas de secas-nortes ( $R= 0.423$ ,  $p= 0.1\%$ ) y de lluvias-nortes ( $R= 0.152$ ,  $p= 0.1\%$ ), sin embargo no hay diferencias significativas ( $R= 0.068$ ,  $p= 1\%$ ) entre las temporadas de secas y lluvias (Tabla 2)

El análisis de SIMPER muestra las coberturas bentónicas más importantes en términos de su aportación a los valores de similitud inter- temporadas (Tabla 3), Por otro lado la diferencia en las coberturas bentónicas entre temporadas se muestra en la (Tabla 4)

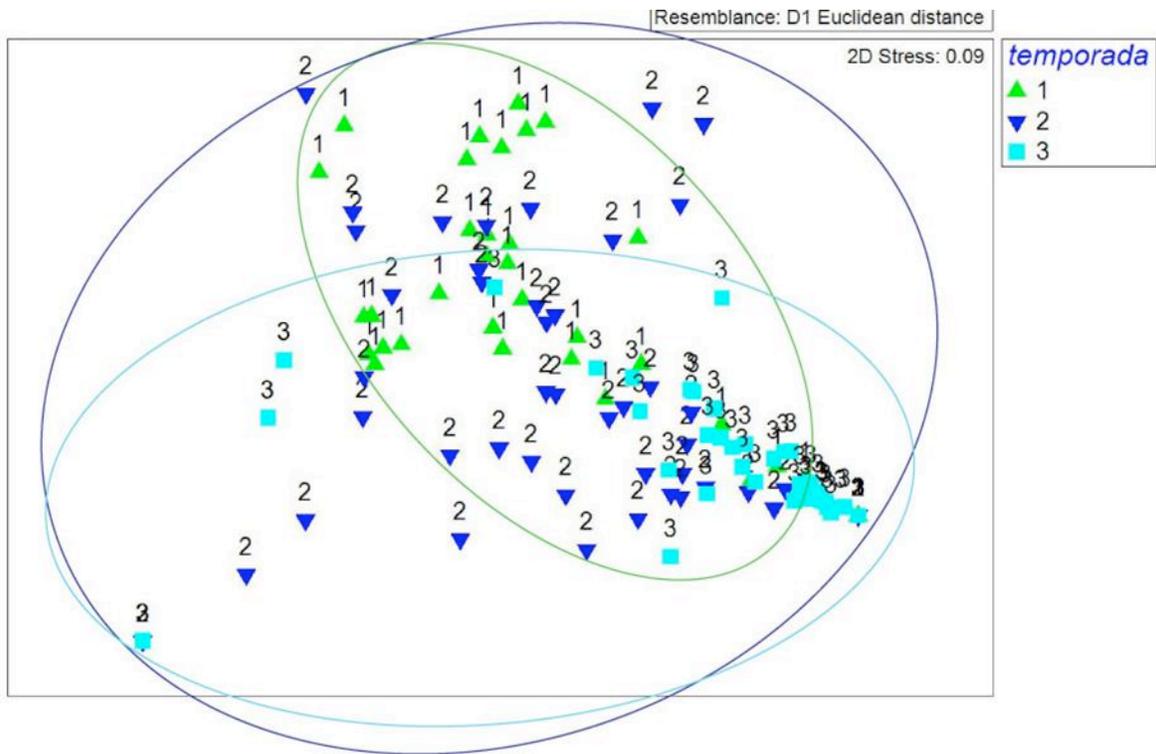


Figura 6. MDS aplicada a las comunidades bentónicas de Sisal en las temporadas de 1 ▲ (secas), 2 ▼ (lluvias), y 3 ■ (nortes).

Tabla 2. Análisis de similitud de una vía (ANOSIM) para las tres temporadas

Grupos	R estadístico	Nivel de significancia %	Diferencia significativa	Permutaciones posible	Permutaciones en este análisis	Número $\geq$ observado
secas, lluvias	0.068	1	No	Muy grande	999	9
secas, nortes	0.423	0.1	Si	Muy grande	999	0
lluvias, nortes	0.152	0.1	Si	Muy grande	999	0

Tabla 3. Coberturas bentónicas que causan la similitud inter-temporadas en el grupo basados en la similitud Bray-Curtis. Las coberturas están listadas en orden ascendente de acuerdo al porcentaje de contribución. La columna de la derecha (% Ac) refleja el porcentaje acumulativo de contribución de cada cobertura.

<b>Secas</b>		
Porcentaje de similitud=47.64		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Algas Rojas	48.41	48.41
Arena	20.89	69.3
Algas Fil/Par	13.71	83.01
<b>Lluvias</b>		
Porcentaje de similitud=41.11		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Arena	62.36	62.36
Algas Verdes	16.14	78.5
Algas Rojas	14.31	92.81
<b>Nortes</b>		
Porcentaje de similitud:=61.60		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Arena	92.76	92.76

Tabla 4. Coberturas bentónicas que causan la diferencia entre temporadas basados en la similitud Bray-Curtis. Las coberturas están listadas en orden ascendente de acuerdo al porcentaje de contribución. La columna de la derecha (%Ac) refleja el porcentaje acumulativo de contribución de cada cobertura.

<b>secas y lluvias</b>		
porcentaje de disimilaridad=61:31		
cobertura bentónica		
	Contribución%	%Ac
Arena	33.2	33.2
Algas Rojas	24.66	57.86
Algas Fil/Par	14.7	72.56
Algas Verdes	12.2	84.76
Sedimento	8.73	93.49
<b>secas y nortes</b>		
porcentaje de disimilaridad=67.13		
cobertura bentónica		
	Contribución%	%Ac
Arena	42.28	42.28
Algas Rojas	22.59	64.86
Algas Fil/Par	12.5	77.36
Sedimento	10.12	87.48
Algas Verdes	8.55	96.03
<b>lluvias y nortes</b>		
porcentaje de disimilaridad=55.69		
cobertura bentónica		
	Contribución%	%Ac
Arena	42.06	42.06
Algas Rojas	17.91	59.96
Algas Verdes	12.91	72.88
Sedimento	12.79	85.67
Algas Fil/Par	6.78	92.45

## 2. Descripción de los paisajes

A través del análisis de cluster se diferenciaron 6 paisajes bentónicos en Sisal, en cada una de las tres temporadas (secas, lluvias y nortes). La consideración de los paisajes se hizo tomando en cuenta la cobertura del bentos, el sustrato dominante y su complejidad.

Estos paisajes fueron nombrados como:

Paisaje (1) Algas rojas con parches de algas verdes sobre arena

Paisaje (2) Praderas de algas mixtas dominada por algas filamentosas/pardas sobre arena

Paisaje (3) Arenal

Paisaje (4) Algas verdes sobre arena

Paisaje (5) Algas rojas con parches de algas verdes sobre sedimento blando

Paisaje (6) algas filamentosas/pardas con parches de algas verdes sobre arena.

A continuación se presentan los dendogramas generados a partir de los análisis cluster de las 3 temporadas, dentro de los cuales se muestran los 6 paisajes mencionados anteriormente (Figuras 7-9).



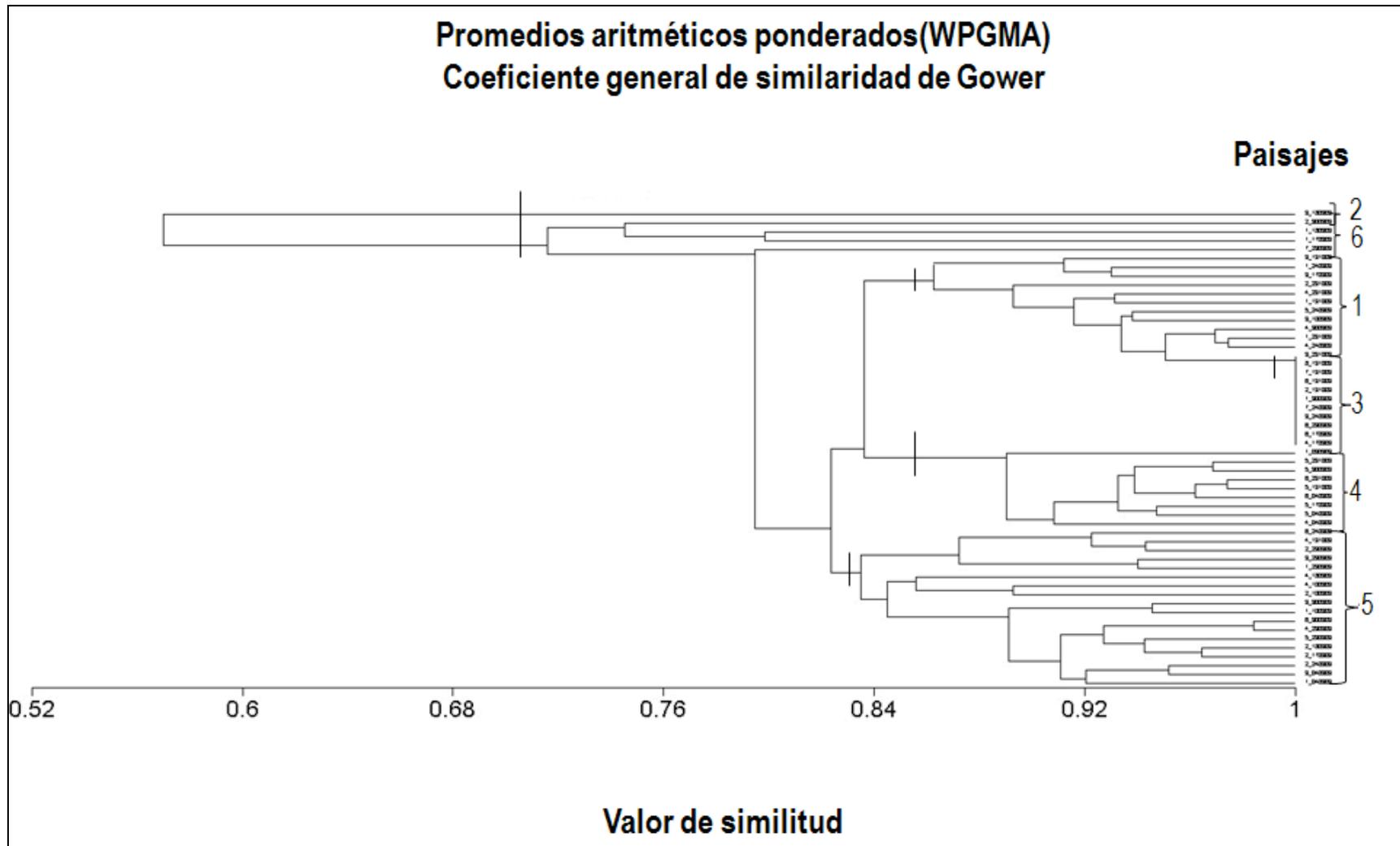


Figura 8. Cluster para determinar los paisajes presentes en la zona litoral de Sisal en el estado de Yucatán, en temporada de lluvias. 1) Algas rojas con parches de algas verdes sobre arena, 2) Praderas de algas mixtas dominada por algas filamentosas/pardas sobre arena, 3) Arenal, 4) Algas verdes sobre arena, 5) Algas rojas con parches de algas verdes sobre sedimento blando, 6) algas filamentosas/pardas con parches de algas verdes sobre arena. Los paisajes tienen una similitud mayor de 0.70. El paisaje 3 fue separado del grupo 1 debido a que la cobertura que presenta es 100% arena a una similitud de 1

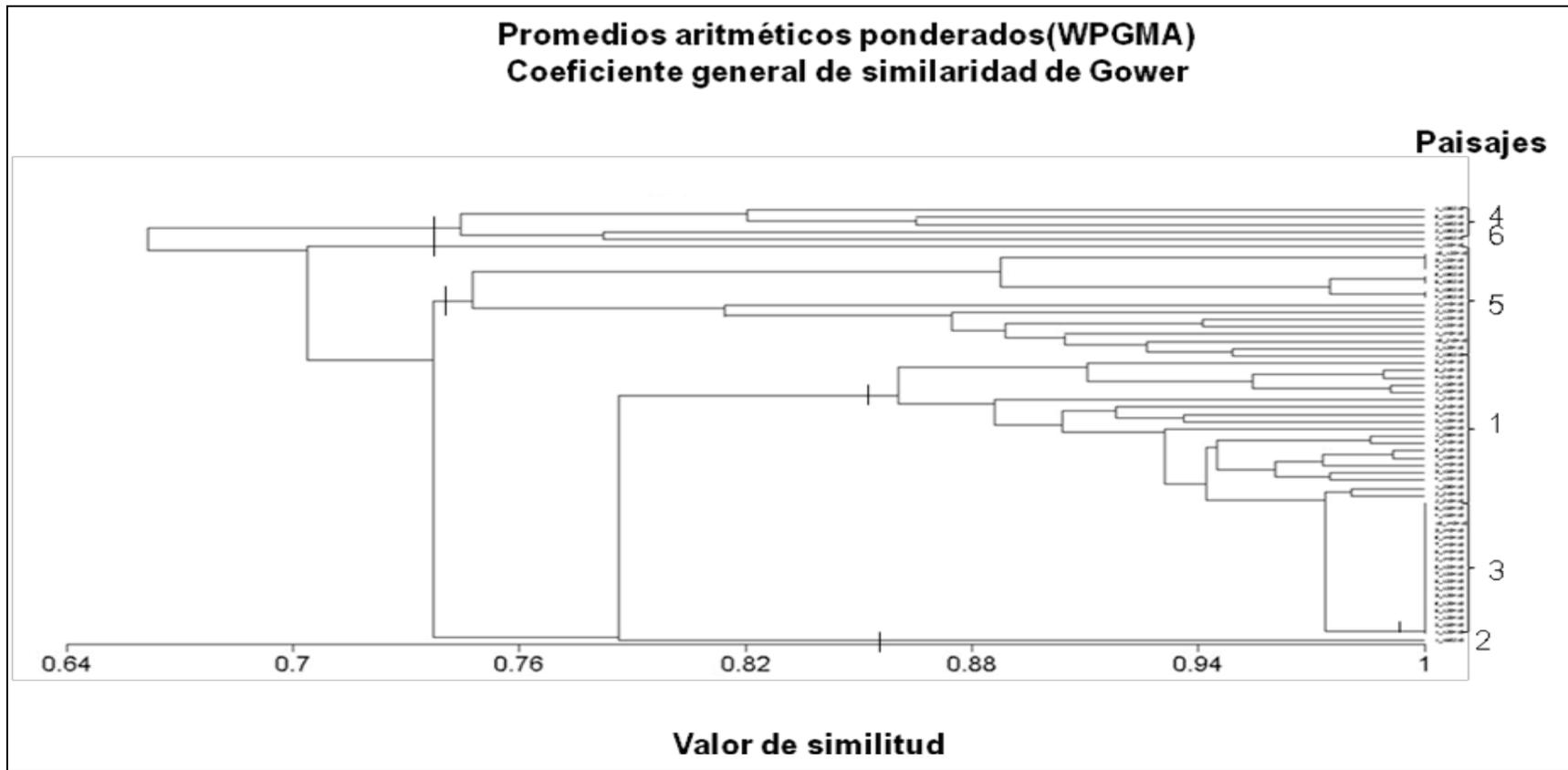


Figura 9. Cluster para determinar los paisajes presentes en la zona litoral de Sisal en el estado de Yucatán, en temporada de nortes. 1) Algas rojas con parches de algas verdes sobre arena, 2) Praderas de algas mixtas dominada por algas filamentosas/pardas sobre arena, 3) Arenal, 4) Algas verdes sobre arena, 5) Algas rojas con parches de algas verdes sobre sedimento blando, 6) algas filamentosas/pardas con parches de algas verdes sobre arena.

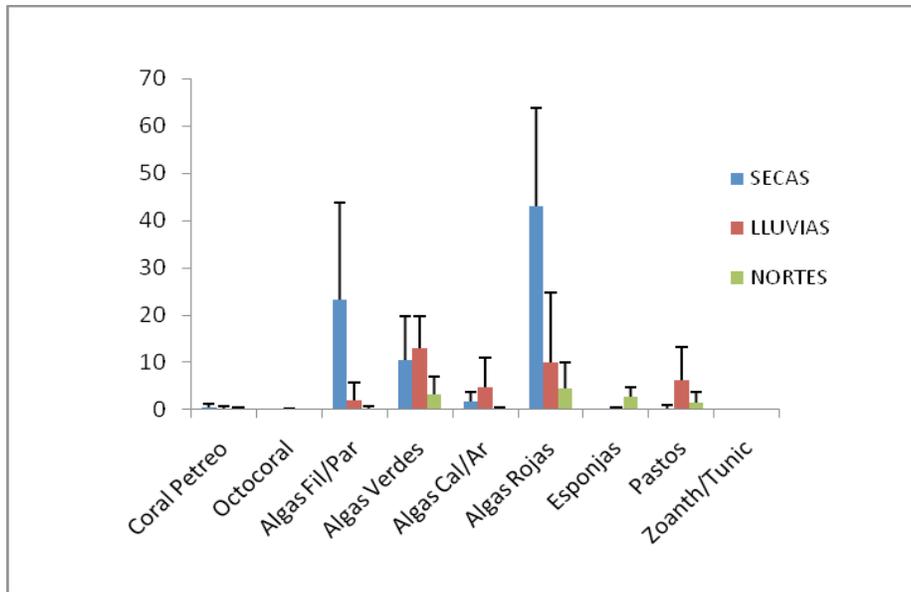
Los paisajes tienen una similitud mayor de 0.85. El paisaje 3 fue separado del grupo 1 debido a que la cobertura que presenta es 100% arena a una similitud de 1

Paisaje 1. *Algas rojas con parches de algas verdes sobre arena*

El Paisaje 1 está determinado por la dominancia de la cobertura de algas rojas en las tres temporadas, con un promedio de 42.93% (secas), 10.07% (lluvias) y 4.52% (nortes), presentando siempre una proporción menor de cobertura de algas verdes con valores promedio de 10.58% (secas), 12.9% (lluvias) y 3.26% (nortes), estas algas se encuentran asociadas al substrato arena, cuyos valores de cobertura promedio son de 5.45% en secas, 63.72% en lluvias y 85.97% en nortes, fluctúan de una manera inversa a la proporción de cobertura de las algas (Tabla 5, Grafica 1)

Tabla 5. Promedio de coberturas bentónicas del Paisaje 1 Algas rojas con parches de algas verdes sobre arena en negritas se muestra la cobertura dominante y en cursiva la cobertura biótica que muestra más variación dentro de las 3 temporadas.

