UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR

ÁREA INTERDISCIPLINARIA DE RECURSOS DEL MAR

DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA MARINA

Tesis de Licenciatura

CARACTERIZACIÓN BENTÓNICA DE LA PORCIÓN CENTRAL DE LA COSTA DE YUCATÁN (DE DZILAM DE BRAVO A IXIL), MÉXICO.

Que como requisito para obtener el título de

BIÓLOGO MARINO

Presenta:

Consuelo Díaz Aguilar

Director:

Dr. Miguel Ángel Ruiz Zárate

La Paz, Baja California Sur; Diciembre, 2012.

UABCS

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE BIOLOGÍA MARINA
ÁREA DE CONOCIMIENTO DE CIENCIAS DEL MAR

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR
comprometidos con la comunidad

Fecha: 22 Noviembre 2012.

M. EN C. ENRIQUE ALEJANDRO GÓMEZ GALLARDO UNZUETA,
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE BIOLOGÍA MARINA,
PRESENTE.

Los abajo firmantes, Miembros de la Comisión Revisora del **TRABAJO DE TESIS TERMINADO** titulado: **"CARACTERIZACIÓN BENTÓNICA DE LA PORCIÓN CENTRAL DE LA COSTA DE YUCATÁN (DE DZILAM DE BRAVO A IXIL), MÉXICO"**; que presenta el (la) pasante de la Carrera de Biólogo Marino ***C. CONSUELO DÍAZ AGUILAR,*** comunicamos a usted, que otorgamos nuestro **voto aprobatorio** y consideramos que dicho trabajo está listo para su defensa a fin de obtener el título de Biólogo Marino.

Sergio Fco. Flores Ramírez		PRESIDENTE
Nombre Completo	Firma	
Héctor Reyes Bonilla	Héctor Reyes Bonilla	SECRETARIO
Nombre Completo	Firma	
Dr. Miguel Ángel Ruiz Zárate		VOCAL
Nombre Completo	Firma	
Dr. Miguel Ángel Ruiz Zárate		DIRECTOR DE TESIS
Nombre Completo	Firma	

C.c.p. Dirección de Servicios Escolares.
C.c.p. Interesado
C.c.p. Archivo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA SUR
RECIBIDO
22 NOV 2012
DEPTO DE BIOLOGÍA MARINA
FIRMA _____ HORA _____

Carretera al Sur Km. 5.5
La Paz, BCS.

Conmutador: 01 612 12 388 00 Ext. 4100
Fax Directo: 01 (612) 12 388 19
E-mail: biolmar@uabcs.mx

Apartado postal 19-B
Código postal 23080

Con amor para mi Madre†, Padre y Hermanas.

AGRADECIMIENTOS

A CONACYT y FOMIX por financiamiento del Proyecto Caracterización integral del fondo marino costero del estado de Yucatán: estratigrafía, micro relieve y comunidades bentónicas, del cual forma parte este trabajo.

A mis asesores de tesis, Miguel Ángel Ruiz Zarate, Sergio Francisco Flores Ramírez, Hector Reyes Bonilla y Eduardo Amir Cuevas Flores por su ayuda y valiosos consejos durante el desarrollo de mi tesis y a la Dra. María de los Ángeles Liceaga Correa por su soporte e incentivos para continuar.

Agradezco a mis compañeros del laboratorio de Percepción Remota y SIG (CINVESTAV Mérida), Lupita Mexicano, Héctor Hernández, Betzabeth Palafox, Leonardo Arellano y Luis Rincón Sandoval, por su apoyo y una bonita convivencia durante estos años.

Al Dr. Carlos González Salas por sus concejos.

Especial agradecimiento al M.C. Alberto Rosado Espinosa por apoyo en la identificación de algas bentónicas, y trabajo en campo.

A mis amigos y estudiantes de la UADY, Ángel Chan, Sandra Gallegos, Jorge Trujillo, Jennifer Sauri y Jorge Peniche, por el apoyo en el trabajo de campo y por los momentos divertidos.

A mis amigos que siempre me motivaron a seguir adelante.

A Emiliano por su apoyo incondicional.

RESUMEN

Yucatán cuenta con una amplia zona de litoral con una alta importancia por albergar comunidades bentónicas de interés económico y ecológico que se distribuyen densa y extensamente en el área; sin embargo, aún no se tiene una base de conocimiento solida para la mayor parte de la costa del estado que permita determinar la distribución actual mas allá de los cuatro metros de profundidad. El establecimiento de líneas base sólidas del conocimiento sobre la distribución y variabilidad espacial en la composición y abundancia de estas comunidades, es de importancia crítica y estratégica para su mejor manejo. Dada esta premisa, el presente trabajo tuvo el objetivo de evaluar las características de distribución y cobertura a nivel de grupos morfo-funcionales (GMF) de las comunidades bentónicas del litoral somero (hasta 10 m de profundidad) de la zona centro del estado de Yucatán (de Dzilam de Bravo a Ixil). Para la evaluación de las comunidades bentónicas se adoptó una aproximación que incluyó técnicas de caracterización ecológica visuales (transectos de video) para la obtención de datos sobre cobertura y distribución de los grupos, los cuales se analizaron con técnicas estadísticas multivariadas, y se emplearon herramientas de análisis espacial e integración como son la geoestadística y los sistemas de información geográfica para la evaluación y representación de atributos espaciales de estas comunidades en el área de estudio. Se generaron mapas de distribución espacial y abundancia de 12 GMF. Se describió un total de cuatro tipos de fondo diferentes en el área, conformados por diferentes niveles de asociación entre los GMF, de los cuales el de mayor extensión de cobertura fue césped algal. Se encontró una diferenciación espacial en la distribución de los diferentes tipos de fondo en el área de estudio, permitiendo distinguir una zonificación con base en la batimetría del área. Los resultados presentados se consolidan como una línea de base sólida y clara para monitoreos y evaluaciones posteriores de los ecosistemas bentónicos localizados en esta región, facilitando su seguimiento a través de la integración de herramientas estándar como los sistemas de información geográfica.

ÍNDICE

RESUMEN ..... **i**
ÍNDICE ..... **ii**
LISTA DE FIGURAS ..... **iii**
LISTA DE TABLAS ..... **v**
INTRODUCCIÓN **1**
ANTECEDENTES **2**
Flora bentónica (macroalgas y pastos marinos) 3
Fauna bentónica 8
Clasificación: mapas temáticos 9
Análisis geoestadísticos 11
Transectos de Video 13
JUSTIFICACIÓN **14**
OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICO **15**
MATERIALES y MÉTODO **16**
Área de estudio 16
Diseño de Muestreo 18
Trabajo de campo 21
Trabajo en gabinete 21
- Edición de videos 21
- Determinación del esfuerzo mínimo de muestreo 21
- Análisis de trasectos de video 23
- Análisis estadísticos 24
  - Atributos de las comunidades bentónicas 24
  - Análisis multivariado (estructura de las comunidades bentónicas) 25
  - Análisis Geoestadísticos 28

RESULTADOS **31**
Determinación del esfuerzo mínimo de muestreo 31
Atributos de las comunidades bentónicas 33
Análisis multivariados 42
Análisis Geoestadísticos 49
DISCUSIONES **52**
Diseño de Muestreo 52
Muestreo con videos submarinos 53
Determinación del esfuerzo mínimo de muestreo 53
Descripción de los componentes bentónicos 55
Componentes vivos 56
Componentes no vivos 63
Estructura de las comunidades bentónicas 64
Análisis Geoestadísticos 69
CONCLUSIONES **71**
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS **72**
ANEXO **82**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Polígono que delimita el área de estudio en la porción central de la costa del estado de Yucatán. Unidades geográficas en UTM……..17

Figura 2. Imagen clasificada con el método no supervisado k medias y distribución de las 129 estaciones visitadas en campo. Unidades geográficas UTM…….....…….19

Figura 3. Representación esquemática del diseño usado para determinar el tamaño de muestra mínimo en la zona de estudio……..22

Figura 4. Frecuencia acumulada de los GMF en función del número de cuadros revisados (50) del transecto de video 1. La línea amarilla indica el número de cuadros (28) en el que se alcanzó a observar la mayoría de los GMF (10, indicados con *), utilizando 20 puntos por cuadro…….....….....….....…31