Paisaje 1. Algas rojas con parches de algas verdes sobre arena				
COBERTURA/SUBSTRATO		SECAS	LLUVIAS	NORTES
Cobertura biótica	Coral Pétreo	0.52%± 0.62 D.E	0.26%± 0.51 D.E	0.21%± 0.33 D.E
	Octocoral	0%± 0 D.E	0.03%± 0.12 D.E	0%± 0 D.E
	Algas Filamentosas/Pardas	<i>23.21%± 20.44 D.E</i>	<i>1.92%± 3.8 D.E</i>	<i>0.27%± 0.51 D.E</i>
	Algas Verdes	10.58%± 9.09 D.E	12.9%± 6.95 D.E	3.26%± 3.83 D.E
	Algas Calcáreas/Articuladas	1.71%± 1.99 D.E	4.65	0.13%± 0.4 D.E
	Algas Rojas	<b>42.93% ± 20.74 D.E</b>	<b>10.07% ± 14.71 D.E</b>	<b>4.52% ± 5.46 D.E</b>
	Esponjas	0.01%± 0.04 D.E	0.17%± 0.4 D.E	2.67%± 2.07 D.E
	Pastos	0.27%± 0.65 D.E	6.12%± 7.19 D.E	1.4%± 2.34 D.E
	Zoantídeos/Tunicados	0%± 0 D.E	0%± 0 D.E	0%± 0 D.E
Substrato inerte	Arena	15.45%± 15.68 D.E	63.72%± 15.19 D.E	85.97%± 9.05 D.E
	Sedimento	5.03%± 7.67 D.E	0.14%± 0.46 D.E	1.56%± 6.79 D.E
	Pedacería	0.01%± 0.04 D.E	0%± 0 D.E	0%± 0 D.E
	Roca/Pavimento	0.28%± 0.52 D.E	0%± 0 D.E	0%± 0 D.E



Grafica 1. Paisaje 1 *Algas rojas con parches de algas verdes sobre arena* .Muestra el promedio y la D.E de la cobertura biótica en las temporadas de secas, lluvias y nortes

A continuación se muestra una imagen representativa del paisaje 1 en cada una de las temporadas

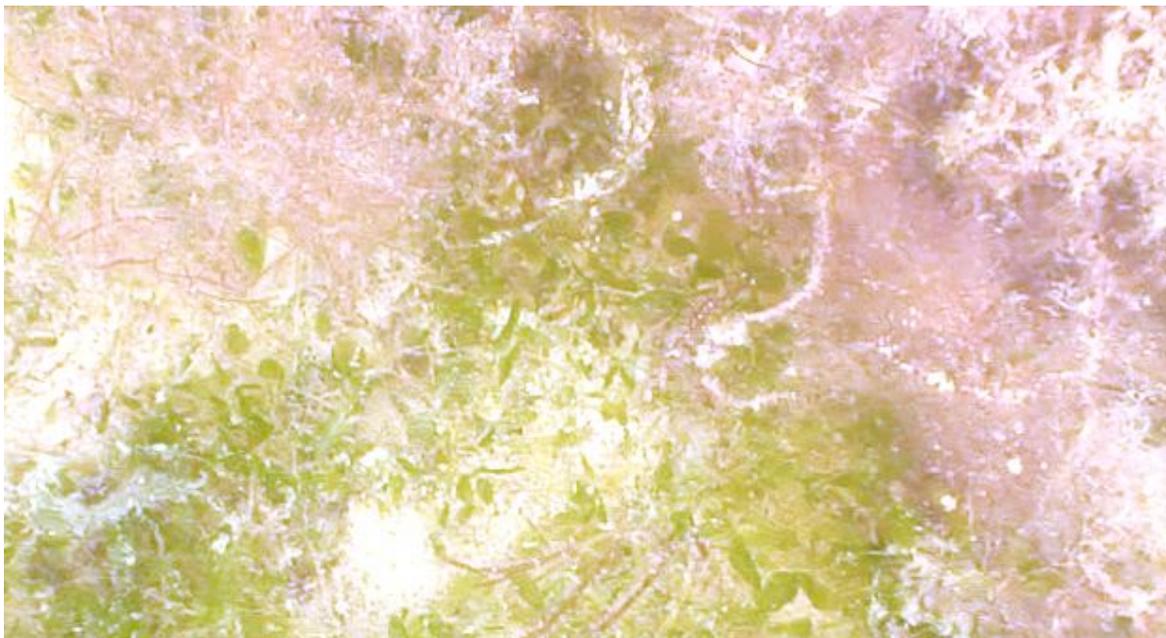


Imagen 1. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 1 *Algas rojas con parches de algas verdes sobre arena* durante la temporada de secas.

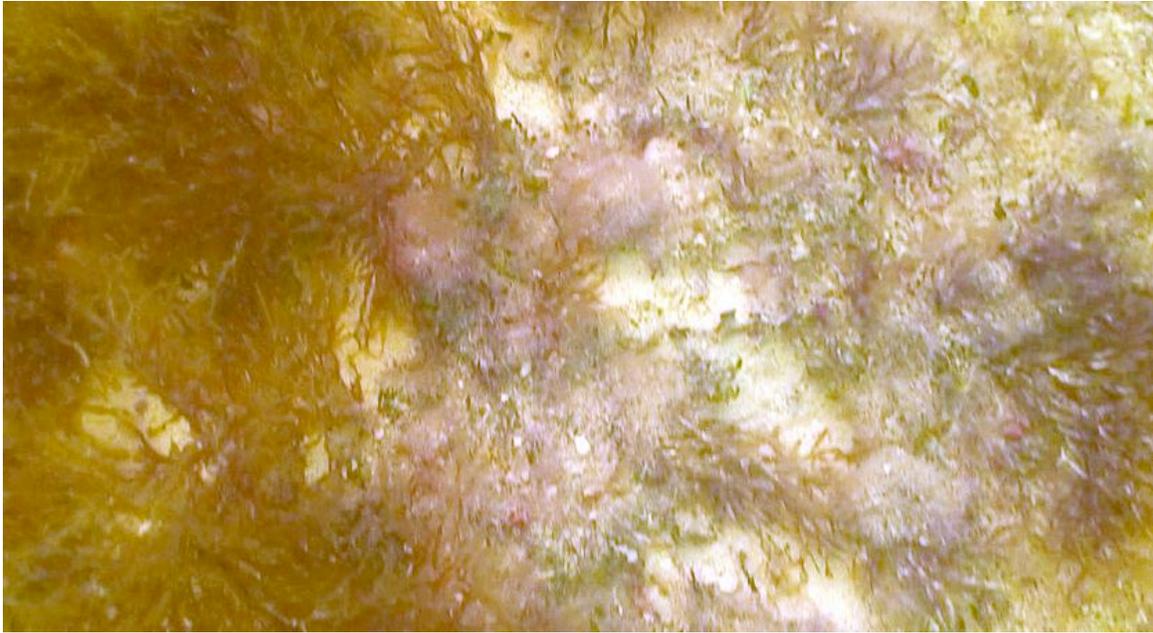


Imagen 2. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 1 *Algas rojas con parches de algas verdes sobre arena* durante la temporada de lluvias.



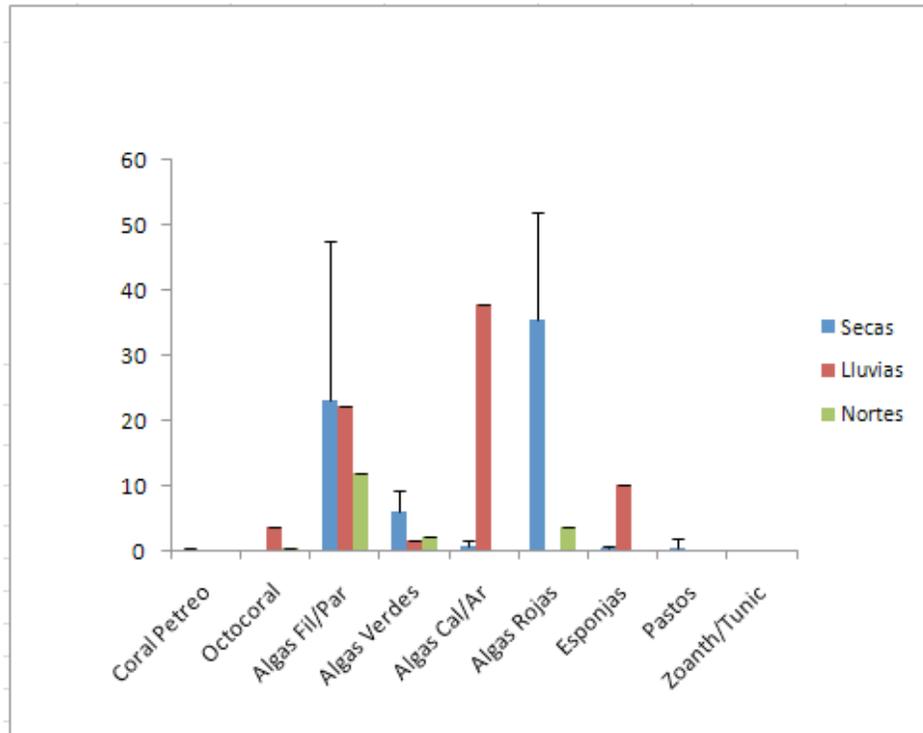
Imagen 3. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 1 *Algas rojas con parches de algas verdes sobre arena* durante la temporada de nortes.

Paisaje 2. *Praderas de algas mixtas dominado por algas filamentosas/pardas sobre arena*

El Paisaje 2 está determinado por la dominancia de la cobertura de algas filamentosas/pardas en las tres temporadas, con un promedio de 23.22% (secas), 22.12% (lluvias) y 11.92% (nortes), presentando siempre una proporción menor de cobertura de algas verdes con valores promedio de 6.01% (secas), 1.73% (lluvias) y 2.12% (nortes), estas algas se encuentran asociadas al substrato arena, cuyos valores de cobertura promedio son de 31.68% en secas, 24.33% en lluvias y 81.73% en nortes, fluctúan de una manera inversa a la proporción de cobertura de las algas (Tabla 6, grafica 2)

Tabla 6. Promedio de las coberturas bentónicas y D.E del Paisaje 2 Praderas de algas mixtas dominada por algas filamentosas/pardas sobre arena en negritas se muestra la cobertura dominante y en cursiva la cobertura biótica que muestra más variación dentro de las 3 temporadas.

Paisaje 2. Praderas de algas mixtas dominada por algas filamentosas/pardas sobre arena				
COBERTURA/SUBSTRATO		SECAS	LLUVIAS	NORTES
Cobertura Biótica	Coral Pétreo	0.29%±0.19 D.E	0%	0%
	Octocoral	0%±0 D.E	3.85%	0.58%
	Algas Filamentosas/Pardas	<b>23.22%±24.23 D.E</b>	22.12%	11.92%
	Algas Verdes	6.01%±3.35 D.E	1.73%	2.12%
	Algas Calcáreas/Articuladas	0.87%±0.73 D.E	37.88%	0%
	Algas Rojas	<i>35.34%±16.58</i>	<i>0%</i>	<i>3.65%</i>
	Esponjas	0.63%±0.18D.E	10.19%	0%
	Pastos	0.63%±1.25 D.E	0%	0%
	Zoantídeos/Tunicados	0%±0 D.E	0%	0%
Substrato Inerte	Arena	31.68%±27.48 D.E	24.23%	81.73%
	Sedimento	0.05%±0.10 D.E	0%	0%
	Pedacería	0.10%±0.19 D.E	0%	0%
	Roca/Pavimento	1.20%±1.39 D.E	0%	0%



Grafica 2. Paisaje 2 Praderas de algas mixtas dominada por algas filamentosas/pardas sobre arena. Muestra el promedio y la D.E de la cobertura biótica en las temporadas de secas, lluvias y nortes

A continuación se muestra una imagen representativa del paisaje 2 en cada una de las temporadas



Imagen 4. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 2 *Praderas de algas mixtas dominada por algas filamentosas/pardas sobre arena* durante la temporada de secas.



Imagen 5. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 2 *Praderas de algas mixtas dominada por algas filamentosas/pardas sobre arena* durante la temporada de lluvias

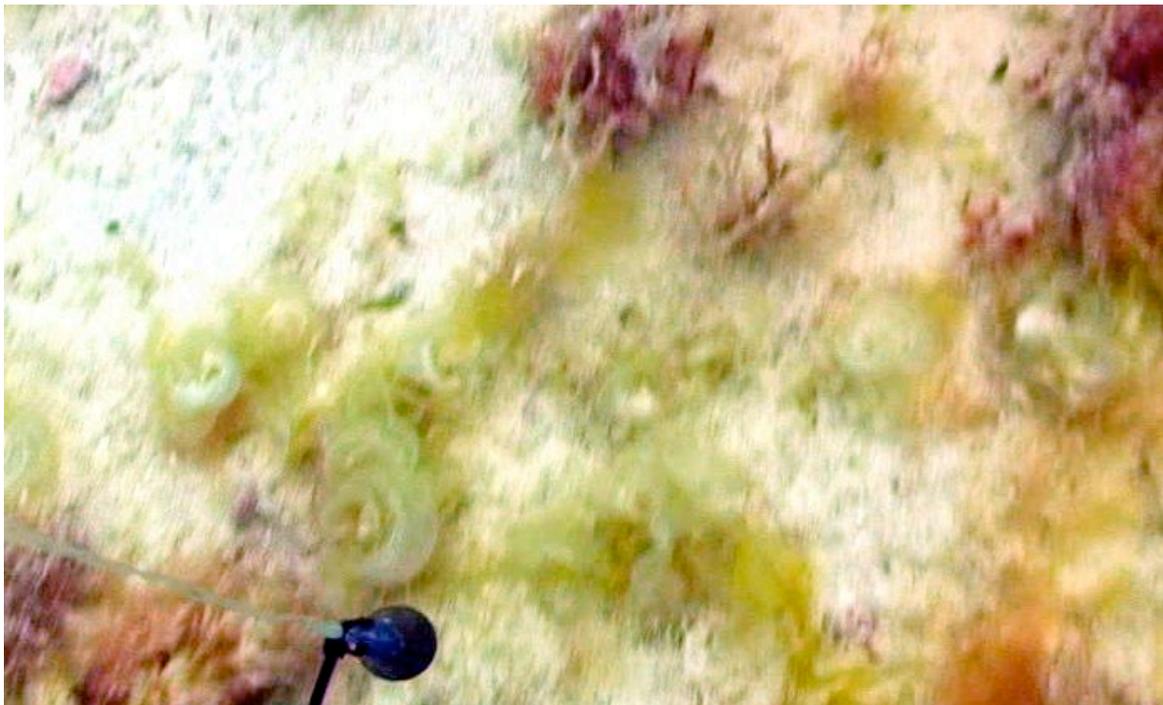


Imagen 6 Ejemplo de coberturas para el .Paisaje 2 *Praderas de algas mixtas dominada por algas filamentosas/pardas sobre arena* durante la temporada de nortes

Paisaje 3 está determinado por *Arena* este paisaje presenta las siguientes coberturas en las tres diferentes temporadas (Tabla 7)

Tabla 7. Promedio de las coberturas bentónicas del Paisaje 3 *Arena*.

Paisaje 3. Arena				
COBERTURA/SUBSTRATO		SECAS	LLUVIAS	NORTES
Cobertura Biótica	Coral Pétreo	0%	0%	0%
	Octocoral	0%	0%	0%
	Algas Filamentosas/Pardas	0%	0%	0%
	Algas Verdes	0%	0%	0%
	Algas Calcáreas/Articuladas	0%	0%	0%
	Algas Rojas	0%	0%	0%
	Espojas	0%	0%	0%
	Pastos	0%	0%	0%
Zoantídeos/Tunicados	0%	0%	0%	
Substrato Inerte	Arena	100%	100%	100%
	Sedimento	0%	0%	0%
	Pedacería	0%	0%	0%
	Roca/Pavimento	0%	0%	0%

A continuación se muestra una imagen representativa del paisaje 1 en cada una de las temporadas.