Figura 5. Frecuencia acumulada de los GMF en función del número de cuadros revisados (60) del transecto de video 2. La línea amarilla indica el número de cuadros (22) en el que se alcanzó a observar la mayoría de los GMF (10, indicados con *) utilizando 15 puntos por cuadro.…….....….....…32

Figura 6. Mapa de distribución espacial y cobertura de algas cafés. El tamaño de los círculos corresponde a los rangos de porcentaje de cobertura mostrados en la leyenda…...34

Figura 7. Mapa de distribución espacial y cobertura de algas rojas. El tamaño de los círculos corresponde a los rangos de porcentaje de cobertura mostrados en la leyenda…...35

Figura 8. Mapa de distribución espacial y cobertura de algas verdes. El tamaño de los círculos corresponde a los rangos de porcentaje de cobertura mostrados en la leyenda…...36

Figura 9. Mapa de distribución espacial y cobertura de pastos marinos. El tamaño de los círculos corresponde a los rangos de porcentaje de cobertura mostrados en la leyenda…...36

Figura 10. Mapa de distribución espacial y cobertura de césped algal. El tamaño de los círculos corresponde a los rangos de porcentaje de cobertura mostrados en la leyenda…...37

Figura 11. Mapa de distribución espacial y cobertura de pavimento o laja. El tamaño de los círculos corresponde a los rangos de porcentaje de cobertura mostrados en la leyenda..….38

Figura 12. Mapa de distribución espacial y cobertura de arena. El tamaño de los círculos corresponde a los rangos de porcentaje de cobertura mostrados en la leyenda……39

Figura 13. Mapa de distribución espacial y cobertura de Escombro. El tamaño de los círculos corresponde a los rangos de porcentaje de cobertura mostrados en la leyenda…...39

Figura 14. Mapa de distribución espacial y cobertura de coral blando (A), coral duro (B), esponjas (C) y Equinodermos (D). El tamaño de los círculos corresponde a los rangos de porcentaje de cobertura mostrados en la leyenda……..41

Figura 15. A) Dendrograma obtenido del análisis de agrupamiento con el método de grupo promedio y B) Escalamiento multidimencional no métrico (MDS, por sus siglas en ingles). Ambos obtenidos de una matriz de similitud de Bray- Curtis. Note que el corte a 52 (línea roja en el dendrograma) forma cinco grupos (descritos en la Tabla 4) que son identificados con líneas punteadas grises en el gráfico derivado del MDS……...42

Figura 16. Ubicación de los sitios clasificados en base al análisis de agrupamiento jerárquico. Unidades geográficas UTM……48

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Número de sitios por clase en proporción al área total cubierta en la zona de estudio……...18

Tabla 2. Grupos morfo-funcionales (GMF) definidos para la cuantificación de coberturas en los videos subacuáticos. * = No forman parte del bentos……23

Tabla 3. Número total de puntos (N), porcentaje de cobertura (N %), riqueza (S= es el número de sitios en los que se presentó el GMF) y porcentaje de sitios (%S) por GMF para el área de estudio……..…….33

Tabla 4. Grupos de sitios, definidos a partir del análisis de conglomerados y MDS…....43

Tabla 5. Desglose de similitud promedio para cada GMF de la clase o grupo A. Similitud promedio total = 87.92 %. Sim. =similitud promedio, D.E. = desviación estándar de la similitud…….44

Tabla 6. Desglose de similitud promedio para cada GMF de la clase o grupo B. Similitud promedio total = 69.05 %. Sim. =similitud promedio, D.E. = desviación estándar de la similitud…….44

Tabla 7. Desglose de similitud promedio para cada GMF de la clase o grupo C-D. Similitud promedio total = 53.78 %. Sim. =similitud promedio, D.E. = desviación estándar de la similitud.....45

Tabla 8. Desglose de similitud promedio para cada GMF de la clase o grupo E. Similitud promedio total = 61.92 %. Sim. =similitud promedio, D.E. = desviación estándar de la similitud.....46

Tabla 9. Parámetros iniciales del análisis geoestadístico, indicando tipo de transformación de los datos (Trans.), medidas de distribución (sesgo y curtosis) y parámetros obtenidos del ajuste de modelos teóricos a los semivariogramas experimentales donde: C0=efecto pepita, C0+C=semivarianza asintótica, A_0= rango o distancia en (m), $C/(C_0+C)$=proporción de la varianza explicada, r^2= coeficiente de determinación y RSS=suma de cuadrados residuales para cada GMF……..……50

Tabla 10.Resultados de coeficiente de determinación de la validación cruzada el error medio (ME) error medio absoluto (MAE), la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y el coefiente de eficiencia (E)…….51

Tablas complementarias de resultados en Anexo

Tabla 11. Abundancia absoluta y relativa (%) de cada GMF por sitio. Prof. = Profundidad; s = Riqueza (número de GMF por sitio); AC=algas cafés; AR= algas rojas; CA=césped algal; AV=algas verdes; CD=coral duro; CB=coral blando; P=pastos; ESP= esponjas;

PAV=pavimento ó laja; ESC=grava y Escombro; ANA= arena; CDV= Cinta de video; OV= otro tipo de vida…….....……..……83

Tabla 12. Desglose de la Disimilitud promedio para cada GMF entre los grupos E y A. Disimilitud promedio total =87.26%. Dis.= Disimilitud promedio, D.E.=desviación estándar de la disimilitud…….....86

Tabla 13. Desglose de la Disimilitud promedio para cada GMF entre las clases E y B. Disimilitud promedio total =86.23%. Dis.= Disimilitud promedio, D.E.=desviación estándar de la disimilitud…….....……..86

Tabla 14. Desglose de la Disimilitud promedio para cada GMF entre las clases A y B. Disimilitud promedio total =89.74%. Dis.= Disimilitud promedio, D.E.=desviación estándar de la disimilitud…….....……..86

Tabla 15. Desglose de la Disimilitud promedio para cada GMF entre las clases E y C-D. Disimilitud promedio total =58.14%. Dis.= Disimilitud promedio, D.E.=desviación estándar de la disimilitud…….....….....……..87

Tabla 16. Desglose de la Disimilitud promedio para cada GMF entre las clases A y C-D. Disimilitud promedio total =89.40%. Dis.= Disimilitud promedio, D.E.=desviación estándar de la disimilitud…….....……87

Tabla 17. Desglose de la Disimilitud promedio para cada GMF entre las clases B y C-D.Disimilitud promedio total =81.89 %. Dis.= Disimilitud promedio, D.E.=desviación estándar de la disimilitud…….....….87

Tabla 18. Taxa por grupo morfo-funcional identificado para la porción central de la costa de Yucatán y autores que han reportado los mismos taxa para la costa de Yucatán……88

INTRODUCCIÓN

La zona costera (*sensu* Vergara, 2011) es una franja territorial en la que se acoplan los ecosistemas marinos con los continentales, y es en donde se desarrollan muchos de los ecosistemas más productivos de los océanos, ya que proporcionan refugio y alimentación a un gran número de especies de importancia comercial y ecológica. En estas zonas, las interacciones bentónicas, tanto de componentes bióticos (flora y fauna) como abióticos (sustrato), influyen sobre el equilibrio ecológico y la biología de los organismos distribuidos en la columna de agua y viceversa (Casco, 2004; Mandden *et al*., 2008).

Las comunidades bentónicas ubicadas en zonas costeras se encuentran entre las más expuestas a la pérdida de biodiversidad por perturbaciones, tanto de origen natural como antropogénico, así que el establecimiento de líneas base que den cuenta de manera fiable y verificable de la variabilidad espacial y temporal de la composición, distribución y abundancia poblacional de las especies en estos ambientes, es un tema de la más alta relevancia para un adecuado manejo y conservación de las zonas litorales en México (Robledo y Freile-Pelegrín,1998; Ardisson y Castillo-Fernández, 2004; Liceaga-Correa *et al*., 2010; Gallegos-Martínez, 2010; Pech y Ardisson, 2010).

Los análisis espaciales de ambientes bentónicos constituyen un conjunto de herramientas que se han sumado a la batería de opciones disponibles para la caracterización y estudio de estos ambientes y, la popularidad del uso de estas herramientas, está ligada a una creciente conciencia entre los ecólogos sobre la importancia de incluir estructuras espaciales a ideas ecológicas, a la alteración del paisaje que nos rodea a un ritmo creciente

y a la disponibilidad de software diseñados específicamente para realizar análisis estadísticos (Fortin y Dale, 2005).

Así que para el análisis sinóptico de comunidades bentónicas distribuidas en grandes áreas resulta benéfico usar técnicas que tengan la cualidad de ser rápidas en su implementación, además de un esfuerzo menor de procesamiento (Green *et al*., 2000; Rogan y Chen 2004; Turner *et al*., 2004; González-Mirelis *et al*., 2009). Por ello en este trabajo se usaron técnicas visuales (transectos de video), y un sistema de información geográfico (SIG), complementados con análisis ecológicos de las comunidades bentónicas, para estudiar un área extensa como es la costa de Yucatán, sentando una línea de base para estudios temporales y ecológicos posteriores.

ANTECEDENTES

El hábitat bentónico se refiere al entorno del fondo marino, el cual tiene distintas características físicas, geoquímicas y biológicas, que pueden variar ampliamente dependiendo de su localidad y profundidad, donde la flora y fauna viven en relación íntima con el fondo marino, desde la zona litoral hasta los abismos y está constituido por una gran diversidad de especies pertenecientes a diversos Phyla (Caso, 2004*;* Peter-Castro y Huber, 2005).

En México, el estudio de las comunidades bentónicas como un sistema integral en la zona litoral es todavía escaso, debido a que, entre otras razones, la mayoría de los estudios de este tipo se centran en bahías y aguas interiores y, generalmente están enfocados en un grupo taxonómico particular (Lara-Lara *et al*., 2008).

En el Golfo de México, de acuerdo con Escobar (2004), los estudios realizados en el siglo XX fueron de naturaleza descriptiva y han permitido la caracterización de ecosistemas costeros principalmente en el sector norte del Golfo de México; los hábitats mejor documentados incluyen la plataforma continental nerítica lodosa, arrecifes de coral o de ostiones, marismas salobres, mangle, pantanos y pastos marinos en lagunas costeras y estuarios. Los estudios en la región sur del Golfo de México se iniciaron en la mitad del siglo XX, principalmente en hábitats someros costeros y arrecifes, de modo local, versando sobre riqueza de especies y sistemática de algunos grupos, permitido una caracterización buena de la estructura comunitaria béntica y clasificación de paisajes bentónicos (Escobar, 2004). En el caso del estado de Yucatán, el número de estudios realizados es de los más escasos en la región (Pech y Ardisson, 2010).

A pesar del esfuerzo realizado para conocer la distribución y diversidad de especies del bentos, aun no se tiene una base de conocimiento sólida que permita determinar su condición actual en varias regiones del estado de Yucatán, donde la mayoría de los trabajos realizados se han enfocado a lagunas costeras, zonas arrecifales y a escasos metros de la playa (a 200 m de distancia de la línea de costa con profundidades máximas de 4 m) (*i.e.* Huerta-Muzquiz *et al.*,1987; Robledo y Freile-Pelegrín,1998; Robledo, 1998; Ortegón-Aznar y González-González, 2000; Ortegón-Aznar *et al.*, 2001; Ortegón-Aznar *et al*., 2009).

Flora bentónica (macroalgas y pastos marinos)

Entre la flora bentónica se encuentran los pastos marinos y las macroalgas, también llamados vegetación acuática sumergida (VAS); su presencia crea un ambiente complejo

que proporciona oxígeno, alimento y refugio seguro (ya que funcionan como estructuras físicas que crean numerosos hábitats y micro hábitats), a una gran diversidad de organismos vertebrados e invertebrados, donde la velocidad de las corrientes se ve reducida, se atenúan la acción de las mareas, atrapan y estabilizan el sedimento, filtran el agua (en áreas contaminadas pueden ser marcadores biológicos), estabilizan la línea de costa y protegen ante fenómenos meteorológicos (Livingston 1984; Stevenson,1996; Tomasko *et al*., 1996).

Los pastos marinos son plantas con flores (angiospermas), hojas, rizomas y raíces bien desarrolladas que se han adaptado a los ambientes cercanos a la costa de la mayoría de los continentes del mundo (Short *et al*., 2001). La distribución de las especies está en función de las condiciones ambientales como la penetración de la luz solar en la columna de agua, temperatura, salinidad, transparencia del agua, textura y tipo de sustrato, concentración de nutrientes, corrientes, oleaje, amplitud de marea y profundidad (Short *et al*., 2001).

De acuerdo a Herrera-Silveira *et al*. (2010) los pastos marinos dominan casi toda la zona marino-costera del estado de Yucatán con cuatro especies predominantes, *Thalassia testudinum, Halodule wrightii, Syringodium filiforme y Halophila dicipiens*. En el estado, el marco ambiental para los pastos marinos consiste en aguas marino-costeras que presentan cambios estacionales de temperatura y transparencia, sustrato arenoso y en algunas zonas de roca caliza (laja), la profundidad es relativamente somera, y en la mayor parte de la costa las descargas de agua subterránea (DAS) son muy importantes.

Las macroalgas también son organismo fotosintéticos pero de estructura simple, es decir, carecen de hojas, raíces y tallos pero, con una gran variedad de especies

tradicionalmente distinguidas por su color en, algas verdes, pardas (cafés) y rojas (Lee, 1999; León *et al*., 2007); su distribución y abundancia está regulado, en mayor medida, por la luminosidad (intensidad y calidad), profundidad, tipo de sustrato, concentración y tipo de nutrientes en la columna de agua (Ortegón-Aznar *et al*., 2010; Herrera-Silveira *et al*., 2010). En las costa de Yucatán las macroalgas se establecen extensamente en la zona submareal dada la prolongada plataforma continental y la poca pendiente que presenta (Robledo, 1996).

Herrera-Silveira *et al*. (2010) mencionan que las comunidades de VAS en la costa de Yucatán no son estáticas debido principalmente a la temporalidad (secas, lluvias y nortes), impactos ambientales y antrópico, por ejemplo, después de eventos como nortes o huracanes las características del agua y del sustrato cambian, es decir, algunos ejemplares son removidos del sustrato, enterrados o sus semillas se dispersan, colonizan o se reubican en sitios favorables; también las actividades tales como asentamientos humanos (vivienda), portuarios (muelles y dragados) usos de artes de pesca (arrastres) y turismo (remoción de VAS para aumentar atractivo visual) modifican las condiciones abióticas naturales de la región y en consecuencia cambia la estructura y composición de especies de la VAS. De esta manera el impacto temporal, antrópico y natural contribuyen a la modelación de un ambiente heterogéneo constituido por diversos escenarios ambientales que favorecen la alta diversidad, continua sucesión de la vegetación y heterogeneidad en la composición y estructura espacial (Herrera-Silveira *et al*., 2010).

Entre los trabajos realizados para la VAS destaca el realizado por Herrera-Silveira y Morales-Ojeda (2009), que diagnosticaron la condición de las aguas marino-costeras del

estado de Yucatán basándose en índices tróficos y de calidad del agua, al igual que métricas de la VAS y fitoplancton. Los puntos de muestreo fueron 20 estaciones, llegando hasta los 200 m a partir de la línea de costa, donde identificaron un total de cuatro zonas para la costa de Yucatán basado en la composición de especies, abundancia y cambios por temporadas de la VAS, de las cuales únicamente dos zonas corresponden a la porción central.

Espinoza-Avalos (1996) hizo una aportación acerca de la distribución de pastos marinos y que para los sitios muestreados en las costas de Yucatán (estuario de Celestún, Progreso, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, San Felipe, Las Coloradas) encontró cinco especies (*Thalassia testidinum, H. dicipiens, Syringodium filiforme, Halodule wrightii* y los primeros registros para el estado de *Halophila engelmanni*).