Imagen 7. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 3 *Arena* durante la temporada de secas

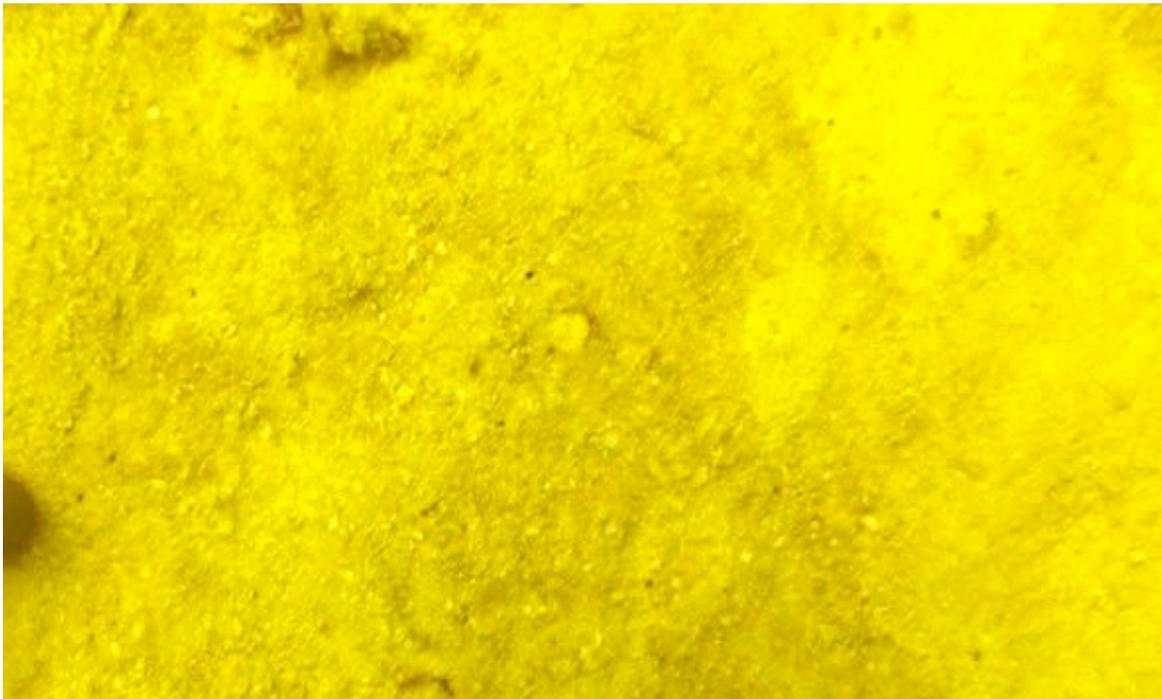


Imagen 8. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 3 *Arena* durante la temporada de lluvias

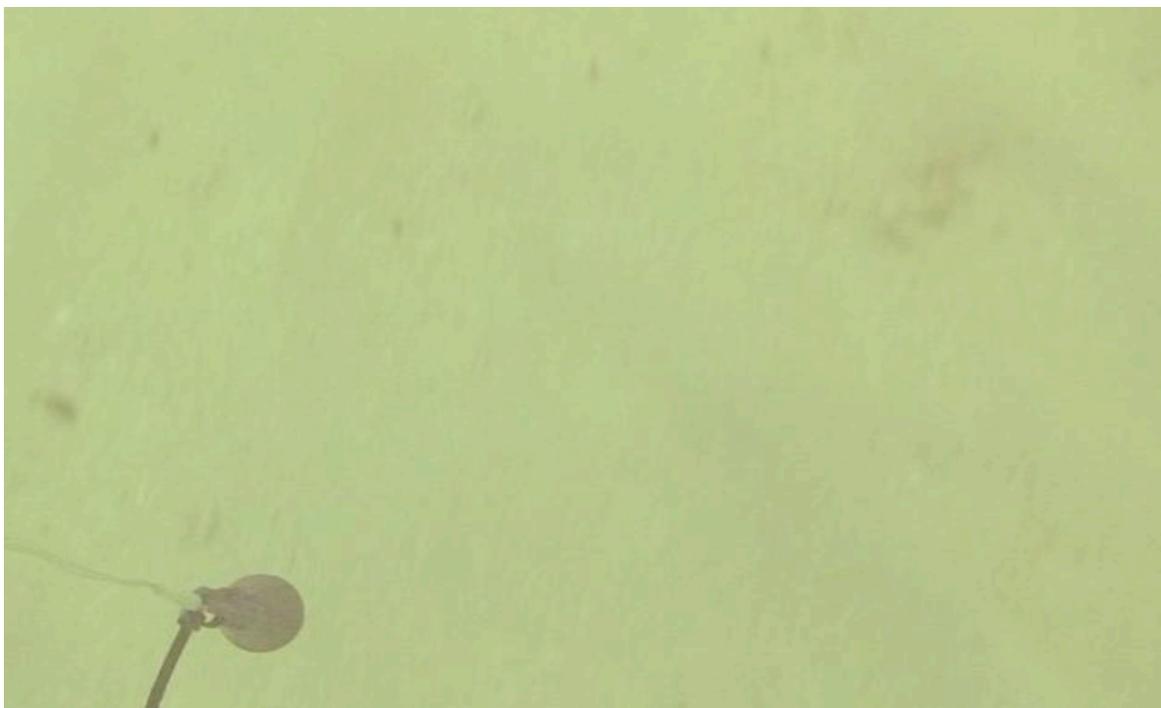


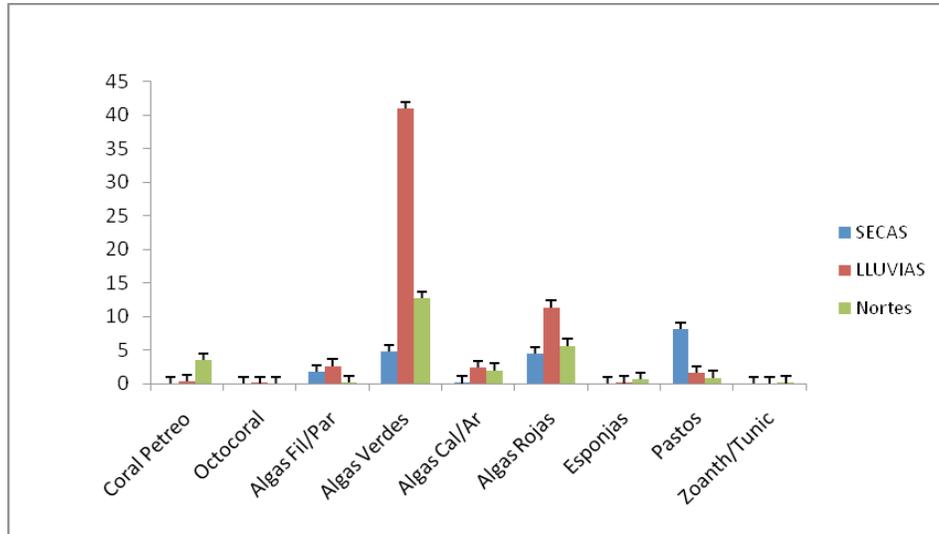
Imagen 9. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 3 *Arena* durante la temporada de nortes

#### Paisaje 4. *Algas verdes sobre arena*

El Paisaje 4 está determinado por la dominancia de la cobertura de algas verdes en las tres temporadas, con un promedio de 4.81% (secas), 40.98% (lluvias) y 12.65% (nortes), estas algas se encuentran asociadas al substrato arena, cuyos valores de cobertura promedio son de 80.83% en secas, 40.64% en lluvias y 73.92% en nortes, fluctúan de una manera inversa a la proporción de cobertura de las algas (Tabla 8, Grafica 3)

Tabla 8. Promedio y D.E de las coberturas bentónicas del Paisaje 4 *Algas verdes sobre arena* en negritas se muestra la cobertura dominante y en cursiva la cobertura biótica que muestra más variación dentro de las 3 temporadas.

Paisaje 4. Algas verdes sobre arena				
COBERTURA/SUBSTRATO		SECAS	LLUVIAS	NORTES
Cobertura Biótica	Coral Pétreo	0%±0 D.E	0.3%±0.44 D.E	3.46%±2.9 D.E
	Octocoral	0%±0 D.E	0.02%±0.06 D.E	0%±0 D.E
	Algas Filamentosas/Pardas	1.79%±2.06 D.E	2.61%±3.82 D.E	0.12%±0.26 D.E
	<b>Algas Verdes</b>	<b>4.81% ±5.85 D.E</b>	<b>40.98% ±11.1 D.E</b>	<b>12.65% ±10.44 D.E</b>
	Algas Calcáreas/Articuladas	0.06%±0.11 D.E	2.39%±1.95 D.E	1.96%±2.18 D.E
	Algas Rojas	4.42%±3.74 D.E	11.37%±8.72 D.E	5.62%±7 D.E
	Esponjas	0%±0 D.E	0.06%±0.14 D.E	0.58%±1.19 D.E
	Pastos	<i>8.08%±5.54 D.E</i>	<i>1.62%±3.78 D.E</i>	<i>0.85%±1.89 D.E</i>
	Zoantídeos/Tunicados	0%±0 D.E	0%±0 D.E	0.08%±0.17 D.E
Substrato Inerte	<b>Arena</b>	<b>80.83%±6.59 D.E</b>	<b>40.64%±12.74 D.E</b>	<b>73.92%±13.34D.E</b>
	Sedimento	0%±0 D.E	0%±0 D.E	0%±0 D.E
	Pedacería	0%±0 D.E	0%±0 D.E	0%±0 D.E
	Roca/Pavimento	0%±0 D.E	0%±0 D.E	0.77%±1.09 D.E



Grafica 3. Paisaje 4 *Algas verdes sobre arena*. Muestra el promedio y D.E de la cobertura biótica en las temporadas de secas, lluvias y nortes.

A continuación se muestra una imagen representativa del paisaje 4 en cada una de las temporadas



Imagen 10. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 4 *Algas verdes sobre arena* durante la temporada de secas

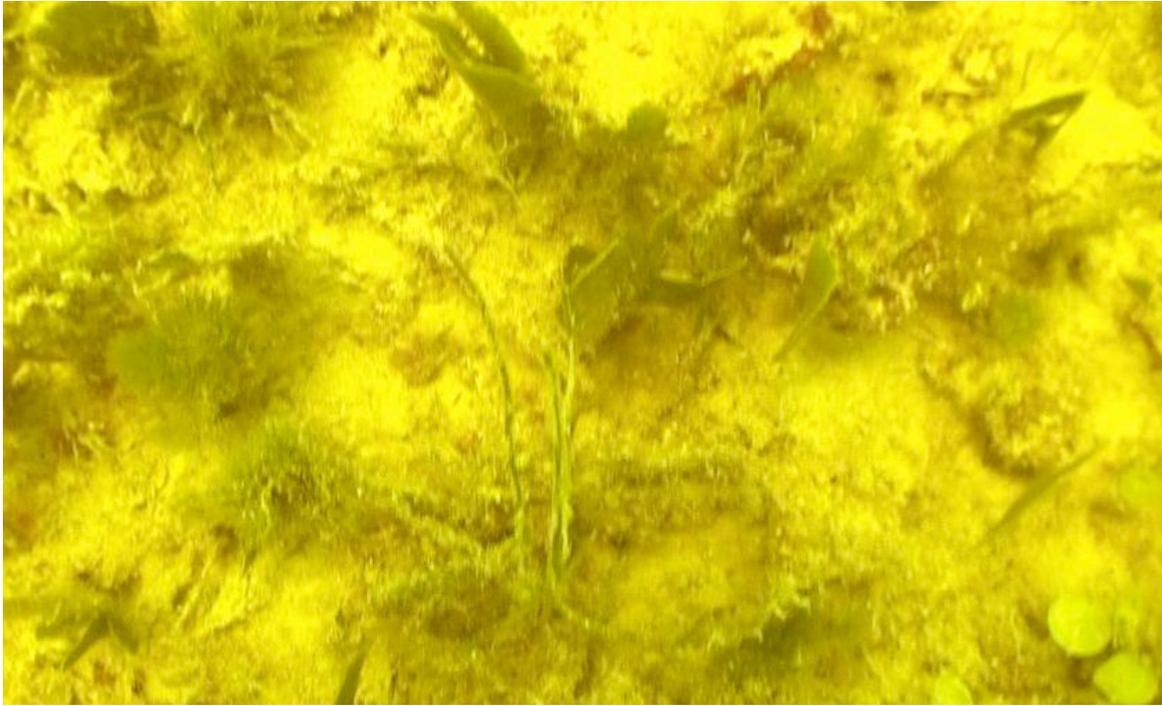


Imagen 11. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 4 *Algas verdes sobre arena* durante la temporada de lluvias



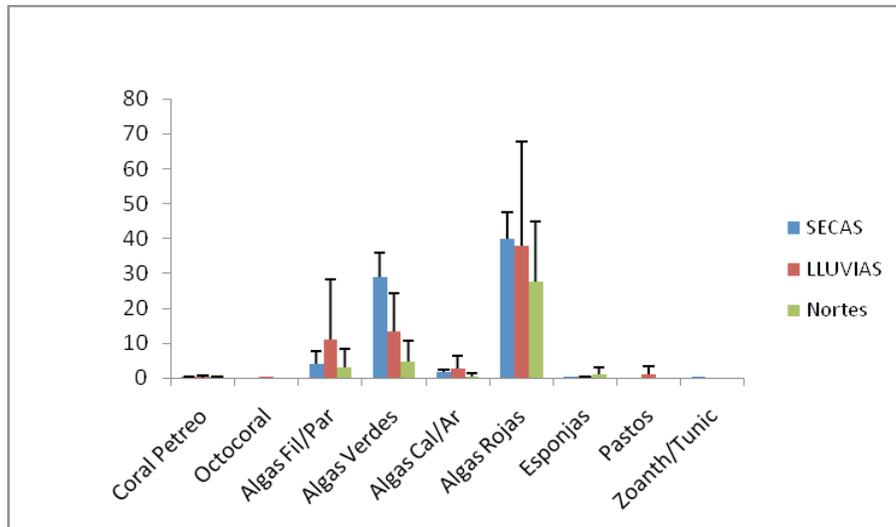
Imagen 12. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 4 *Algas verdes sobre arena* durante la temporada de nortes

Paisaje 5. *Algas rojas con parches de algas verdes sobre sedimento blando*

El Paisaje 5 está determinado por la dominancia de la cobertura de algas rojas en las tres temporadas, con un promedio de 39.92% (secas), 37.92% (lluvias) y 27.56% (nortes), presentando siempre una proporción menor de cobertura de algas verdes con valores promedio de 28.88% (secas), 13.24% (lluvias) y 4.72% (nortes), estas algas se encuentran asociadas al sustrato de sedimento blando, cuyos valores de cobertura promedio son de 24.71% en secas, 18.54% en lluvias y 34.73% en nortes, fluctúan de una manera inversa a la proporción de cobertura de las algas (Tabla 9, Grafica 4)

Tabla 9. Promedio y D.E de las coberturas bentónicas del Paisaje 5 *Algas rojas con parches de algas verdes sobre sedimento blando* en negritas se muestra la cobertura dominante y en cursiva la cobertura biótica que muestra más variación dentro de las 3 temporadas.

Paisaje 5. Algas rojas con parches de algas verdes sobre sedimento blando				
COBERTURA/SUBSTRATO		SECAS	LLUVIAS	NORTES
Cobertura Biótica	Coral Pétreo	0.19%±0.33 D.E	0.22%±0.42 D.E	0.09%±0.22 D.E
	Octocoral	0%±0 D.E	0.01%±0.05 D.E	0%±0 D.E
	Algas Filamentosas/Pardas	4.08%±3.73 D.E	11.01%±17.21 D.E	3.15%±5.15 D.E
	Algas Verdes	<b>28.88%±7.07 D.E</b>	<b>13.24%±10.97 D.E</b>	<b>4.72%±6.14 D.E</b>
	Algas Calcáreas/Articuladas	1.81%±0.62 D.E	2.67%±3.86 D.E	0.46%±0.87 D.E
	Algas Rojas	<b>39.92%±7.78 D.E</b>	<b>37.92%±29.82 D.E</b>	<b>27.56%±17.31 D.E</b>
	Esponjas	0.08%±0.17 D.E	0.12%±0.21 D.E	1.1%±1.83 D.E
	Pastos	0%±0 D.E	1.25%±2.28 D.E	0%±0 D.E
	Zoantídeos/Tunicados	0.04%±0.09 D.E	0%±0 D.E	0%±0 D.E
Substrato Inerte	Arena	0%±0 D.E	10.52%±12.84 D.E	27.94%±29.51 D.E
	Sedimento	24.73%±5.02 D.E	18.54%±30.68 D.E	34.73%±41.5 D.E
	Pedacería	0%±0 D.E	0%±0 D.E	0%±0 D.E
	Roca/Pavimento	0.27%±0.6 D.E	0%±0 D.E	0.08%±0.3 D.E



Grafica 4. Paisaje 5 *Algas rojas con parches de algas verdes sobre sedimento blando*. Muestra el promedio y D.E de la cobertura biótica en las temporadas de secas, lluvias y nortes.

A continuación se muestra una imagen representativa del paisaje 1 en cada una de las temporadas

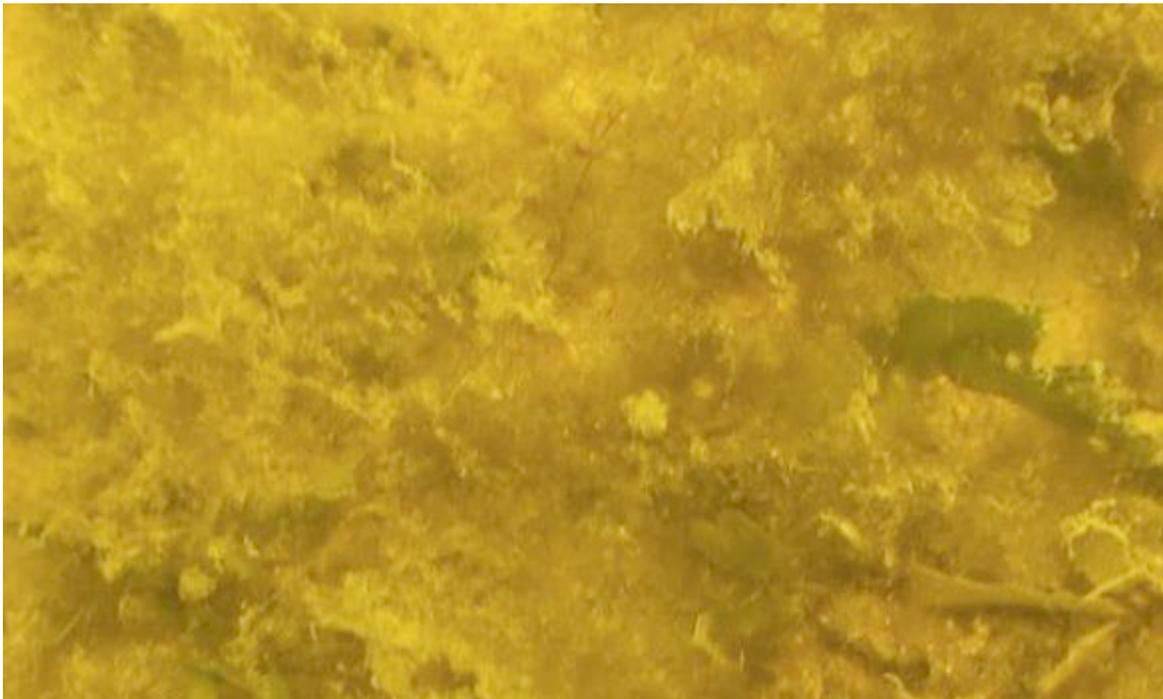


Imagen 13. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 5 *Algas rojas con parches de algas verdes sobre sedimento blando* durante la temporada de secas.