Las investigaciones realizadas de macroalgas, en el estado de Yucatán, han sido en su mayoría de tipo florísticos, algunos de distribución y otros relacionados a variables ambientales, principalmente en lagunas costeras, arrecifes, islas y pocos en la franja marino-costera (Huerta-Muzquiz *et al*., 1987; Selem, 1992; Ortegón-Aznar, 1993; Herrera-Silveira, 1995; Espinoza-Avalos ,1996; Robledo,1996; Ortegón-Aznar y González-González ,2000; Díaz-Martín y Espinoza-Avalos, 2000; Ortegón-Aznar *et al*., 2001; Garduño-Solórzano *et al*., 2005 y Casanova-Cetz, 2006).

Los estudios que se tienen de las macroalgas respecto a su abundancia, distribución y estacionalidad en Yucatán, son limitados y fueron realizados en zonas muy someras de la costa (entre 0 a 4 m de profundidad), entre ellos destacan el trabajo de Robledo (1996), que realizó una descripción de las macroalgas de interés económico presentes en siete puertos de la costa de Yucatán, entre los que se encuentran Telchac y Dzilam de Bravo. El estudio

abarcó hasta una distancia máxima de 500 metros perpendiculares a la línea de costa donde encontró poblaciones bien establecidas de cinco especies de interés económico creciendo sobre sustratos duros ó calcáreos y con mayor reclutamiento y crecimiento (en longitud) en temporada de lluvias; logró caracterizar, en términos generales tres zonas en base al tipo de vegetación, sustrato, profundidad y distancia de la costa en: a) zona playa somera, b) zona media, c) zona profunda,

Díaz-Martín y Espinoza-Avalos (2000) proveyeron una visión general de la distribución de las Phaeofitas (algas pardas ó cafés) en la península de Yucatán. Los puntos de muestreo para la costa de Yucatán fueron en aguas con profundidades menores a 4m en nueve estaciones que incluyeron los sitios de Telchac Puerto y Dzilam de Bravo.

Garduño-Solórzano *et al*. (2005) analizaron la distribución geográfica y la afinidad por el sustrato de las algas verdes bénticas en las costas mexicanas del Golfo de México y el Mar Caribe en base en información publicada, exploraciones ficológicas y consulta de herbarios. Los datos que obtuvieron en campo fueron realizados en zonas de hasta 4 m de profundidad y que para las costas de Yucatán fueron Dzilam de Bravo, Progreso y Yucalpetén.

Díaz (2008) realizó en el Palmar y Dzilam de Bravo un estudio de la distribución de grupos morfo-algales en sitios con profundidades de entre 2.5 a 5 m, registrando 70 especies con un total de siete grupos morfo-algales, reportó para ambos sitios la mayor riqueza en la temporada de lluvias y la mayor abundancia para Dzilam de Bravo en esa misma temporada. Demostró que los grupos morfo-algales pueden ser utilizados como una

herramienta eficaz en los estudios generales de distribución, pues mostraron un patrón de distribución muy similar al de las especies.

Fauna bentónica

El estudio sistemático de la fauna bentónica del estado de Yucatán es relativamente reciente, los inventarios hasta el momento son característicos de fondos blandos en ambientes lagunares, pocos marino-someros (0-4 m de profundidad) y algunos otros son característicos de sustratos duros de la plataforma continental (0-200 m de profundidad) (Pech-Pool y Ardisson, 2010). Hasta el momento se han logrado registrar 529 especies, de las cuales el 45 % (237) perteneces al phylum Arthropoda (Crustacea), 22% (118) al phylum Mollusca, 14% (72) al phylum Nematoda; y el 13 % al phylum Annelida. El 6% restante pertenece a los phyla Echinodermata, Nemertea, Platyhelminthes, Sipuncula, Porifera, Chaetognata, Chordata e Cnidaria.

La ausencia de antecedentes conocidos sobre fauna bentónica de la zona marino-costera del estado de Yucatán que no representa un interés comercial, es notoria, sin embargo, entre los pocos estudio se encuentra el realizado por Maldonado *et al*. (2000), que presentan una lista sistemática de especies de invertebrados mega bentónicos de la Reserva de la Biosfera de Río Lagartos y algunas observaciones generales sobre los patrones de su distribución de los grupos de especies encontrados en relación con los tipos de fondos.

Ardisson y Catillo-Fernández (2004) determinaron sobre una base estacional, los cambios en la composición, abundancia y distribución de la fauna bentónica del área focal Progreso (transectos perpendiculares a la playa de 200 m de longitud), crearon una base de datos, elaboraron un inventario faunístico de la zona intermareal e infralitoral somera del

área y sentaron las bases y criterios para el establecimiento de un sistema de monitoreo de la calidad del hábitat mediante el empleo de índices bióticos y/o especies indicadoras asociadas al ambiente bentónico.

Pech *et al.* (2007) determinó la variación del hábitat de la laguna Celestún, Yucatán, durante un ciclo anual, a través de factores físicos asociados tanto a la columna de agua (salinidad) y al sedimento del fondo (fracciones de arena, limo y arcilla). La respuesta de la comunidad bentónica las evaluó por medio de medidas de diversidad y abundancia de especies.

Zarco (2009) definió los diferentes hábitats, estado y estructura sésil epibentónica, del arrecife Madagascar (Sisal, Yucatán), así como su relación con algunas variables ambientales como la iluminación y la corriente.

A pesar de la importancia que representa el bentos para los ecosistemas acuáticos, poco se sabe sobre la dinámica poblacional, distribución y diversidad especies que no registran un interés comercial en las costas de Yucatán, por lo tanto no se tiene una base de conocimiento solida que permita determinar la condición de conservación del bentos en el estado (Pech y Ardisson, 2010).

Clasificación: mapas temáticos

Las representaciones espaciales o mapas de los sistemas de clasificación, es una herramienta ampliamente usada, la cual ayuda a traducir y simplificar grandes cantidades de datos tomados del ambiente en un producto más útil para cuestiones de gestión ambiental (Green *et al*., 2000).

Las caracterizaciones espaciales pueden estar concentradas en especies, comunidad biológica, representar bio-regiones ó derivarse de variables geofísicas ó químicas. Los tipos de datos más comunes utilizados para la caracterización de líneas de base en el medio marino, son los mapas de los hábitats bentónicos y mapas de la cubierta vegetal; los mapas temáticos de hábitats suelen ser desarrollados a partir de la interpretación de los datos obtenidos por teledetección (espacio, aire, buques), guiados por muestras *in situ* geo-referenciadas para definir las clases o por medio de interpolación espacial (geoestadística) de ese tipo de muestras (Green *et al*., 2000; Pittman, *et al*., 2001).

En el estado de Yucatán se han realizado estudios con escalas de clasificación gruesa, es decir, donde se caracterizan y mapean a nivel de paisaje a la VAS, usando para ello imágenes obtenidas por sensores remotos y SIG; entre éstos están los trabajos de Vera-Manrique *et al.* (1997) que hizo una caracterización del paisaje bentónico costero de Chabihau hasta nivel de GMF, en base a una imagen satelital.

Aguayo (2004) relaciona la presencia de VAS con otros factores ambientales (calidad de agua, luz y sedimentos) y establece que la estructura de la VAS era un bioindicador de la calidad de agua en Celestún, Sisal, Progreso y Dzilam de Bravo, a una distancia máxima aproximada de 1,200 m perpendicular a la playa.

Barrientos (2011) hizo una aportación sobre la distribución, abundancia y diversidad de los componentes paisajísticos de la franja costera oriente de la península de Yucatán (PY) (entre Holbox, Q.Roo y el Cuyo, Tizimín, Yucatán), usando una imagen satelital; también Cuevas (2004) caracterizó espacialmente el área marina aledaña a la Reserva de la Biosfera Ría Lagartos y determinó el impacto sufrido por el paso del huracán Isidoro

empleando técnicas de percepción remota; estos dos últimos trabajos son los únicos realizados en la costa de Yucatán que abarcan hasta 7.5 km de distancia perpendicular a la costa, con profundidades entre 1 y 14 m.

En este sentido, resulta evidente la necesidad de generar investigaciones en áreas poco conocidas que aporten información confiable para la planeación y conservación de los recursos biológicos en las costas de Yucatán.

Análisis Geoestadísticos (estructura espacial)

Dentro de las técnicas de predicción espacial se encuentra la geoestadística, que es una colección de técnicas numéricas que determina el grado de dependencia espacial que existe entre los datos, es decir, que permite estimar la distribución espacial del hábitat a partir de sus atributos tomado en un numero finito de sitios, cuantificando la correlación espacial (análisis estructural variográfico) y a través de esta hacer predicciones de los sitios no muestreados (Cressie, 1989; Goovaerts, 1997). Estas predicciones se realizan con técnicas de interpolación, siendo una de las más usadas el krigeado ordinario. Esta técnica, según Moral (2004), se realiza en tres pasos; el primero es un análisis exploratorio de los datos, que se realiza sin tener en cuenta su distribución geográfica, se comprueba su consistencia eliminándose los erróneos e identificando el modelo de distribución que presentan; el segundo paso es un análisis estructural, donde se estudia la continuidad espacial de los datos de la variable, es decir, se calcula el semivariograma experimental u otra función espacial que explique su variabilidad espacial y se ajusta un semivariograma teórico; el último paso son las predicciones ó estimaciones de la variable en los puntos no muestrales (interpolación), considerando la estructura de correlación espacial seleccionada

e integrando la información obtenida de forma directa en los puntos muestrales, así como la conseguida indirectamente en forma de tendencias conocidas.

Trabajos que han aplicado técnicas geoestadísticas en el análisis de la distribución de organismos bentónicos en la costa de Yucatán son pocos y principalmente en el ámbito pesquero, tal como el de Pérez-Castañeda y Defeo (2004), que evaluaron por temporada (nortes, secas y lluvias) la estructura espacial de la salinidad, la VAS y cuatro poblaciones de camarones (*Farfantepenaeus* spp.) a lo largo de un hábitat estuarino, en la laguna de Celestún. Usaron técnicas de geoestadística para evaluar la autocorrelación que existía entre puntos de muestreo y para predecir la distribución de las poblaciones estudiadas por medio de krigeado; demostraron que, a escalas locales, la abundancia y el tipo de vegetación acuática sumergida fueron factores cruciales para la determinación de la abundancia y la distribución espacial de los camarones.

Ríos *et al*. (2009) identificó los hábitats preferenciales de la langosta espinosa *Panulirus argus* y los factores que determinaban su distribución espacial en arrecife Alacranes, la zona costera frente a los puertos de El Cuyo, Río Lagartos, San Felipe, Dzilam de Bravo, Progreso, Sisal y Celestún y en una zona profunda ubicada al noroeste y norte de la plataforma Yucateca.

Por último Cuevas *et al*. (2007) realizó la caracterización espacial de hábitats submarinos frente a la reserva de la biosfera de Ría Lagartos donde tortugas carey (*Eretmochelys imbricata)* se alimenta y se desarrolla, usando técnicas visuales (transectos de video), análisis geoestadísticos (krigeado) y SIG.

Transectos de Video

En la actualidad existen diversos métodos de adquisición de datos ecológicos aplicados para la caracterización, evaluación y monitoreo las comunidades bentónicas como el método de manta, transecto por cadena, transecto por intercepto de punto, transecto por intersepto de línea, cuadrantes, análisis de fotografías y videos subacuáticos (Smith y Rumohr, 2005). La elección de un método apropiado va a depender de los objetivos del estudio (Smith y Rumohr, 2005).

Para este trabajo se eligió el uso de la técnica de transectos de video que consta de dos fases: a) la adquisición de datos, grabados por una cámara de video a lo largo de un transecto linear de dimensión conocida y b) la identificación de los organismos en la pantalla de un ordenador, a partir de las imágenes adquirida en el campo (Leão *et al*., 2010).

Esta técnica es ventajosa cuando la resolución de las imágenes es suficientemente alta (con niveles altos de transparencia de agua), además permite recolectar muchos más datos por unidad de tiempo de buceo y provee un registro permanente del bentos que puede ser identificado posteriormente por expertos (Granados *et al*., 2000; Miller y Rogers, 2002; Smith y Rumohr, 2005); la principales desventajas son la resolución taxonómica limitada para la identificación a nivel de especie de algunos grupos, especialmente aquellos con dimensiones reducidas (Vogt *et al*., 1997; Page *et al*., 2001, Dutra *et al*., 2006), provee una visión bi-dimensional por lo que no se puede estimar el relieve espacial y es difícil obtener información cuantitativa cuando los corales blando o macroalgas son muy grandes y abundantes ya que cubren o ensombrecen a otros organismos.

A pesar de que en México los transectos de video no son parte usual de los programas de monitoreo en Parques Nacionales por las desventajas que presentan (Pérez-España y Vargas-Hernández, 2008), son aplicados en programas de monitoreo en Australia (Sweatman *et al*., 2008) en el Caribe Oriental, Tobago (McGann y Creary, 2008) y Jamaica (Creary *et al.*, 2012).

JUSTIFICACIÓN

En la zona costera de Yucatán se ha presenciado un aumento demográfico considerable que ha generado gran presión sobre sus ecosistemas debido a las múltiples actividades de aprovechamiento económico y, ya que no se cuenta con una base de conocimiento solida que permita determinar la condición de conservación del bentos en la porción central del estado de Yucatán, resulta indispensable realizar trabajos descriptivos, mediante mapas temáticos, que aporten información sobre la distribución y estructura de las comunidades bentónicas, que den pie a futuras investigaciones enfocadas al manejo y conservación del los recursos bentónicos.

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar las comunidades bentónicas del litoral somero (hasta 10 m de profundidad) de la zona centro del estado de Yucatán.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener registros de videos submarinos de las comunidades bentónicas representativas en la costa central de Yucatán.
- Estandarizar y adaptar la técnica de revisión de los videos submarinos con el fin de optimizar el tiempo de análisis por video-transecto.
- Generar mapas temáticos de la distribución espacial de los grupos morfo-funcionales (GMF) identificados en el área de estudio.
- Obtener los atributos de la comunidad (cobertura, riqueza, abundancia relativa y dominancia) para los GMF registrados y detectar patrones estructurales predominantes.

MATERIALES Y MÉTODO

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la porción central de la costa del estado de Yucatán (SE, México), limitado por el golfo de México en la parte norte y oeste, y por el Mar Caribe en la parte oriente. La porción central de la costa yucateca, delimitada para este estudio, se extiende desde el municipio Dzilam de Bravo (entre El Cerrito y El Islote), incluyendo los municipios costeros de Dzidzantún (comisaría Santa Clara), Yobaín (comisaría Chabihau), Sinanché (comisaría San Crisanto), Telchac Puerto, Dzemul, e Ixil (comisaría San Benito), hasta una profundidad 10 m, ocupando un área aproximada de 1,400 km^2 (Fig. 1).

El puerto de Dzilam de Bravo se encuentra en 303904.05 m al Este y 2366937.30 m al Norte e Ixil en 240350.75 m al Este y 2359124.43 al Norte (Unidades geográficas UTM, proyección WGS 1984, zona 16N) (INEGI, 2009). El clima es seco y árido con una temporada lluviosa en verano, y lloviznas durante el resto del año. La temperatura promedio anual es de 25.5° C, con una precipitación promedio anual de 970 mm, y evaporación de 1,800 mm. La marea es mixta y semidiurna con un rango de aproximadamente 0.6 m (Vega *et al*., 1997). En la región se reconocen tres temporadas climáticas: secas (Marzo-Mayo) con las mínimas precipitaciones del año (de 0 a 30 mm) y las más altas temperaturas (de 36 a 38°C); lluvias (Junio -Octubre) con la mayor precipitación (125 mm promedio), durante los dos últimos meses de esta temporada es común la llegada de huracanes que traen como consecuencia precipitaciones altas (de hasta 350 mm al mes) y rachas de vientos de hasta 250 km/hr y por último los nortes (Noviembre- Febrero), que se caracteriza por la gran influencia de vientos polares

acompañados por bajas presiones atmosféricas, bajas temperaturas y lluvias. La temperatura promedio para esta época es de 23°C y la precipitación de 40 mm (Herrera-Silveira *et al*., 1998).