Imagen 14. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 5 *Algas rojas con parches de algas verdes sobre sedimento blando* durante la temporada de lluvias.



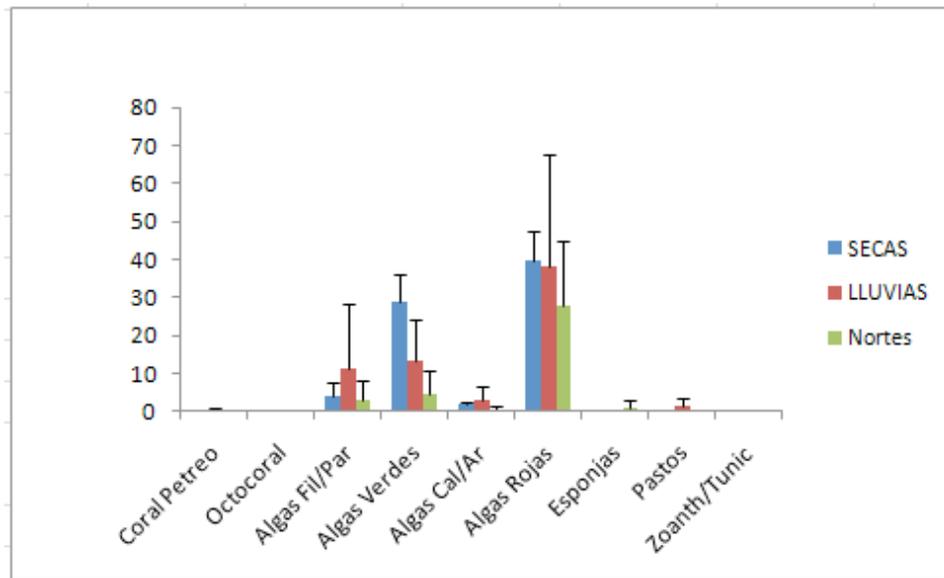
Imagen 15. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 5 *Algas rojas con parches de algas verdes sobre sedimento blando* durante la temporada de nortes

Paisaje 6. *Algas filamentosas/pardas con parches de algas verdes sobre arena*

El Paisaje 6 está determinado por la dominancia de la cobertura de algas filamentosas/pardas en las tres temporadas, con un promedio de 14.81% (secas), 11.01% (lluvias) y 36.35% (nortes), presentando siempre una proporción menor de cobertura de algas verdes con valores promedio de 34.62% (secas), 13.24% (lluvias) y 2.69% (nortes), estas algas se encuentran asociadas al substrato de arena, cuyos valores de cobertura promedio son de 15% en secas, 24.49% en lluvias y 49.04% en nortes, fluctúan de una manera inversa a la proporción de cobertura de las algas (Tabla 10, Grafica 5)

Tabla 10. Promedio y D.E de las coberturas bentónicas del Paisaje 6 *Algas filamentosas/pardas con parches de algas verdes sobre arena* en negritas se muestra la cobertura dominante y en cursiva la cobertura biótica que muestra más variación dentro de las 3 temporadas.

Paisaje 6. Algas filamentosas/pardas con parches de algas verdes sobre arena				
COBERTURA/SUBSTRATO		SECAS	LLUVIAS	NORTES
Cobertura Biótica	Coral Pétreo	1.73%	0.22%±0.42 D.E	0.96%
	Octocoral	0%	0.01%±0.05 D.E	0%
	Algas Filamentosas/Pardas	14.81%	11.01%±17.21 D.E	36.35%
	Algas Verdes	<b>34.62%</b>	<i>13.24%±10.97 D.E</i>	<i>2.69%</i>
	Algas Calcáreas/Articuladas	6.35%	2.67%±3.86 D.E	0.38%
	Algas Rojas	26.54%	37.92%±29.82 D.E	0%
	Espojas	0.38%	0.12%±0.21 D.E	9.81%
	Pastos	0.19%	1.25%±2.28 D.E	0%
	Zoantídeos/Tunicados	0%	0%±0 D.E	0%
Substrato Inerte	Arena	15%	26.49%±16.29 D.E	49.04%
	Sedimento	0%	0%±0 D.E	0%
	Pedacería	0%	0%±0 D.E	0%
	Roca/Pavimento	0%	0.1%±0.19 D.E	0.77%



Grafica 5. Paisaje 6 *Algas filamentosas/pardas con parches de algas verdes sobre arena*. Muestra el promedio y D.E de la cobertura biótica en las temporadas de secas, lluvias y nortes.

A continuación se muestran unas imágenes representativas del paisaje 6 en cada una de las temporadas

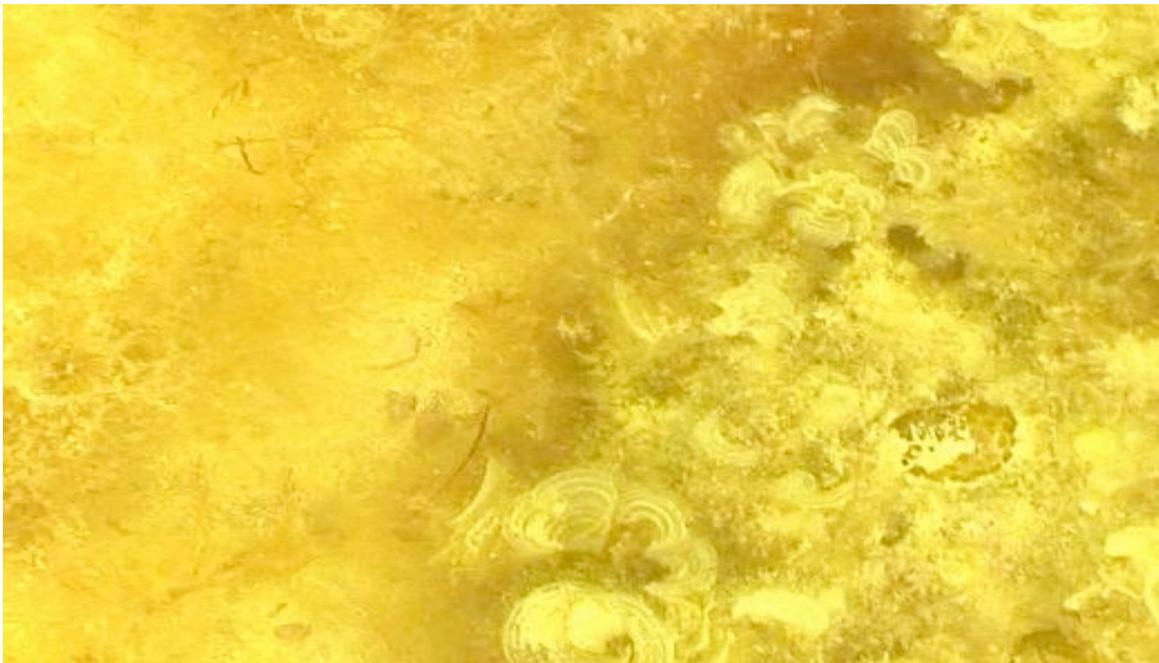


Imagen 16. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 6 *Algas filamentosas/pardas con parches de algas verdes sobre arena* durante la temporada de secas.

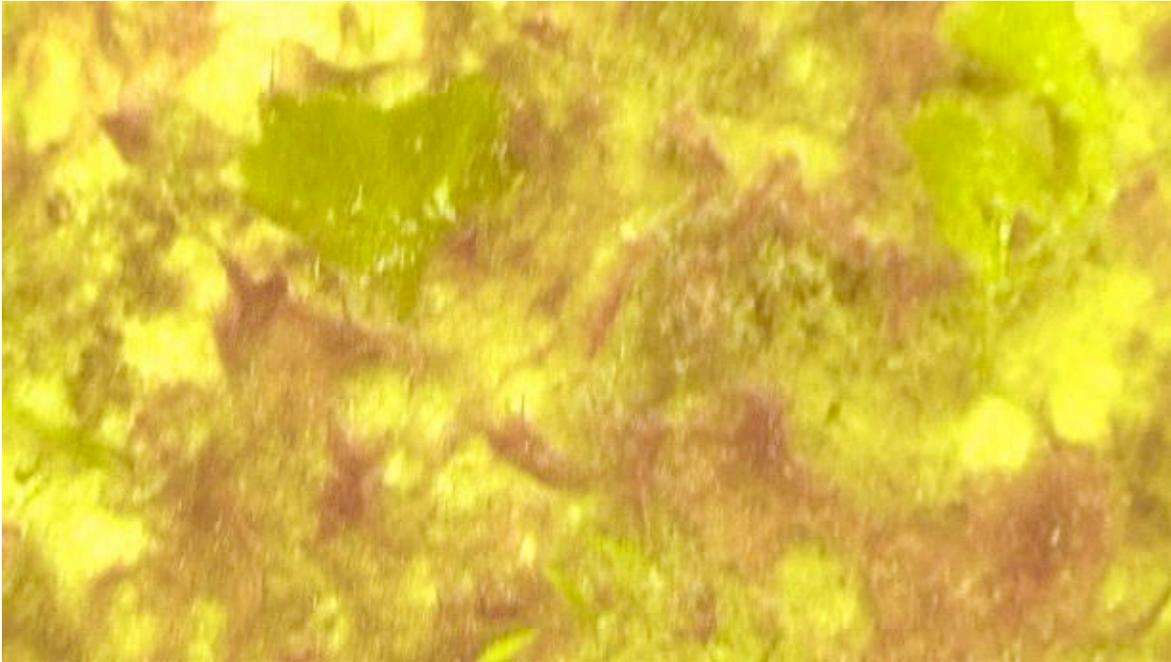


Imagen 17. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 6 *Algas filamentosas/pardas con parches de algas verdes sobre arena* durante la temporada de lluvias.



Imagen 18. Ejemplo de coberturas para el Paisaje 6 *Algas filamentosas/pardas con parches de algas verdes sobre arena* durante la temporada de nortes.

### 3. Comparación de las coberturas bentónicas de cada uno de los seis paisajes entre las tres temporadas climáticas.

Al comparar cada uno de los 6 paisajes descritos, entre las tres diferentes temporadas climáticas por medio de un análisis de SIMPER, lo que encontramos fue lo siguiente.

#### *Paisaje 1. Algas rojas con parches de algas verdes sobre arena*

El análisis de SIMPER muestra que las coberturas bentónicas que aportan más similitud inter-paisajes para la temporada de secas son las algas rojas con un porcentaje de similitud del 58.38% y una contribución del 53.8%, en lluvias la similitud está dada por la arena con un porcentaje de similitud del 70.67% y una contribución del 78.38%, y finalmente para la temporada de nortes igual que en el caso anterior la similitud está dada por la arena con un porcentaje de similitud del 85.43% y una contribución de 94.1% (Tabla 11). Mientras que la diferencia en el paisaje entre las temporadas de Secas-lluvias es 63.87% y está dada por Arena (36.61%), Algas rojas (27.24%), Algas filamentosas/pardas (17.36%), Algas verdes (7.21%). Entre las temporadas de secas-nortes la diferencia entre todas las coberturas es 74.79% y está dada por Arena (45.53%), Algas rojas (25.61%), Algas filamentosas/pardas (15.36%), Algas verdes (6.06%). Finalmente entre las temporadas de lluvias-nortes la diferencia entre todas las coberturas es de 30.76% y está dada por Arena (37.56%), Algas rojas (17.55%), Algas verdes (16.43%), Pastos (9.77%), Algas Calcáreas/Articuladas (7.5%), Esponjas (4.4%), (Tabla 12).

Tabla 11. Coberturas bentónicas que causan la similitud inter-paisaje basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 1. Las coberturas están listadas en orden ascendente de acuerdo al porcentaje de contribución. La columna de la derecha (%Ac) refleja el porcentaje acumulativo de contribución de cada cobertura.

Paisaje 1 secas		
Porcentaje de similitud=58.38		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Algas Rojas	53.8	53.08
Algas Fil/Par	19.56	73.36
Arena	14.72	88.08
Paisaje 1 lluvias		
Porcentaje de similitud=70.67		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Arena	78.38	78.38
Algas Verdes	12.47	90.85
Paisaje 1 nortes		
Porcentaje de similitud=85.43		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Arena	94.1	94.1

Tabla 12. Coberturas bentónicas que causan la diferencia del paisaje entre temporadas, basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 1. Las coberturas están listadas en orden ascendente de acuerdo al porcentaje de contribución. La columna de la derecha (%Ac) refleja el porcentaje acumulativo de contribución de cada cobertura.

secas y lluvias		
porcentaje de disimilaridad=63:87		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Arena	36.61	36.61
Algas Rojas	27.24	63.85
Algas Fil/Par	17.36	81.21
Algas Verdes	7.21	88.41
Pastos	4.72	93.13
secas y nortes		
porcentaje de disimilaridad=74.79		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Arena	45.53	45.53
Algas Rojas	25.61	71.14
Algas Fil/Par	15.36	86.5
Algas Verdes	6.06	92.56
lluvias y nortes		
porcentaje de disimilaridad=30.76		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Arena	37.56	37.56
Algas Rojas	17.55	55.11
Algas Verdes	16.43	71.54
Pastos	9.77	81.31
Algas Cal/Ar	7.5	88.81
Esponjas	4.4	93.21

*Paisaje 2 Praderas de algas mixtas dominado por algas filamentosas/pardas sobre arena.*

El análisis de SIMPER muestra las coberturas bentónicas que aportan más similitud al paisaje en temporada de secas, las cuales son las Algas rojas con un porcentaje de similitud de 54.10% y una contribución de similitud de 46.92%. Las temporadas de lluvias y nortes no están representadas en la tabla debido a que en el paisaje 2 solo están representadas por una estación de muestreo (Tabla 13). Por otro lado la diferencia en el paisaje entre las temporadas de Secas-lluvias es 64.47% y está dada por Algas Calcáreas/Articuladas (28.71%), Algas rojas (27.4%), Arena (15.7%), Algas filamentosas/pardas (12.71%), Esponjas (7.42%). Entre las temporadas de secas-nortes la diferencia es de 53.61% y está dada por Arena (46.68%), Algas rojas (29.55%), Algas filamentosas/pardas (16.1%). Finalmente entre las temporadas de lluvias-nortes la diferencia entre las coberturas es de 61.54% y está dada por Arena (46.72%), Algas Calcáreas/Articuladas (30.78%), Esponjas (8.28%), Algas filamentosas/pardas (8.28%), (Tabla 14).

Tabla 13. Coberturas bentónicas que causan la similitud en el paisaje en la temporada de secas basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 2. Las coberturas están listadas en orden ascendente de acuerdo al porcentaje de contribución. La columna de la derecha (%Ac) refleja el porcentaje acumulativo de contribución de cada cobertura.

Paisaje 2 secas		
Porcentaje de similitud=54.10		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Algas Rojas	46.92	46.92
Arena	27.13	74.05
Algas Fil/Par	15.64	89.69

Tabla 14. Coberturas bentónicas que causan la diferencia del paisaje entre temporadas, basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 2. Las coberturas están listadas en orden ascendente de acuerdo al porcentaje de contribución. La columna de la derecha (%Ac) refleja el porcentaje acumulativo de contribución de cada cobertura.

<b>secas y lluvias</b>		
porcentaje de disimilaridad=63:87		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Arena	36.61	36.61
Algas Rojas	27.24	63.85
Algas Fil/Par	17.36	81.21
Algas Verdes	7.21	88.41
Pastos	4.72	93.13
<b>secas y nortes</b>		
porcentaje de disimilaridad=74.79		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Arena	45.53	45.53
Algas Rojas	25.61	71.14
Algas Fil/Par	15.36	86.5
Algas Verdes	6.06	92.56
<b>lluvias y nortes</b>		
porcentaje de disimilaridad=30.76		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Arena	37.56	37.56
Algas Rojas	17.55	55.11
Algas Verdes	16.43	71.54
Pastos	9.77	81.31
Algas Cal/Ar	7.5	88.81
Esponjas	4.4	93.21

### Paisaje 3 *Arena*

El análisis de SIMPER muestra las coberturas bentónicas que aportan más similitud inter-paisaje en las tres temporadas, en este caso en particular la similitud está marcada por la misma cobertura la cual es la Arena, con un porcentaje de similitud de 100% y una contribución de 100% para la temporada de secas, con un porcentaje de similitud de 84.21% y una contribución de 99.43% para la temporada de lluvias, finalmente en la temporada de nortes su porcentaje de similitud es de 100% y una contribución de 100% (Tabla 15). Por otro lado la diferencia en el paisaje entre las temporadas de Secas-lluvias es de 8.48% y está dada por Arena (50%), Algas verdes (32.37%), Algas rojas (15.1%). Entre las temporadas de secas-nortes la diferencia es 0%. Finalmente entre las temporadas de

lluvias-nortes la diferencia entre las coberturas es de 8.48% y está dada por Arena (50%), Algas verdes (32.37%), Algas rojas (15.1%), (Tabla 16).

Tabla 15. Coberturas bentónicas que causan la similitud inter-paisaje basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 3. Las coberturas están listadas en orden ascendente de acuerdo al porcentaje de contribución. La columna de la derecha (%Ac) refleja el porcentaje acumulativo de contribución de cada cobertura.

<b>paisaje 3 secas</b>		
Porcentaje de similitud= 100.00		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Arena	100	100
<b>Paisaje 3 lluvias</b>		
Porcentaje de similitud=84.21		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Arena	99.43	99.43
<b>Paisaje 3 nortes</b>		
Porcentaje de similitud= 100.00		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Arena	100	100

Tabla 16. Coberturas bentónicas que causan la diferencia del paisaje entre temporadas, basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 3. Las coberturas están listadas en orden ascendente de acuerdo al porcentaje de contribución. La columna de la derecha (%Ac) refleja el porcentaje acumulativo de contribución de cada cobertura.

<b>secas y lluvias</b>		
porcentaje de disimilaridad=8.48		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Arena	50	50
Algas Verdes	32.37	82.37
Algas Rojas	15.1	97.47
<b>secas y nortes</b>		
porcentaje de disimilaridad=0		
<b>lluvias y nortes</b>		
porcentaje de disimilaridad=8.48		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Arena	50	50
Algas Verdes	32.37	82.37
Algas Rojas	15.1	97.47

#### Paisaje 4 *Algas verdes sobre arena*

El análisis de SIMPER muestra las coberturas bentónicas que aportan más similitud inter-paisaje en las tres temporadas, siendo para la temporada de secas la Arena con un porcentaje de similitud de 73.69% y una contribución del 90.32%, en lluvias las Algas verdes con un porcentaje de similitud de 73.69% y una contribución del 48.65% y finalmente para la temporada de nortes la similitud está dada por la arena con un porcentaje de similitud de 76.19% y una contribución de 86.8% (Tabla 17). Por otro lado la diferencia en el paisaje entre las temporadas de Secas-lluvias es de 50.20% y está dada por Arena (41.24%), Algas verdes (37.54%), Algas rojas (7.99%), Pastos (7.1%). Entre las temporadas de secas-nortes la diferencia es de 27.71% y está dada por Arena (28.77%), Algas rojas (23.26%), Pastos (16.54%), Algas verdes (12.56%), Coral pétreo (7.62%), Algas Calcáreas/Articuladas (4.23%). Finalmente entre las temporadas de lluvias-nortes la diferencia entre las coberturas es de 42.95% y está dada por Arena (40.16%), Algas verdes (34.74%), Algas rojas (10.37%), Coral pétreo (3.82%), Algas filamentosas/pardas (3.59%) (Tabla 18).

Tabla 17. Coberturas bentónicas que causan la similitud inter-paisaje basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 4. Las coberturas están listadas en orden ascendente de acuerdo al porcentaje de contribución. La columna de la derecha (%Ac) refleja el porcentaje acumulativo de contribución de cada cobertura.

<b>Paisaje 4 secas</b>		
Porcentaje de similitud=84.74		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Arena	90.32	90.32
<b>Paisaje 4 lluvias</b>		
Porcentaje de similitud=73.69		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Algas Verdes	48.65	48.65
Arena	41.82	90.47
<b>Paisaje 4 nortes</b>		
Porcentaje de similitud=76.19		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Arena	86.8	86.8
Algas Verdes	8	94.8

Tabla 18. Coberturas bentónicas que causan la diferencia del paisaje entre temporadas, basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 4. Las coberturas están listadas en orden ascendente de acuerdo al porcentaje de contribución. La columna de la derecha (%Ac) refleja el porcentaje acumulativo de contribución de cada cobertura.

<b>secas y lluvias</b>		
porcentaje de disimilaridad=50.20		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Arena	41.24	41.24
Algas Verdes	37.54	78.79
Algas Rojas	7.99	86.77
Pastos	7.1	93.87
<b>secas y nortes</b>		
porcentaje de disimilaridad=27.71		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Arena	28.77	28.77
Algas Verdes	23.26	52.03
Pastos	16.54	68.58
Algas Rojas	12.56	81.14
Coral Pétreo	7.62	88.76
Algas Cal/Ar	4.23	93
<b>lluvias y nortes</b>		
porcentaje de disimilaridad=42.95		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Arena	40.16	40.16
Algas Verdes	34.74	74.91
Algas Rojas	10.37	85.28
Coral Pétreo	3.82	89.09
Algas Fil/Par	3.59	92.69

#### *Paisaje 5 Algas rojas con parches de algas verdes sobre sedimento blando*

El análisis de SIMPER muestra las coberturas bentónicas que aportan más similitud inter-paisaje en las tres temporadas, siendo para la temporada de secas las Algas rojas con un porcentaje de similitud de 83.59% y una contribución del 41.56%, en lluvias las Algas rojas con un porcentaje de similitud de 39.27% y una contribución del 52.48% y finalmente para la temporada de nortes la similitud está dada por sedimento con un porcentaje de similitud de 43.67% y una contribución de 83.55% (Tabla 19). Por otro lado la diferencia en el paisaje entre las temporadas de Secas-lluvias es de 48.61% y está dada por Sedimento (27.28%), Algas rojas (26.58%), Algas verdes (19.2%), Algas filamentosas/pardas

(11.13%), Arena (10.98%). Entre las temporadas de secas-nortes la diferencia es de 57.21% y está dada por Sedimento (31.63%), Arena (24.44%), Algas verdes (21.64%), Algas rojas (15.28%). Finalmente entre las temporadas de lluvias-nortes la diferencia entre las coberturas es de 62.69% y está dada por Sedimento (31.4%), Algas rojas (23.2%), Arena (22.91%), Algas verdes (9.43%), Algas filamentosas/pardas (8.71%), (Tabla 20).

Tabla 19. Coberturas bentónicas que causan la similitud inter-paisaje basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 5. Las coberturas están listadas en orden ascendente de acuerdo al porcentaje de contribución. La columna de la derecha (%Ac) refleja el porcentaje acumulativo de contribución de cada cobertura.

Paisaje 5 secas		
Porcentaje de similitud= 83.59		
Especies	Contribución%	%Ac
Algas Rojas	41.56	41.56
Algas Verdes	29.64	71.2
Sedimento	24.58	95.78
Paisaje 5 lluvias		
Porcentaje de similitud=40.47		
Especies	Contribución%	%Ac
Algas Rojas	52.48	52.48
Algas Verdes	17.53	70.01
Sedimento	9.89	79.9
Arena	9.26	89.16
Algas Fil/Par	7.1	96.26
Paisaje 5 nortes		
Porcentaje de similitud= 43.67		
Especies	Contribución%	%Ac
Sedimento	83.55	83.55
Algas Rojas	16.45	100
Arena	26.35	94.4

Tabla 20. Coberturas bentónicas que causan la diferencia del paisaje entre temporadas, basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 5. Las coberturas están listadas en orden ascendente de acuerdo al porcentaje de contribución. La columna de la derecha (%Ac) refleja el porcentaje acumulativo de contribución de cada cobertura.

<b>secas y lluvias</b>		
porcentaje de disimilaridad=48.61		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Sedimento	27.28	27.28
Algas Rojas	26.58	53.87
Algas Verdes	19.2	73.07
Algas Fil/Par	11.13	84.21
Arena	10.98	95.18
<b>secas y nortes</b>		
porcentaje de disimilaridad=57.21		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Sedimento	31.63	31.63
Arena	24.44	56.08
Algas Verdes	21.64	77.72
Algas Rojas	15.28	93
<b>lluvias y nortes</b>		
porcentaje de disimilaridad=62.69		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Sedimento	31.4	31.4
Algas Rojas	23.2	54.61
Arena	22.91	77.52
Algas Verdes	9.43	86.95
Algas Fil/Par	8.71	95.66

### *Paisaje 6 Algas filamentosas/pardas con parches de algas verdes sobre arena*

El análisis de SIMPER muestra las coberturas bentónicas que aportan más similitud inter-paisaje en las temporadas de secas y lluvias, siendo para la temporada de secas las Algas verdes con un porcentaje de similitud de 73.27% y una contribución del 36.22%, en el caso de lluvias la Arena con un porcentaje de similitud de 49.53% y una contribución del 32.61%. La temporada de nortes no está representada en la tabla debido a que en dicha temporada el paisaje 6 solo está representado por una estación (Tabla 21). Por otro lado la diferencia en el paisaje entre las temporadas de Secas-lluvias es de 57.37% y está dada por

Arena (23.21%), Algas filamentosas/pardas (20.13%), Sedimento (19.34%), Algas verdes (13.95%), Algas rojas (12.02%), Pastos (6.14%). Entre las temporadas de secas-nortes la diferencia es de 87.60% y está dada por Arena (27.99%), Algas rojas (18.66%), Algas filamentosas/pardas (16.03%), Algas verdes (15.93%), Sedimento (12.92%). Finalmente entre las temporadas de lluvias-nortes la diferencia entre las coberturas es de 50.84% y está dada por Algas filamentosas/pardas (24.69%), Arena (22.18%), Algas rojas (20.01%), Algas verdes (13.09%), Esponjas (9.39%), Pastos (6.93%), (Tabla 22).

Tabla 21. Coberturas bentónicas que causan la similitud inter-paisaje basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 6. Las coberturas están listadas en orden ascendente de acuerdo al porcentaje de contribución. La columna de la derecha (%Ac) refleja el porcentaje acumulativo de contribución de cada cobertura.

Paisaje 6 secas		
Porcentaje de similitud=73.27		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Algas Verdes	36.22	36.22
Algas Rojas	36.22	72.44
Sedimento	20.47	92.91
Paisaje 6 lluvias		
Porcentaje de similitud= 49.53		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Arena	32.61	32.61
Algas Rojas	26.26	58.87
Algas Verdes	18.71	77.58
Algas Fil/Par	15.43	93.01

Tabla 22. Coberturas bentónicas que causan la diferencia del paisaje entre temporadas, basados en la similitud Bray-Curtis para el paisaje 6. Las coberturas están listadas en orden ascendente de acuerdo al porcentaje de contribución. La columna de la derecha (%Ac) refleja el porcentaje acumulativo de contribución de cada cobertura.

<b>secas y lluvias</b>		
porcentaje de disimilaridad=57.37		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Arena	23.21	23.21
Algas Fil/Par	20.13	43.34
Sedimento	19.34	62.68
Algas Verdes	13.95	76.63
Algas Rojas	12.02	88.65
Pastos	6.14	94.79
<b>secas y nortes</b>		
porcentaje de disimilaridad=87.60		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Arena	27.99	27.99
Algas Rojas	18.66	46.65
Algas Fil/Par	16.03	62.68
Algas Verdes	15.92	78.59
Sedimento	12.62	91.22
<b>lluvias y nortes</b>		
porcentaje de disimilaridad=50.84		
cobertura bentónica	Contribución%	%Ac
Algas Fil/Par	24.69	24.69
Arena	22.18	46.87
Algas Rojas	20.01	66.89
Algas Verdes	13.09	79.98
Esponjas	9.39	89.37
Pastos	6.93	96.29

#### 4. Asociación de la cobertura bentónica con el tipo de fondo.

Al realizar un análisis de correspondencia Canónico (CCA) y posteriormente un análisis de escalamiento multidimensional (MDS), se encontraron las siguientes asociaciones entre la cobertura bentónica y el tipo de fondo en las 3 temporadas climáticas (Secas, Lluvias y Nortes).

El análisis de correspondencia canónico (CCA) muestra las características geomorfológicas asociadas a tres ejes principales, el primero es de Arena, el segundo Sedimento y el tercero Pavimento calcáreo. Ecológicamente estos ejes representan diferentes características fisiográficas en una misma región a las cuales se encuentran asociados los componentes bióticos, y que en conjunto definen los paisajes bentónicos (Garza Pérez, 2004).

En el diagrama de dispersión producido por el análisis de correspondencia canónica para la temporada climática de Secas, se muestra que el eje de tipo de fondo Arena tiene una asociación con el componente biótico Pastos, Coral Pétreo, Esponjas, Algas rojas, que a su vez posee una asociación negativa con el eje Sedimento. El eje Arena presenta una asociación negativa pero no excluyente con los componentes bióticos Algas verdes, Algas Calcáreas, zoantidos. El eje Sedimento está asociado a la presencia de los componentes bióticos Algas verdes, Algas calcáreas, zoantidos. Finalmente el eje Pavimento se encuentra asociado a la presencia del componente biótico Algas Filamentosas/pardas (figura 10).

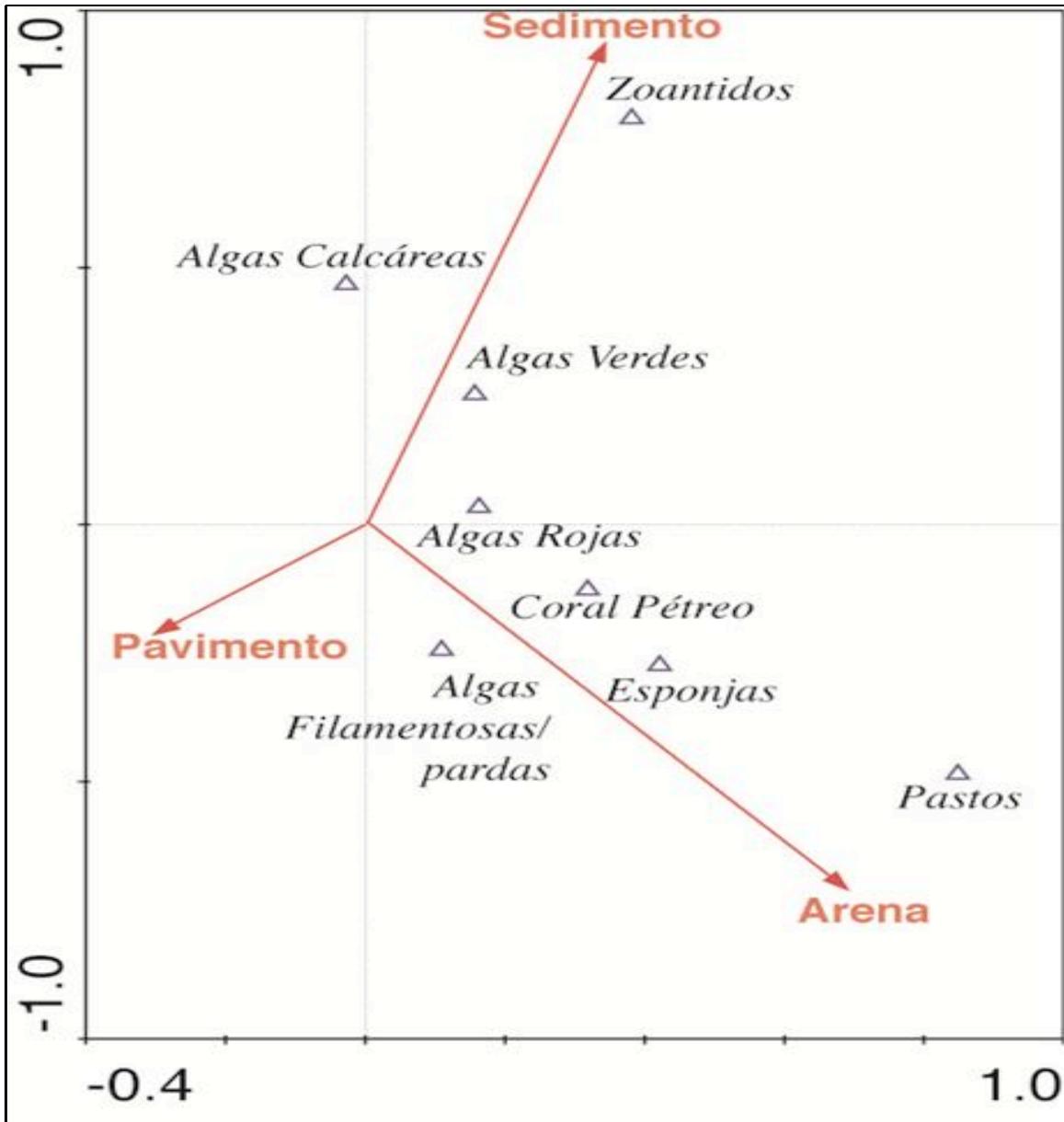


Figura 10. Diagrama de dispersión (biplot) de los componentes bióticos y los tipos de fondo en la temporada climática de Secas.