En cuanto a la topografía submarina, el talud se localiza a 250 km de la línea de costa. La pendiente presenta un ángulo de inclinación promedio de 0° 2', lo que provoca un suave incremento en la profundidad en la zona, alcanzando ~ 9 m de profundidad a una distancia de 8 km de la playa y, posteriormente la profundidad incrementa ~ 2 m por cada 4 km, extendiéndose la plataforma continental hasta más de 200 km de la costa (Capurro, 2002).

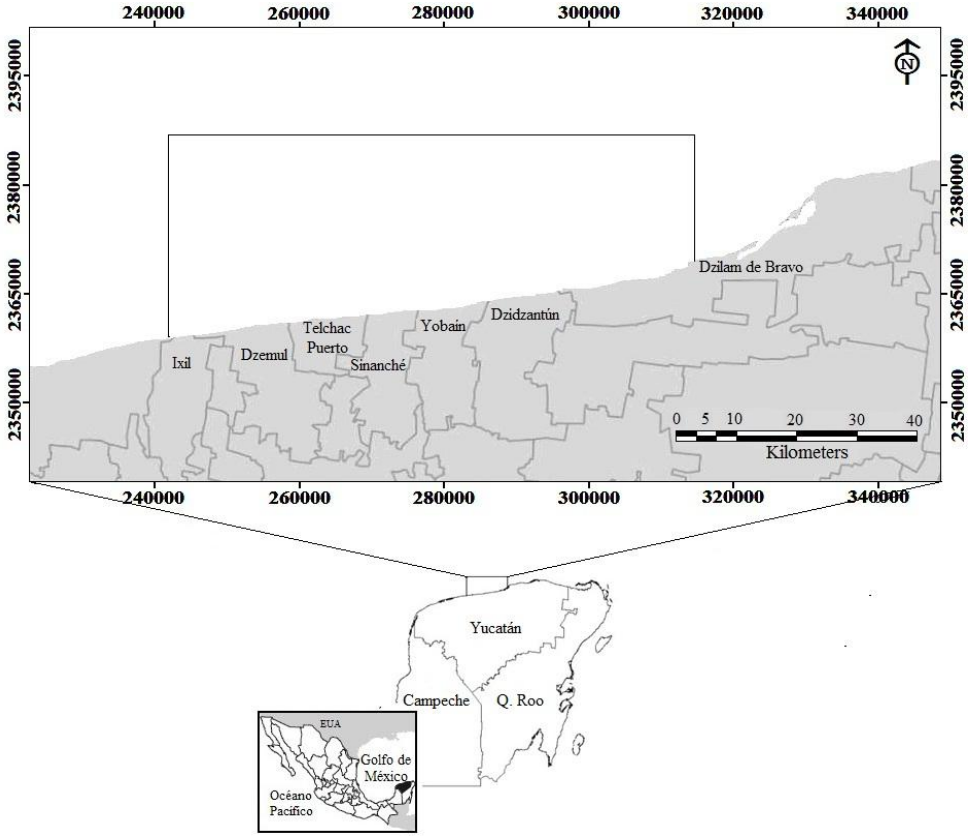

Figura 1. Polígono que delimita el área de estudio en la porción central de la costa del estado de Yucatán. Unidades geográficas en UTM (Proyección WGS1984, zona 16N).

Diseño de muestreo

Para el diseño de muestreo se utilizó un mapa de clasificación no supervisada por el método de k-medias, de una imagen multiespectral Landsat-ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus por sus siglas en inglés) con una resolución espacial de 25 x 25 metros (Fig.2). Esta imagen fue corregida geométrica y radiométricamente en el laboratorio de Percepción Remota y SIG del CINVESTAV, Unidad Mérida. Sobre esta clasificación no supervisada, se definió un total de 129 sitios de verificación en campo. Para la ubicación de estos sitios se utilizó un diseño estratificado aleatorio, donde se asignó a cada clase radiométrica definida un número de sitios que fue proporcional al porcentaje del área total que cubría cada clase en la zona de estudio en su totalidad (Tabla 1) (Green *et al.,* 2000). En cada uno de estos sitios definidos se grabaron video–transectos submarinos de las comunidades bentónicas presentes (Aguirre-Gómez y Morales, 2005).

Tabla 1. Número de sitios por clase en proporción al área total cubierta en la zona de estudio.

CLASES	Núm. de sitios por clase
1	12
2	9
3	6
4	12
5	6
6	8
7	13
8	12
9	4
10	9
11	11
12	3
13	6
14	7
15	11
Total	129

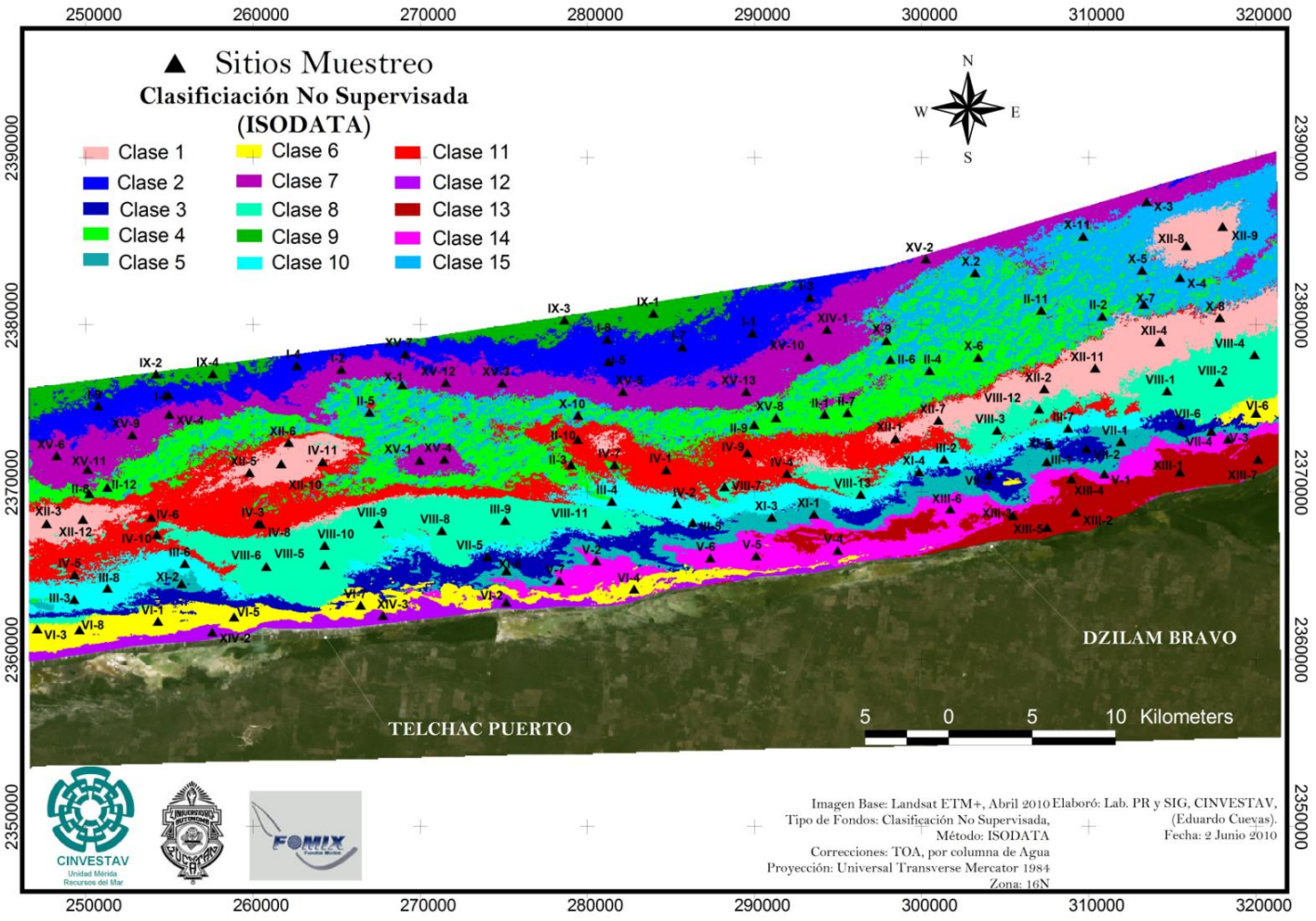

Figura 2. Imagen clasificada con el método no supervisado k medias y distribución de las 129 estaciones visitadas en campo. Unidades geográficas en UTM.