Las asociaciones de las coberturas bentónicas con los sustratos se pueden observar más claramente en los diagramas generados por el MDS, en donde se especifican la distribución de cada paisaje en la temporada climática Secas (figuras 10.1 y 10.2)

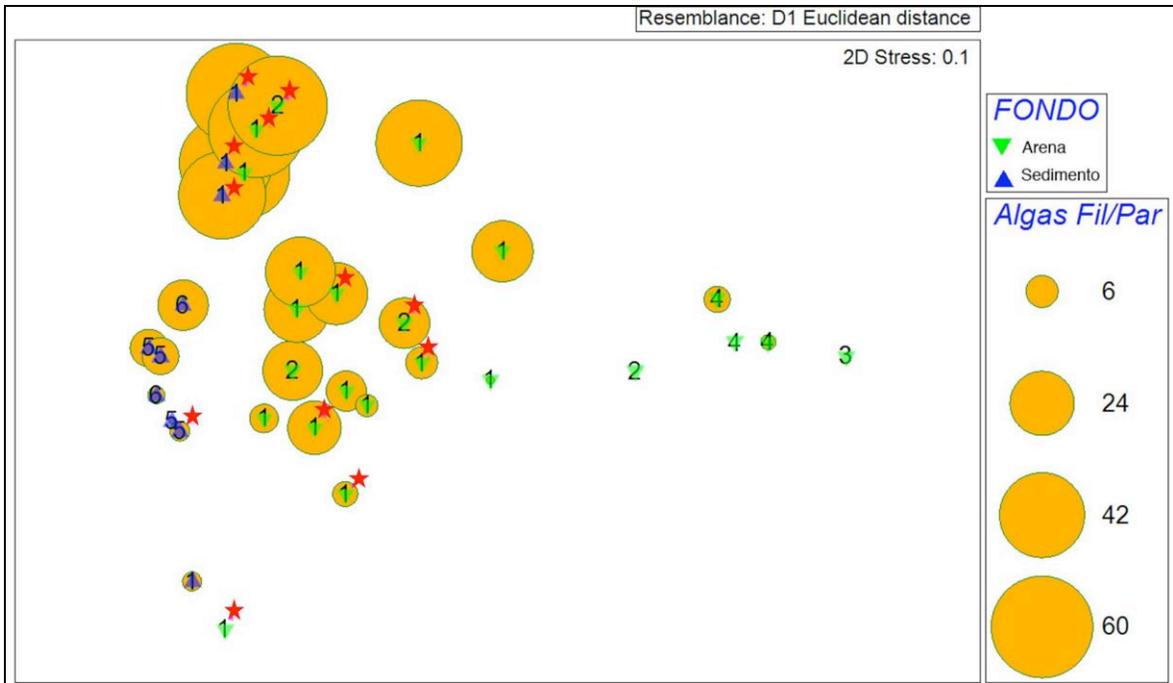


Figura 10.1. Diagrama de escalamiento multidimensional (MDS) los círculos amarillos muestran la asociación de la cobertura relativa de algas Filamentosas/pardas (%) al tipo de fondo Arena ▼, Sedimento ▲, con ★ se muestran aquellas estaciones donde se observa pavimento calcáreo. La separación de los paisajes se encuentra representada con los números del 1 al 6. Presenta un buen ajuste estadístico (estrés de 0.1).

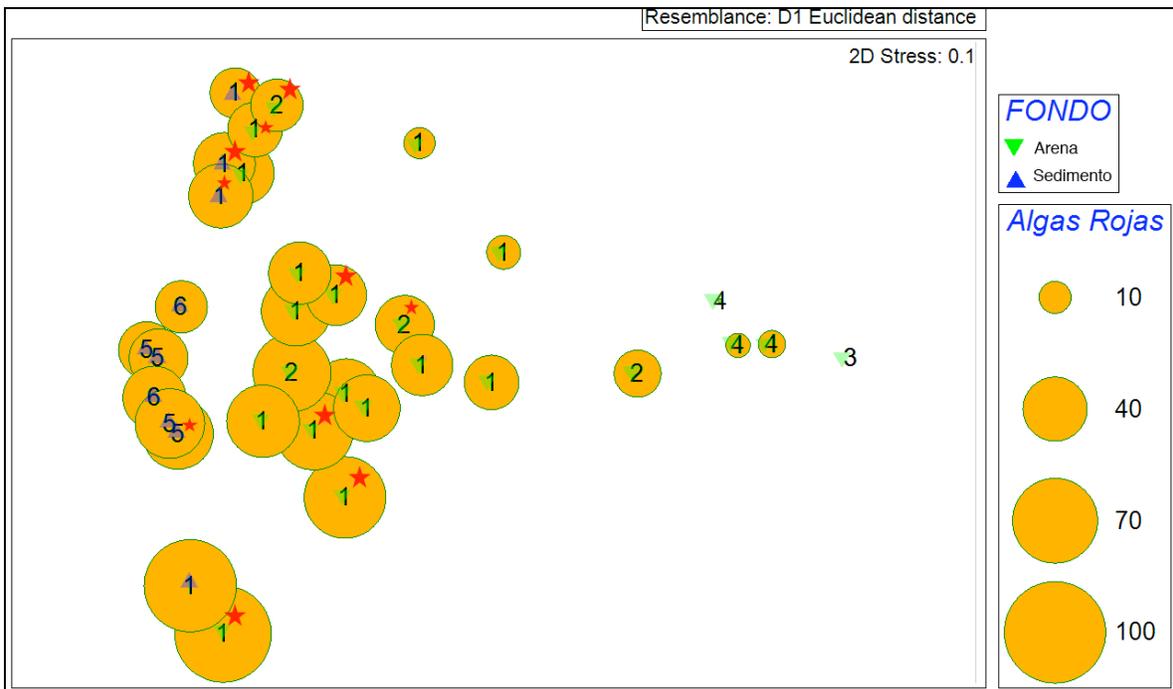


Figura 10.2. Diagrama de escalamiento multidimensional (MDS) los círculos amarillos muestran la asociación de la cobertura relativa de Algas Rojas (%) al tipo de fondo Arena ▼, Sedimento ▲, con ★ se muestran aquellas estaciones donde se observa pavimento calcáreo. La separación de los paisajes se encuentra representada con los números del 1 al 6. Presenta un buen ajuste estadístico (estrés de 0.1).

En el diagrama de dispersión producido por el análisis de correspondencia canónica para la temporada climática de Lluvias, se muestra que el eje de tipo de fondo Arena tiene una asociación con el componente biótico zoantidos, Octocoral, Pastos, Coral Pétreo, Algas calcáreas, Algas verdes, Esponjas. El eje Sedimento está asociado a la presencia de los componentes bióticos Algas Rojas. Finalmente el eje Pavimento se encuentra asociado a la presencia del componente biótico Algas Filamentosas/pardas (figura 11).

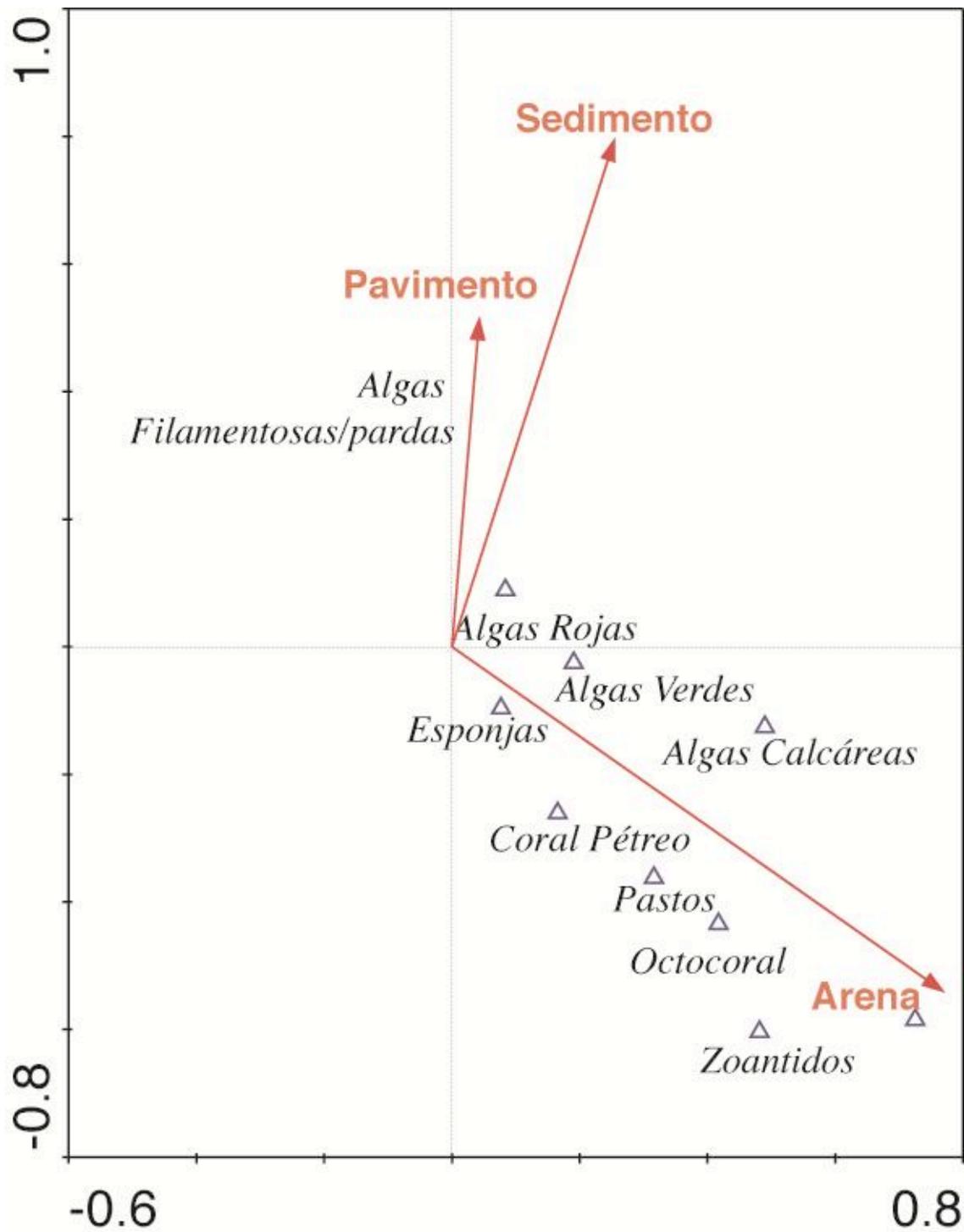


Figura 11. Diagrama de dispersión (biplot) de los componentes bióticos y los tipos de fondo en la temporada climática de Lluvias.

Las asociaciones de las coberturas bentónicas con los substratos se pueden observar más claramente en los diagramas generados por el MDS, en donde se especifican la distribución de cada paisaje en la temporada climática Lluvias (figuras 11.1 y 11.2)

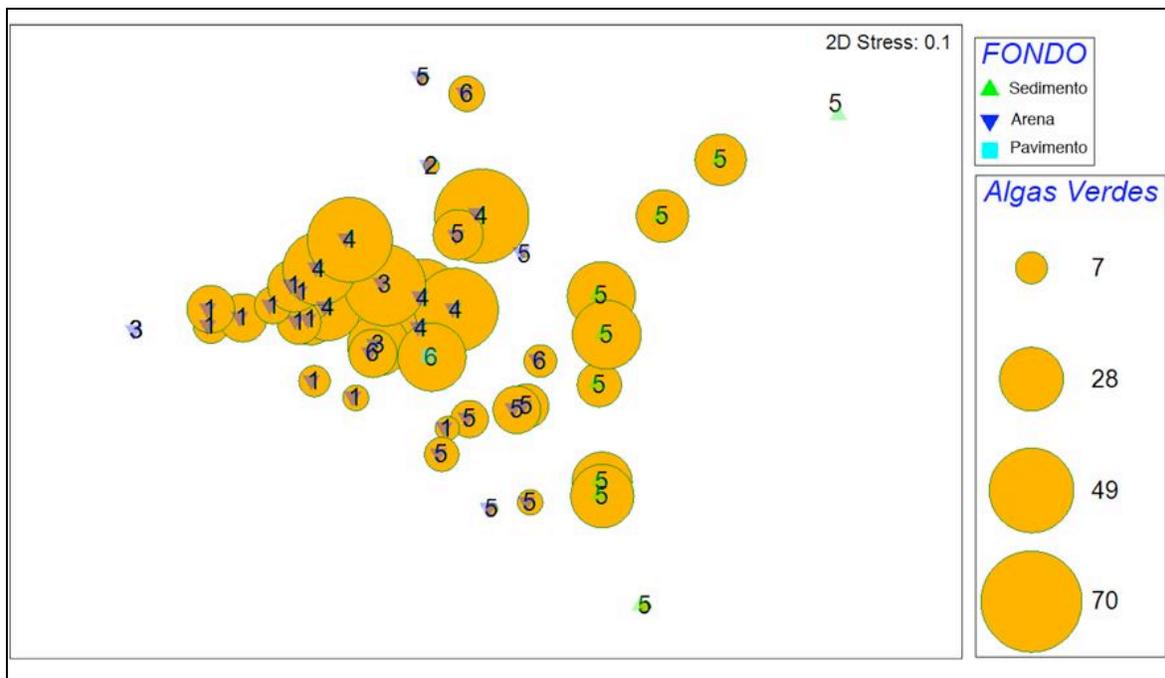


Figura 11.1 Diagrama de escalamiento multidimensional (MDS) los círculos amarillos muestran la asociación de la cobertura relativa de Algas Verde (%) al tipo de fondo Arena ▼, Sedimento ▲, Pavimento ◻. La separación de los paisajes se encuentra representada con los números del 1 al 6. Presenta un buen ajuste estadístico (estrés de 0.1).

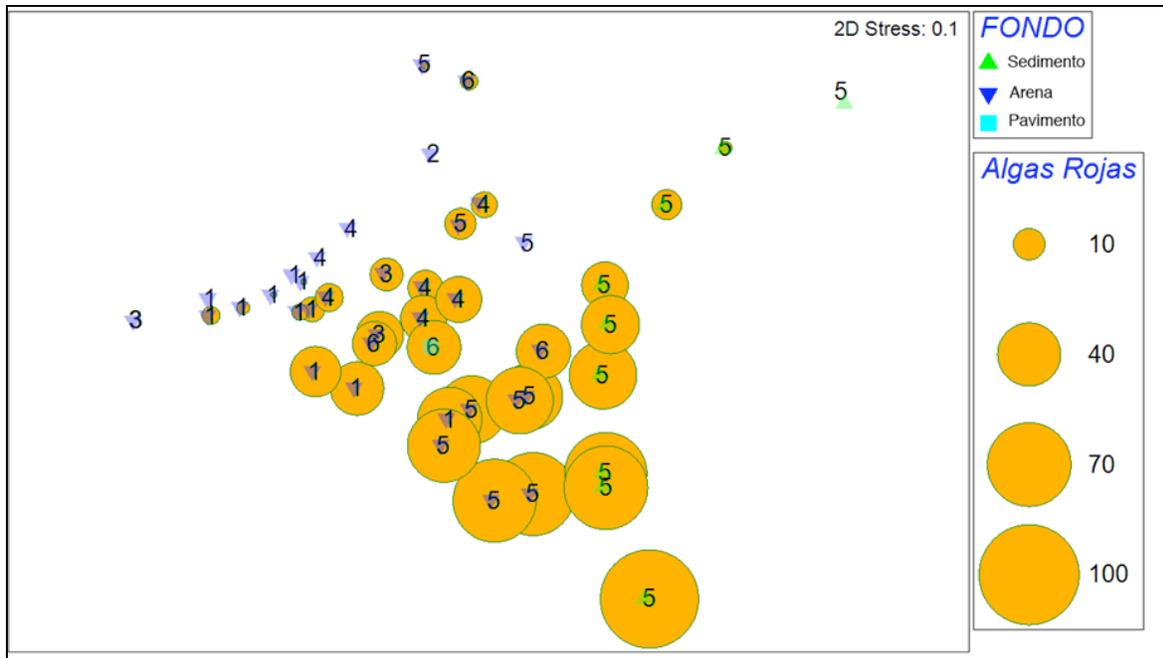


Figura 11.2. Diagrama de escalamiento multidimensional (MDS) los círculos amarillos muestran la asociación de la cobertura relativa de Algas Rojas (%) al tipo de fondo Arena ▼, Sedimento ▲, Pavimento ◻. La separación de los paisajes se encuentra representada con los números del 1 al 6. Presenta un buen ajuste estadístico (estrés de 0.1).

En el diagrama de dispersión producido por el análisis de correspondencia canónica para la temporada climática de Nortes, se muestra que el eje de tipo de fondo Arena tiene una asociación con el componente biótico Pastos, Octocoral, Esponjas, Algas rojas, Algas verdes, Algas calcáreas. El eje Sedimento está asociado a la presencia de los componentes bióticos Zoantidos. Finalmente el eje Pavimento se encuentra asociado a la presencia del componente biótico Algas Filamentosas/pardas, Coral Pétreo (figura 12).

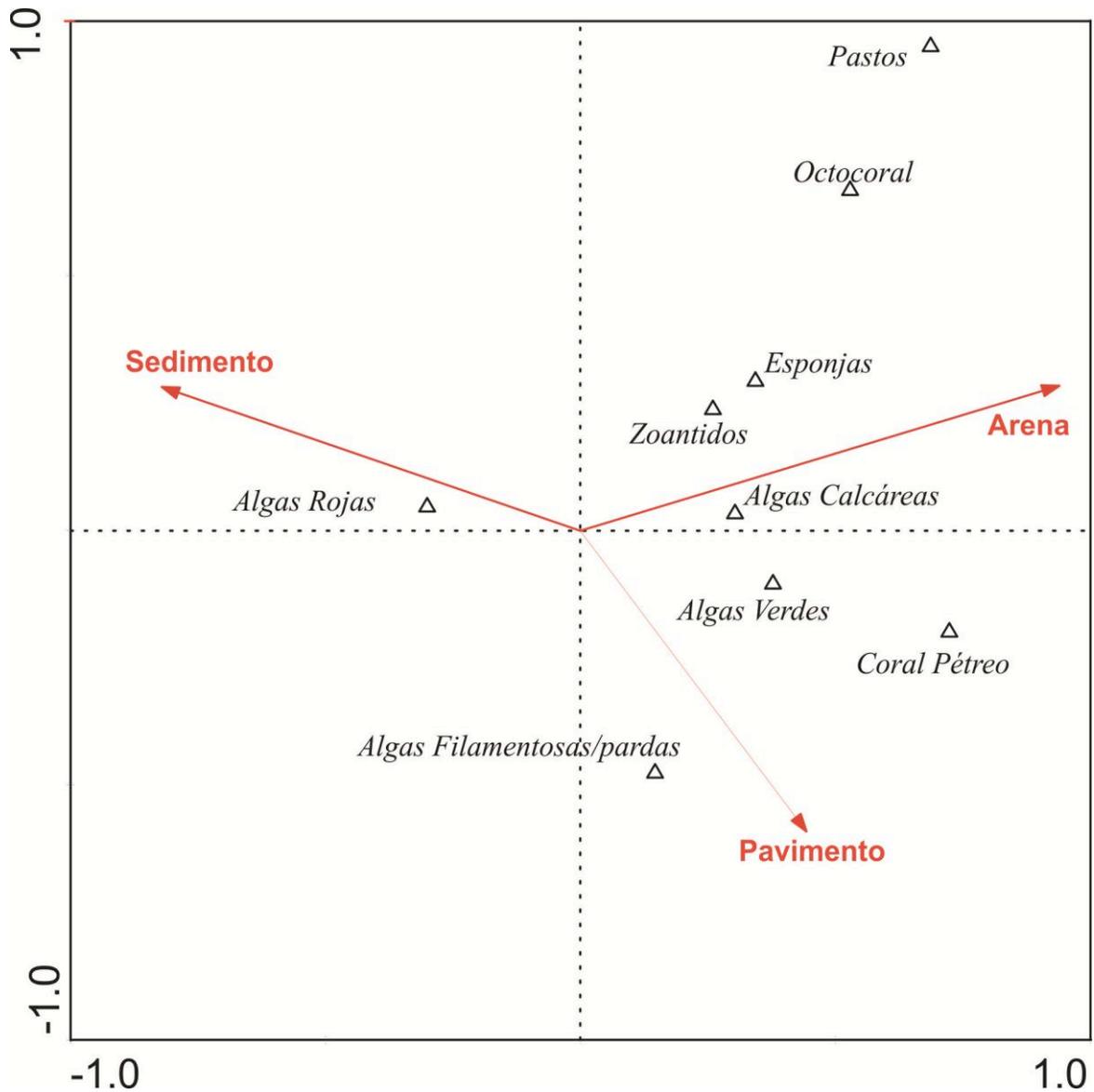


Figura 12. Diagrama de dispersión (biplot) de los componentes bióticos y los tipos de fondo en la temporada climática de nortes.

Las asociaciones de las coberturas bentónicas con los substratos se pueden observar más claramente en los diagramas generados por el MDS, en donde se especifican la distribución de cada paisaje en la temporada climática Nortes (figuras 12.1 y 12.2).

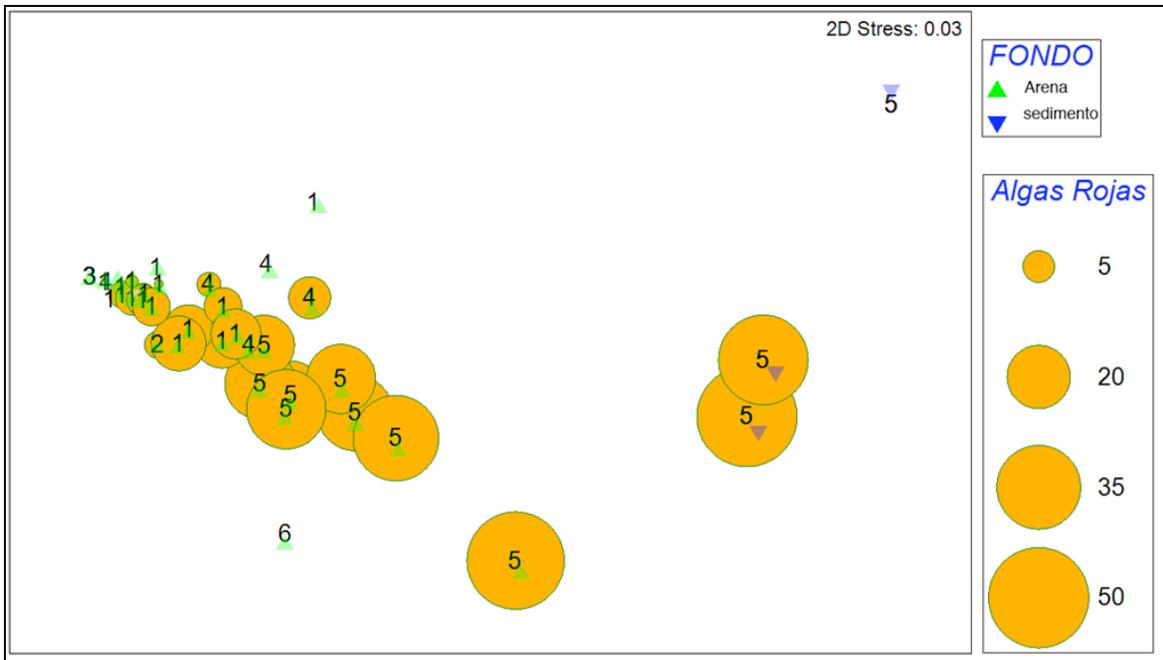


Figura 12.1. Diagrama de escalamiento multidimensional (MDS) los círculos amarillos muestran la asociación de la cobertura relativa de Algas Rojas (%) al tipo de fondo Arena ▲, Sedimento ▼. La separación de los paisajes se encuentra representada con los números del 1 al 6. Presenta un buen ajuste estadístico (estrés de 0.03).

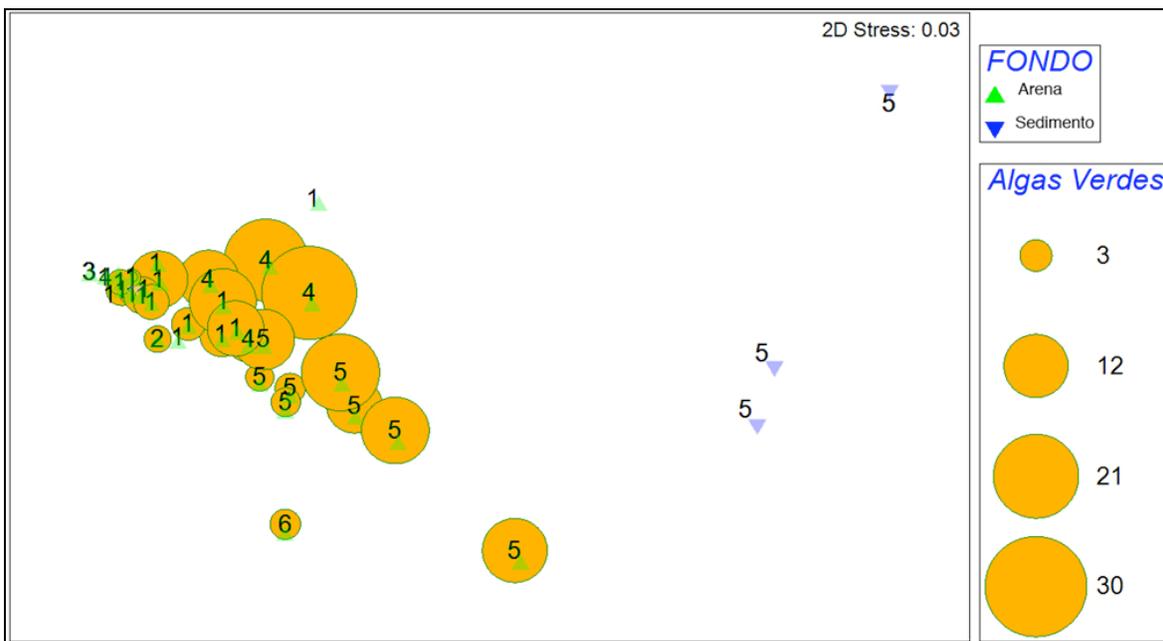


Figura 12.2. Diagrama de escalamiento multidimensional (MDS) los círculos amarillos muestran la asociación de la cobertura relativa de Algas Verdes (%) al tipo de fondo Arena ▲, Sedimento ▼. La separación de los paisajes se encuentra representada con los números del 1 al 6. Presenta un buen ajuste estadístico (estrés de 0.03).

## VI. Discusión:

Se ha reconocido que en el mar existen cambios en las características relacionadas con la heterogeneidad espacial de los sedimentos, tales como las limitaciones de fronteras, la productividad, la disponibilidad de oxígeno y los regímenes hidrodinámicos, por lo que la idea de que es un hábitat sedimentario homogéneo no es correcta. Los factores antes mencionados pueden influir en los patrones de diversidad biológica (Levin *et al.*, 2001). La composición y distribución de especies responden a cambios en los factores ambientales, como la transparencia del agua, exposición solar y precipitación pluvial, causando un cambio en la dominancia de los mayores grupos taxonómicos (Hernández-Guevara y Pech Ardisson, 2007). Otros factores tales como el sustrato y las mareas, determinan así mismo la composición y abundancia de cada comunidad (Dawes, 1986).

En cuanto a los seis paisajes que se describieron, cada uno de ellos permanece estable a través de las tres temporadas climáticas, por lo que la nomenclatura que se asignó a cada paisaje es la correcta, ya que a través de las diferentes temporadas climáticas la cobertura dominante siempre es la misma, aun cuando la proporción en las coberturas bentónicas fluctúa de manera muy importante entre cada temporada. Es decir en el paisaje 1 *Algas rojas con parches de algas verdes sobre arena* y paisaje 5 *Algas rojas con parches de algas verdes sobre sedimento blando*, la cobertura de algas rojas siempre predomina sobre la de algas verdes, en el paisaje 2 *Algas filamentosas/pardas sobre arena*, las algas pardas predominan sobre el resto de las coberturas, en el paisaje 4 *Algas verdes sobre arena*, la cobertura de algas verdes predomina sobre el resto y en el paisaje 6 *Algas*

*filamentosas/pardas con parches de algas verdes sobre arena*, las algas filamentosas/pardas predominan sobre las algas verdes.

Al analizar las coberturas bentónicas de los seis paisajes en las distintas temporadas climáticas, se encontró que aunque existe una alta similaridad entre paisajes, existen diferencias significativas. Esto se definió mediante una prueba de ANOSIM. Los dos factores más importantes relacionados a la homogeneidad de los paisajes son el tipo de sustrato predominante (arena, sedimento suave –lodo- o pavimento calcáreo) y la ligera pendiente (en 40km desde la orilla hasta la estación más profunda, el fondo solo descende 20 metros), teniendo como características la falta de accidentes o aspectos topográficos y de rugosidad. Ya que como explica Simpson (1964) en la teoría de heterogeneidad espacial, entre “más heterogéneo y complejo sea el medio físico (topográfico), se volverá más compleja y diversa la flora y la fauna”. Esta similaridad entre paisajes y su relación con el tipo de fondo se ilustra en los diagramas del análisis MDS (figuras 10.1, 10.2-11.1, 11.2-12.1, 12.2), en los cuales se pueden apreciar gradientes de cambio en las coberturas asociados a la distribución de los tipos de fondo.

El cambio de las coberturas bentónicas observado en cada paisaje, a través de las temporadas climáticas, podría deberse a fluctuaciones en los diferentes factores ambientales, como la concentración de nutrientes, la concentración de oxígeno, las corrientes, turbidez, viento y oleaje y temperatura, como se ha propuesto anteriormente en este tipo de ambientes (Bromley, 1996; Olenin, 1997; Coleman *et al.*, 2007). Las diferencias significativas encontradas en las coberturas bentónicas se dan entre las temporadas de nortes-secas y lluvias-nortes.

En la temporada de secas las precipitaciones son escasas y existe una mayor incidencia solar, un aumento en la temperatura superficial del mar y en la temperatura ambiental, y un decremento en la intensidad del viento. Al disminuir la intensidad de los vientos el oleaje es menor, y esto a su vez causa que los sedimentos se asienten y por lo tanto disminuye la turbidez del agua. Una incidencia solar mayor permite que los rayos solares penetren hasta el fondo, de esta manera resulta más eficiente la realización de la fotosíntesis, y así la proliferación de algas. Durante esta temporada se observa una mayor cantidad de algas rojas (26-40%), las cuales se asocian al tipo de fondo sedimento (figuras 10-12).

En la temporada de lluvias ocurre un aumento en la precipitación y nubosidad, disminuyendo la temperatura del agua al disminuir la incidencia solar. Asimismo en la península de Yucatán durante esta temporada se produce una surgencia costera producida por el afloramiento de agua relativamente más fría, de 22.5°C al norte de la península, esta surgencia se da por el paso de la Corriente del Caribe a través del Canal de Yucatán, debido a las características fisiográficas del canal, la Corriente del Caribe aumenta su velocidad a más de 2 m/s, mientras que la columna de agua es sometida a cambios de presión hidrostática que producen un ascenso de agua subsuperficial con temperaturas más frías en relación a las circundantes, así como ricas en nutrientes (Salmerón García y Aguirre Gómez, 2003). Durante esta temporada se observa una dominancia de los grupo de algas verdes y algas calcáreas articuladas mostrando una asociación con el tipo de fondo arena (figuras 10-12), esto puede ser debido a sus estructuras de fijación al substrato, las cuales son sistemas de rizoides que se entierran en la arena, los tallos son calcificados, lo que les da cierta rigidez y les permite mantener una posición erecta en la columna de agua y su

crecimiento es unitario como es el caso de los géneros *Penicillus* y *Udotea*. Luning (1990) señala que las algas calcáreas articuladas, en particular el género *Halimeda* depositan CaCO<sub>3</sub>, en forma de aragonita en la superficie de sus tallos y estos con el tiempo contribuyen a incrementar el sustrato. Littler *et al.*, (1983) observaron que las especies calcáreas y articuladas son más resistentes al pastoreo por peces que las especies laminares y filamentosas. Este grupo de algas, podría estar relacionada a la presencia de corales.

En 1969, Logan describió que los restos de aragonita que son secretados por el género *Halimeda* son un componente importante de la plataforma y los sedimentos del área. En el caso particular del tapete Progreso, los restos de *Halimeda* son uno de los principales componentes de los sedimentos al formar el 9% del total sedimentario. Las coquinas presentes en el tapete Progreso comúnmente contienen grandes cantidades de fragmentos o segmentos completos del género.

En la temporada de lluvias también los pastos marinos están mejor representados y se observan asociados al tipo de fondo arena (figuras 10-12). Los pastos crecen en áreas poco profundas donde hay buena luz solar y corriente de agua moderada, son comunes en los fondos arenosos o lodosos. Los pastos son productores primarios y proveen sustancias para muchos organismos. En sus praderas se reproducen y crían peces arrecifales y pelágicos, moluscos, langostas y otras criaturas. (Mateo-cid *et al.*, 1996, <http://www.icmyl.unam.mx/arrecifes/seagrass.html>).

La temporada de nortes trae consigo cambios muy evidentes en las coberturas bentónicas, mostrando una disminución significativa en la proporción de algas presentes. Durante esta temporada, en la Península de Yucatán, se producen fuertes vientos (hasta 120km/h) que traen como consecuencia un incremento en el oleaje e importantes cambios en los factores

físicoquímicos, como la sedimentación de materia orgánica, resuspensión de sedimentos y por consecuencia un incremento en la turbidez del agua. Por una parte, el incremento en la energía del oleaje y las marejadas, provoca que las algas, que presentan un débil anclaje en los sedimentos no consolidados, sean desprendidas y desplazadas, siendo frecuente la acumulación de algas muertas en las playas de la región durante esta temporada. Por otra parte, la turbidez afecta de manera negativa la penetración de la luz solar en la columna de agua, disminuyendo la intensidad de la luz disponible para la fotosíntesis de las algas en el fondo (Tunnell, 1988; Herrera-Silveira, 1996; Orduña-Rojas y Robledo, 2002; Gonnee *et al.*, 2004).

El balance en la cantidad y calidad de luz disponible en el fondo parece ser el factor más importante en la variabilidad de comunidades bentónicas. Estudios recientes han reportado la aparición recurrente de florecimientos de algas en la costa de Yucatán causada por el incremento en los nutrientes disueltos en la columna de agua (Ghinaglia *et al.*, 2004; Aranda-Cirerol *et al.*, 2006). Sin embargo, la distribución de las algas marinas podría ser afectada por diferencias de la incidencia lumínica, la cual se modifica con la profundidad, (Collado *et al.*, 1995). Las algas constituyen la base de la cadena alimenticia en el mar; son un recurso trófico importante para las comunidades de invertebrados y peces, e incluso pueden controlar significativamente su composición y abundancia (Meyer, 1987).

Las especies de corales duros ó escleractínios registradas en el presente estudio (*Siderea siderea*, *Siderastrea radians*, *Solenastrea hyades*, *Stephanocoenia mechelinni*, *Solenastrea bournoni*) no tienen un papel estadísticamente importante en términos de cobertura (0.20-1.70%), sin embargo constituyen una elemento importante en la estructura del paisaje,

proporcionando complejidad topográfica al fondo y refugio a organismos vágiles. Se observó que los corales se asocian principalmente a fondos de roca y arena (figuras 10-12). Las especies registradas están adaptadas a altas tasas de sedimentación y fluctuaciones en temperatura, lo que se puede observar en su tipo de crecimiento columnar y el tamaño de sus pólipos. Para que los corales se encuentren presentes deben existir condiciones ecológicas optimas, como un buen movimiento de agua y por lo tanto buenas condiciones para intercambiar gases (especialmente el oxígeno), minerales disueltos con el medio, iluminación suficiente para la fotosíntesis de sus simbioses durante el día y abundante plancton para aprovechar en la noche, (Wedler, 1989). En el caso de nuestras especies coralinas, un factor indispensable es la existencia de substrato de pavimento calcáreo para una óptima fijación. Se observó que en fondos arenosos, aunque el asentamiento y crecimiento inicial de algunas colonias puede ser exitoso, estas colonias eventualmente llegan a ser sepultadas por el movimiento de sedimento o removidas de su lugar de asentamiento por la falta de una fijación a un substrato óptimo.