Trabajo de campo

Se utilizó una lancha con motor fuera de borda de 25 pies de eslora y un navegador GPS para la localización de los sitios.

Las inmersiones para las videograbaciones submarinas se realizaron con equipo autónomo de buceo. Los transectos de video fueron grabados utilizando una cámara de video SONY HDR-XR200 dentro de una carcasa Amphibico.

La toma de videos submarinos se hizo mediante una modificación de la técnica recomendada por Aronson y Swanson (1997). En cada sitio el buzo realizó la grabación utilizando la cámara en posición perpendicular al fondo marino con la lente a una distancia de un metro del fondo marino (se usó una referencia con medidas conocidas contenidas en el cuadro). El buzo nadó a velocidad constante (~ 10 m/min.), siguiendo la topografía del fondo marino y conservando la misma distancia (1m) durante 5 minutos, cubriendo un transecto de ~ 50 m de longitud y 1.5 m de anchura (Smith y Rumohr, 2005; McDonald *et al*., 2005; Houk y Van Woesik, 2006).

Para cada transecto de video se registraron las coordenadas geográficas al inicio y al final del transecto, profundidad y observaciones, como componentes abióticos (arena, pavimento o laja, escombro o grava) y bióticos (macroalgas, coral duro, coral blando, esponjas, equinodermos).

Las campañas de trabajo en campo se realizaron en la temporada de lluvias, iniciando el día 15 de Junio del 2010 y culminando el día 2 de agosto del 2010, con un total de 13 días de trabajo efectivo.

Trabajo en gabinete

- *Edición de videos*

Todos los videos tomados durante el trabajo de campo se importaron a un ordenador.

De cada uno de los videos se extrajo un conjunto de cuadros fijos no traslapados (cada 3s.), utilizando el Software Pinnacle Studio Ultimate Collection (Avid Technology, Inc, versión 14). El área cubierta por cada cuadro fue de aproximadamente 1.5 m^2 que es un área por video transecto de 75m^2. Cada imagen tuvo una resolución de 1,929 x 1,080 pixeles.

- *Determinación del esfuerzo mínimo de muestreo*

Para estandarizar y adaptar la técnica propuesta por Aronson y Swanson (1997) a las condiciones de diversidad del área de estudio, se seleccionaron dos videos de los más heterogéneos (Vogt *et al*., 1997; Barrientos, 2011) y se extrajeron un conjunto de cuadros fijos no traslapados (cada 3s.) con el programa mencionado arriba. Posteriormente se varió la selección del número de cuadros fijos o imágenes (10, 20, 30, 40, 50, 60) al azar (números aleatorios mediante aplicación de Excel) y de igual forma se contempló un número variante de puntos aleatorios por cuadro (10, 15, 20, 25) para la cuantificación de los porcentajes de cobertura por GMF (Fig. 3).

Para el análisis de los cuadros fijos para cada una de las combinaciones mostradas en la figura 3, se usó el programa CPCe (Coral Point Count with Excel extensions por sus siglas en ingles), que es un software creado para la determinación de cobertura de corales y bentos arrecifal usando imágenes subacuáticas (Kohler y Gill, 2006), donde una matriz de puntos distribuidos al azar se superpone sobre una imagen o cuadro fijo y, la especie o el

tipo de sustrato que yace debajo de cada punto, se identifica visualmente. Este programa fue modificado de acuerdo a los GMF identificados para este trabajo, dado que el ambiente analizado no es un arrecife de coral.

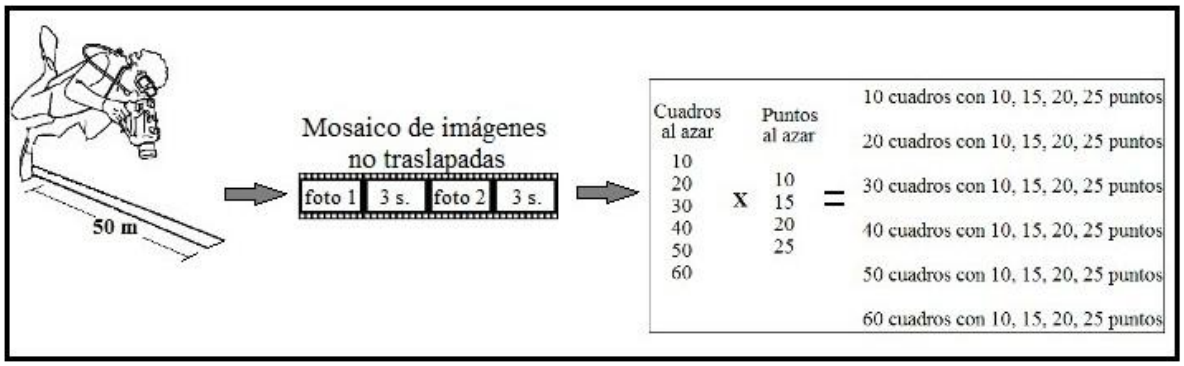

Figura 3. Representación esquemática del diseño usado para determinar el tamaño de muestra mínimo en la zona de estudio.

Se obtuvieron los porcentajes de cobertura cada grupo bentónico identificado, los cuales se agruparon de la siguiente forma: algas rojas, cafés, verdes y césped algal, coral duro, coral blando, equinodermos, pastos, esponjas; así como componentes físicos como pavimento (laja), grava o escombro y arena.

Con los datos registrados de este análisis preliminar (variando el número de cuadros seleccionados de manera aleatoria y de puntos aleatorios por cuadro), se generaron curvas acumulativas de los porcentajes de cobertura cuantificados de los GMF para cada combinación de número de cuadros y puntos por cuadro evaluada. De la comparación de las curvas de acumulación de GMF obtenidas, se seleccionó aquella en la cual se cuantificaba el mayor número de GMF con el menor número de cuadros fijos y puntos aleatorios sobre las imágenes (Cruz *et al*., 2008) que fue de 28 cuadros seleccionados al

azar y 20 puntos aleatorios (ver determinación de esfuerzo mínimo de muestreo en resultados) para hacer la revisión de todos los transectos de video.

- *Análisis de transectos de video*

De los 129 sitios establecidos se filmaron 99 sitios, 20 no se filmaron por presentar un paisaje homogéneo (arenal o praderas de pastos marinos) y 10 se perdieron por problemas técnicos y condiciones climáticas, resultando un total de 119 transectos de video

Para cada conjunto de cuadros fijos no traslapados de los transectos de video obtenidos en los 119 sitios de verificación en campo, se cuantificó la presencia de los GMF (Tabla 2) utilizando el número de cuadros y puntos determinados en la evaluación de esfuerzo de muestreo con el mismo programa CPCe.

Tabla 2. Grupos morfo-funcionales (GMF) definidos para la cuantificación de coberturas en los videos subacuáticos. * = No forman parte del bentos

Tipo de cobertura	Categorías	Clave
Componente no vivo (sustrato desnudo)	Pavimento o laja	PAV
	Grava o Escombro	ESC
	Arena	ANA
	Cinta de video	CDV*
Componente vivo	Algas verdes	AV
	Algas rojas	AR
	Algas cafés	AC
	Césped algal	CA
	Pastos	P
	Coral duro	CD
	Coral blando	CB
	Esponjas	ESP
	Equinodermos	E
	Otro tipo de vida	OV*

Para el análisis de los 119 transectos de video, se seleccionaron y analizaron 3,332 cuadros de video (28 cuadros por video), sobre los cuales se lanzó e identificó un total de 66,640 puntos (560 puntos por video). Los datos se integraron en una matriz de datos como porcentaje de coberturas de 119 filas (sitios ó estaciones) por 14 columnas (GMF; Anexo, Tabla 11), con la cual se hicieron los análisis posteriores.