En cuanto a algunos de los métodos utilizados en este trabajo, presentan ventajas y desventajas, tal como sucede en el método del video-transecto, la ventaja que presenta es que se pueden obtener registros permanentes de cada transecto y se reduce el tiempo de colecta. Además, es un método no destructivo que permite analizar comunidades bentónicas sin necesidad de colocar marcadores permanentes en el ambiente o realizar colectas de organismos y satisface varios de los requerimientos necesarios para establecer un sistema de monitoreo, ya que provee medidas cuantitativas de cambios temporales en las comunidades bentónicas (Aronson y Swanson, 1997; Carleton y Done, 1995; Osborne y Oxley, 1997). Como desventajas presenta una precisión taxonómica más baja que la colecta

e identificación por claves, la calidad y resolución de las imágenes pueden algunas veces no reflejar adecuadamente la complejidad del sustrato y su rugosidad (Osborne y Oxley, 1997).

En cuanto al diseño de muestreo estratificado al azar, se consideró como el más adecuado para la zona, dada la relativa homogeneidad del fondo y la pendiente, el tipo de información a recabar y los recursos disponibles. Las estaciones de muestreo identificadas a partir de este diseño se monitorearon cada temporada, sin embargo las dificultades logísticas como el estado del tiempo, la turbidez, oleaje y la velocidad de la corriente, aunados a algunos desperfectos en el equipo, no permitieron el monitoreo de los mismos transectos cada vez, no obstante en general se muestrearon zonas muy cercanas en el rango de decenas de metros a las estaciones originales.

### Recomendaciones

En el caso particular del muestreo realizado en este tipo de ambientes donde la visibilidad es muy escasa por la turbidez del agua, se recomienda usar filtros especiales para la cámara con la cual se realiza la filmación de los video-transectos, con el fin de no perder los detalles de color, ya que esto puede causar conflictos a la hora de analizar los videos y confusión al identificar las algas.

Se recomienda realizar los video-transectos a una velocidad moderada constante, para obtener un video más nítido y lograr la identificación adecuada de los grupos.

Al finalizar la filmación de cada video-transecto se recomienda hacer anotaciones de lo observado, con el fin de corroborar lo que se observa al analizar el video, con los datos tomados en campo.

Para la realización de estudios futuros, se recomienda tomar muestras del substrato donde se realizan los video-transectos con el fin de analizarlo en el laboratorio y saber con exactitud su composición, esto a su vez facilitara la asociación precisa de la cobertura bentónica con el tipo de fondo. Se recomienda también tomar muestras de agua, ya que de esta manera se puede determinar la concentración salina presente y con esto analizar si tiene algún efecto en la presencia de algún grupo de organismos bentónicos.

## VII. Conclusiones:

El presente estudio descriptivo de los paisajes submarinos del litoral de Sisal Yucatán, fue llevado a cabo en un área muy homogénea en sus características ambientales; se lograron determinar 6 paisajes con una similaridad mínima del 40% con base en las diferencias que presentan las coberturas bentónicas a través de las temporadas climáticas. Los factores constantes que definen la distribución espacial similar de los paisajes a través del año son el substrato y la profundidad. El substrato puede presentar mezclas en proporciones variables de cobertura y profundidad de sedimentos finos (lodos), arena y pavimento calcáreo, sobre los cuales se asientan las coberturas bentónicas, las cuales fluctúan en respuesta a las variaciones de temperatura, luz, intensidad de precipitaciones pluviales y vientos e hidrodinámica asociadas a cada temporada climática.

La profundidad influye en la distribución y abundancia de las coberturas; a medida que incrementa atenúa los efectos del viento y oleaje permitiendo comunidades más estables y el efecto de la absorción de la luz en la columna de agua limita la cantidad y calidad de luz que llega al fondo.

La identificación de seis paisajes submarinos permanentes o constantes en el litoral de Sisal, Yucatán y su caracterización en términos de cobertura de grupos morfo-funcionales a través de las temporadas climáticas, constituyen avances importantes en el conocimiento de esta zona del Banco de Campeche y del estado de Yucatán, en donde la información biológica, ecológica y ambiental en general es muy escasa. Este estudio brinda información básica para estudios posteriores y sirve de apoyo para las decisiones en la implementación de futuras estrategias de manejo.

## VIII. Referencias:

- Acosta-González G. 2005. *Caracterización de dos arrecifes de la Península de Yucatán: hacia el desarrollo de los sistemas de información geográfica*. Tesis de Maestría. CINVESTAV-IPN, unidad Mérida.
- Aranda-Cirerol N, JA Herrera-Silveira, FA Comin. 2006. *Nutrient water quality in a tropical coastal zone with groundwater discharge, northwest Yucatan, Mexico*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, (68): 445–454 .
- Aronson RB, DW Swanson. 1997. *Video survey of coral reefs: uni and multivariate applications*. En: Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium, (2):1141-1146.
- Bernardino Cúcio A. 2007. *Descripción de las comunidades de coral de los arrecifes de Sisal, Banco de Campeche, México*. Tesis de licenciatura en biología. Unidad Multidisciplinaria en Docencia e Investigación-UNAM
- Birkeland C. 1987. *Comparison between Atlantic and Pacific tropical marine coastal ecosystems: community structure*. Ecological processes and productivity. UNESCO Rep Mar Sci 46
- Butterlin J. 1958. *Reconocimiento geológico preliminar del territorio de Quintana Roo*, Boletín de la Asociación Mexicana de Geología Petrolera, México, vol. X (9-10):531-570 pp.
- Britton JC, BC Morton. 1989. *Shore ecology of the Gulf of Mexico*. University of Texas Press, Texas. 387 pp.
- Bromley RG. 1996. *Trace Fossils : Biology, Taphonomy and Applications*. Second edition. Chapman and Hall, London.
- Brown BE. 1987. *Worldwide death of corals natural cyclical events or man-made pollution?* Mar. Poll. Bull, (18):9-13.
- Capurro L, JE y J Herrera. 2002 Avance y Perspectiva vol. 21. *Manejo sustentable del ecosistema costero de Yucatán*. [En línea]<http://eclipse.red.cinvestav.mx/publicaciones/avayper/julago02/Capurro.pdf>; consultado el 19 de Mayo 2010.
- Carleton HJ, TJ Done. 1995. *Quantitative video sampling of coral reef benthos: large-scale application*. Coral Reefs, (14):35-46.
- Carricart-Ganivet JP, A Beltrán Torres. 1997. *Lista de corales pétreos (Hydrozoa: Milleporina, Stylasterina, Antozhoa: Scleractinia) de aguas someras del banco de Campeche, México*. Revista de Biología Tropical, (44):619-622 pp.

Coleman, N, W Cuff, J Moverley, ASH Gason., S Heislars. 2007. *Depth, sediment type, biogeography and high species richness in shallow-water benthos*. Mar.Freshwater Res, (58):293–305 pp.

Collado VL, J González, GE Ezcurra. 1995. *Patrones de distribución ficoflorística en el sistema lagunar de Nichupté, Quintana Roo, México*. Act. Bot. Mex, (31): 19-32 pp.

Chiapyy C, L Gama y L Giddings. 1999. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. No. 42, 2000.28-39 pp. *Evaluation of the Landscape conservation of the Yucatán peninsula using a GIS*. Colorado, USA. [En línea] <http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/.../b42art2.pdf>; Consultada 1 de Julio 2010.

Clarke KR, RH Green. 1988. *Statistical design and analysis for a 'biological effects' study*. Maine Ecology .46: 213-226.

Clarke K, R Warwick. 2001. *Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation*. 2<sup>nd</sup> edition. PRIMER-E:Plymouth.Unit Kingdom.5-1 to 5-12, 6-3 to 6-7, 7-1 to 7-4pp.

Clarke K, R Gorley. 2006. *PRIMER V6: User Manual/Tutorial*. PRIMER-E: Plymouth.Unit Kingdom 8pp.

Dawes CI. 1986. *Botánica marina*. Ed. Limusa México, D.F. 673 pp.

Distribución de las especies marinas a nivel mundial. 1. *clasificación del entorno marino* [En línea] <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r24117.DOC>; consultada el 12 de Septiembre 2009.

Duch GJ. 1988. *La conformación territorial del estado de Yucatán. Los componentes del medio físico*. Universidad Autónoma Chapingo, México.

Duch GJ. 1991. *Fisiografía del estado de Yucatán*. México, Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional de la Península de Yucatán, División de Ciencias Forestales, México.

Environmental Protection Agency. 2002. *Guidance on Choosing a Sampling Design for Environmental Data Collection*. Washington, DC 20460

Flores JS, Espejel. 1994. *Tipos de vegetación de la península de Yucatán, Etnoflora yucatanense*. Universidad Autónoma de Yucatán, México. 31-35 pp.

Fuentes-Yaco CD, AS de Leon, MA Monreal-Gomez, F Vera-Herrera. 2001. *Environmental forcing in a tropical estuarine ecosystem: the Palizada River in the southern Gulf of Mexico*. Marine and Freshwater Research, (52): 735–744 pp.

- Garza Pérez JR. 1999. *Análisis comparativo de cuatro comunidades coralinas arrecifales del Caribe mexicano*. Tesis de maestría. CINVESTAV-IPN, unidad Mérida
- Garza Pérez JR. 2004. *Información y Manejo para la Protección de la Biodiversidad de la Barrera Arrecifal de México: Evaluación de variables, Modelación Espacial del Hábitat y SIG*. Tesis de Doctorado. CINVESTAV-IPN, unidad Mérida.
- Garza-Pérez JR, A Lehmann, JE Arias-González. 2004. *Spatial prediction of coral reef habitats: integrating ecology with spatial modeling and remote sensing*. Marine Ecology Progress Series. 269: 141–152
- Ginsburg RN. (Compiler). 1994. *Global Aspects of coral reefs: health, hazards and history. Proceedings of a colloquium. Rosensteil School of Marine and Atmospheric Science*. University of Miami, June 10-11.420 pp.
- Gonneea ME, A Paytan, JA Herrera-Silveira. 2004. *Tracing organic matter sources and carbon burial in mangrove sediments over the past 160 years*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, (61): 211–227 pp.
- Ghinaglia LT, JA Herrera-Silveira, FA Comin. 2004. *Structural variations of phytoplankton in the coastal seas of Yucatan, Mexico*. Hidrobiología, (519): 85–102 pp.
- Greenacre MJ. 1984. *Theory and Applications of Correspondence Analysis*. Academic Press, London. 37–41 pp.
- Hernández-Landa RC. 2004. *Variación espacial de la cobertura de corales escleractineos y descripción de condición arrecifal a lo largo del Caribe mexicano y un arrecife del Banco de Campeche*. Tesis de Maestría. CINVESTAV, Unidad Mérida-IPN. 108 pp.
- Hernández-Guevara ND, P Pech Ardisson. 2008. *Temporal trends in benthic macrofauna composition in response to seasonal variation in a tropical coastal lagoon, Celestun, Gulf of Mexico*. Marine and Freshwater Research, 2008, (59):772–779 pp.
- Herrera-Silveira JA. 1996. *Salinity and nutrients in a tropical coastal lagoon with groundwater discharges to the Gulf of Mexico*. Hydrobiologia, 321, (2):165–176 pp.
- Hughes TP. 1994. *Catastrophes, phase shifts and large scale degradation of a Caribbean coral reef*. Science, (265):1547-1551 pp.
- Humann P. 2002. *Coral reef identification. Florida Caribbean Bahamas including marine plants*. New World Publications, Inc. Jacksonville, Florida
- Humann P. 2003. *Reef creature identification*. New World Publications, Inc. Jacksonville, Florida
- Kruskal JB, Wish M. 1978. *Multidimensional Scaling*. Quantitative Applications in the Social Sciences. Newbury Park, CA. 07-011

- Legendre P, L Legendre. 1998. *Numerical Ecology*. 2nd edition, English. Elsevier Science, Amsterdam. 285-288 pp.
- Levin LA, RJ Etter, MA Rex, AJ Gooday, CR Smith, J Pineda, CT Stuart, RR Hessler, D Pawson. 2001. *Environmental influences on regional deep-sea species diversity*. Ann. Rev. Ecology. Syst, (32): 51–93.
- Littler MM, DS Littler y PR Taylor. 1983. *Evolutionary strategies in a tropical barrier reef system: functional-form groups of marine macroalgae*. J. Phycol, 19: 229-237 pp.
- Logan W. 1969. *Carbonate sediments and Reefs, Yucatán Shelf, Mexico*. George Banta company, INC. Menasha, Wisconsin. 36-41 pp.
- Lüning K. 1990. *Seaweeds: Their environment, biogeography, and ecophysiology*. Wiley, New York.
- Madsen T. (Ed.). 1988. *Multivariate Analysis in Scandinavian Archaeology*. Jutland Archaeological Society Publications, vol. 21. Aarhus University Press, Aarhus. 11–13 pp.
- Mantel, N. A. 1967. The detection of disease clustering and a generalized regression approach. Cancer Res. 27: 209 - 220.
- Mateo Cid LE, AC Mendoza González, C Galicia García. 1996. Acta Botánica Mexicana. *Algas marinas de Isla Verde, Veracruz, México*. (36): 59-75 pp. [En línea] [http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/resumenes/ABM/ABM.36.1996/acta36\(59-75\).pdf](http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/resumenes/ABM/ABM.36.1996/acta36(59-75).pdf); consultada el 5 de Julio 2010.
- Membrillo-Venegas N. 1999. *Descripción de los paisajes arrecifales en la laguna del Arrecife Alacranes, Yucatán, México*. Tesis de Maestría. CINVESTAV, Unidad Mérida-IPN. 119 pp.
- Meyer BG. 1987. Gestión y Ambiente Vol 12, No 2. *Taxonomic and Ecology studies of a subtidal sand plain macroalgal community in the Colombian Caribbean*. Tesis de Ph. D., Coll. Mar. Atud., Univ, Delaware, Newark, USA. [En línea] <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/index>; Consultada el 5 de Mayo 2010.
- Miranda F. 1959. *La vegetación de la península de Yucatán*. En Beltrán, E. (ed.), Los recursos naturales del sureste y su aprovechamiento, Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, México, (2):215-276 pp.
- Mumby PJ, R Alastair, Harborne. 1998. *Development of a systematic classification scheme of marine habitats to facilitate regional management and mapping of Caribbean coral reefs*. Biological Conservation .(88):155-163

- McGarigal K, BJ Marks. 1995. *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*. Forest Science Department, Oregon State University, Corvallis. 132 pp.
- Olenin S. 1997. *Benthic zonation of the Eastern Gotland Basin*. Netherlands Journal of Aquatic Ecology. 30(4: 265-282).
- Orduna-Rojas J, D Robledo. 2002. *Studies on the tropical agarophyte Gracilaria cornea J. Agardh (Rhodophyta, Gracilariales) from Yucatan, Mexico. II. Biomass assessment and reproductive phenology*. Botanica Marina, (45): 459–464 pp.
- Osborne KW, G Oxley. 1997. *Sampling benthic communities using video transects*. En: S. English, C. Wilkinson y V. Baker. (Eds.). Survey Manual For Tropical Marine Resources. Australian Institute of Marine Science. Townsville. 363-376 pp.
- Pech, D, PL Ardisson, NA Hernández-Guevara. 2007. *Benthic community response to habitat variation: a case of study from a natural protected area, the Celestun coastal lagoon*. Continental Shelf Research, 27:2523–2533 pp.
- Ríos LGV, MC Zetina., CK Cervera, AR Mena, EF Chablé. 1998. *La pesquería de langosta espinosa Panulirus argus en la costa de Yucatán. Contribuciones de Investigación Pesquera*. Centro Regional de Investigaciones Pesqueras Yucalpetén. INP. SEMARNAP. Documento Técnico 6. 1–36 pp.
- Rzedowski J. 1978. *Vegetación de México*, Limusa, México.
- Salmerón García, O. y R. Aguirre Gómez. 2003. *Estudio espacio-temporal de la Surgencia de Yucatán y Banco de Campeche, México; a través de imágenes Seaswif, 1999-2000*. GEOS, Vol. 23, No. 2. México
- Simpson GG. 1964. *Species density of North American recent mammals*. Syst. Zool. 13, 57–73 pp.
- Scullion Littler D, MM Littler, JN Norris. 1989. *Marine Plants of the Caribbean. A Field Guide from Florida to Brazil*. Smithsonian institution press. Washington, D.C.19-133 pp.
- Shennan, S. 1997. *Quantifying Archaeology*. 2nd edition. Edinburgh University Press, Edinburgh. 313–315 pp.
- Tan, Steinbach, Kumar. 2004. *Data Mining Cluster Analysis: Basic Concepts and Algorithms*.
- Ter Braak, C.J.F. & P. Smilauer. 1998. CANOCO for Windows. v. 4.5. Computer program. Centre for Biometry, Wageningen, Netherlands.
- Tunnell JR. Jr. 1988. *Regional comparison of southwestern Gulf of Mexico to Caribbean Sea coral reefs*. Proceedings of the Sixth International Coral Reef Symposium, (3):303-308pp.

Turner MG, RH Gardner, RV O'Neill. 2001. *Landscape ecology in theory and practice: pattern and process*. Springer Ed. New York, E.U.A.

Unidad de Sistemas Arrecifales, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. *Pastos marinos*. [En línea] <http://www.icmyl.unam.mx/arrecifes/seagrass.html>; consultada el 4 de Junio 2010.

Wedler E, R Alvarez-León. 1989. *Estructura de una sección del arrecife coralino en la Playa del Muerto (Bahía de Nenguange, Caribe Colombiano)*. Caribbean Journal of Science.25 (3-4), 203-217.