➢ *Análisis Estadísticos*

Atributos de las comunidades bentónicas

Con los datos de presencia/ausencia de cada GMF por sitio, y utilizandoel programa Primer 6 (Plymounth Marine Laboratory, versión 6), se determinó lo siguiente:

- La abundancia de cada GMF por sitio (n) o frecuencia absoluta, que es la suma de todas las presencias de un solo GMF por sitio.
- La abundancia relativa de cada GMF por sitio (% n) o frecuencia relativa y se calculó con la siguiente expresión:

$$\%n = (n/Nt)*100$$

Donde: *n* es la frecuencia absoluta del GMF y *Nt* es el número total de puntos del video-transecto (560).

- Riqueza o número de GMF presentes por sitio

Los valores de abundancia de los GMF fueron integrados en una matriz de datos de sitios y total (Anexo, Tabla 13). Esta matriz de datos fue utilizada en los análisis estadísticos y espaciales realizados en siguientes pasos.

Dado que el número de puntos de los GMF es directamente proporcional a su área, los datos fueron considerados como porcentaje de cobertura, multiplicando la proporción de cada GMF del total de puntos de muestreo por cien (Carleton y Done, 1995). Con el porcentaje de cobertura de cada GMF y las coordenadas geográficas de cada sitio se generaron mapas temáticos, representando la variación espacial de la abundancia; estos mapas se generaron utilizando el programa ArcGIS (ESRI, versión 10), que es una serie integrada de software de Sistemas de Información Geográfica que trabaja como un motor compilador de información geográfica alfanumérica (bases de datos) y gráfica (mapas).

Para los mapas temáticos se construyó la distribución de frecuencias de los porcentajes de cobertura de los GMF en el programa Excel 2007, aplicado la regla de Sturges. Dicha regla permitió calcular el intervalo de clase, considerando el tamaño de muestra y el porcentaje mínimo y máximo de los GMF identificados para el área de estudio como se muestra:

$$\text{Número de clases} = 1+3.322(\log N)$$

$$\text{Intervalo de clases} = (P_{max}-P_{min})/\text{número de clases})$$

Donde: **N**= número total de valores registrados. $\mathbf{P_{max}}$= Porcentaje máximo observado. $\mathbf{P_{min}}$= Porcentaje mínimo observado.

Análisis multivariados (estructura de las comunidades bentónicas)

La abundancia relativa de los GMF fue analizada utilizando dos herramientas multivariadas, un análisis de clasificación usando el algoritmo de agrupamiento jerárquico, y un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (MDS, por sus siglas en inglés)

con el programa de computo Primer 6. Estos análisis permitieron dilucidar similitudes y disimilitudes de la comunidad bentónica entre los sitios evaluados (Clarke y Gorley, 2006).

En algunas circunstancias no es recomendable incluir todas las especies en un análisis multivariado, es decir las especies raras, cuya ocurrencia en una estación en particular en gran medida puede ser debido al azar, las cuales Clarke y Gorley (2006) recomiendan ser excluidas de cualquier posibilidad de un resultado interpretable. Por ejemplo frecuentemente surgen situaciones donde ciertas estaciones tienen una muy baja abundancia total de organismos, pero puede haber muchas especies que son absolutamente características de esas estaciones. Para resolver este problema Clarke y Gorley (2006) sugieren que las especies que sumen >*p*% de puntuación total en cualquier muestra es retenida (*p* se elige para reducir las especies a la cantidad necesaria; típicamente $p = 3$ o 4).

De ésta manera se filtró la matriz de datos conservando aquellos valores que sumaron más del 3 % de abundancia relativa y se eliminaron aquellos datos por debajo de este valor umbral (Equinodermos, Esponjas, Otro tipo de vida y Cinta de video). De esta manera se analizó una matriz de datos depurada de 119 estaciones y 10 GMF.

Análisis de similitud

El agrupamiento jerárquico y el MDS parten de una matriz triangular de coeficientes de similitud generados entre cada par de muestras. El coeficiente de similitud es usualmente una simple medida de qué tan cercanas o parecidas son las abundancias de cada GMF, con respecto al promedio total. Entre las numerosas medidas de similitud que han sido sugeridas para este tipo de datos (Legendre y Legendre, 1998), el coeficiente de Bray Curtis ha sido recurrentemente utilizado por su versatilidad y aplicabilidad en

diferentes estudios ecológicos, debido a que es una de las pocas medidas que toma el valor de 0 cuando dos muestras no comparten ningún elemento de la composición comunitaria, el cambio de unidades de medida no afecta su cálculo y es robusto ante la presencia de integrantes comunitarios raros o dispersos (Clarke y Gorley, 2006).

De esta manera, los datos utilizados en el análisis de similitud fueron transformados utilizando raíz cuadrada para mejorar la distribución de frecuencias de los GMF en la matriz de datos, de tal modo que incluso los GMF raros tienen una influencia en el cálculo de similitud, y se empleó el coeficiente de similitud de Bray-Curtis (Field *et. al*., 1982).

Para el análisis de agrupamiento se utilizó una clasificación jerárquica por grupo promedio (la distancia entre los grupos se obtiene calculando la distancia promedio entre todos los pares de observaciones que pueden formarse entre los grupos a fusionar) (Clarke y Gorley, 2006).

Análisis de escalamiento multidimensional no métrico (MDS)

El siguiente análisis realizado fue el MDS, del cual derivó un orden de la clasificación entre sitios verificados. Field *et al*. (1982) sugieren emplear este análisis como complemento de la clasificación jerárquica. La bondad de esta prueba es medida con un valor de estrés que, conforme menor sea este valor (< 0.05 a <0.2), la representatividad de la disimilitud/similitud calculada será más confiable.

Análisis de porcentaje de similitud (SIMPER)

Finalmente, se realizó un análisis de la contribución de cada GMF a la disimilitud/similitud total entre grupos de muestras, así como la contribución de cada GMF a la similitud dentro de un grupo específico (Análisis SIMPER, programa Primer v6)

(Clarke y Gorley, 2006). Este análisis permitió conocer los principales GMF responsables de la determinación de los grupos formados.

Análisis Geoestadísticos (estructura espacial)

Para el análisis geoestadístico se eliminaron los GMF que tenían una abundancia relativa menor al 3% para el área de estudio. Con los GMF restantes, algas cafés, rojas, verdes, césped algal, pastos, pavimento o laja, y arena se elaboraron mapas de distribución de cada uno de ellos. Se utilizó el programa Geostatistics for Enviromental Sciences (GS+, Gamma Design Software, versión 9).

Primero se calcularon los estadísticos descriptivos de la distribución de los datos de abundancia, utilizando como referencia los valores de sesgo y curtosis principalmente. Ambas pruebas fueron realizadas con los datos originales y transformados (raíz cuadrada y raíz cuarta) de las variables elegidas con el fin de aproximar de mejor forma la distribución de los datos a una distribución del tipo normal y así aplicar el krigeaje con mayor robustez; sin embargo, esta transformación de datos previa al krigeado no siempre es efectiva ya que no garantiza que vayan a ser los mejores valores no sesgados (Kitanidis, 1997; Villatoro *et al.*, 2008).

Se elaboraron semivariogramas para cada uno de los GMF evaluados, los cuales fueron ajustados a semivariogramas teóricos y se seleccionó aquel con el mejor ajuste (valores altos de r^2) y menor error en la suma de cuadrados residuales (RSS). La evaluación de semivarianza fue realizada sobre el supuesto de isotropía para la distribución de las variables evaluadas (Goovaerts, 1997; Webster y Oliver, 2007).

Una vez obtenidos los semivariogramas teóricos para los GMF de interés, se realizó un análisis de interpolación por el método krigeado ordinario, el cual es un estimador insesgado óptimo, que emplea un modelo probabilístico en el que los pesos asignados a las muestras vecinas del punto a estimar se escogen de tal forma, que se aseguran que el error medio es cero y la varianza mínima. Se caracteriza por asumir que la media es constante pero desconocida y que produce fluctuaciones locales de la media (Goovaerts, 1997; Webster y Oliver, 2007).

Posteriormente se utilizaron técnicas de bondad de ajuste para evaluar la capacidad del modelo para simular la realidad. Se realizó una validación de los mapas obtenidos usando la técnica de validación cruzada (Isaaks y Srivastava, 1989), la cual determina si los errores de los interpoladores son sistemáticos o compatibles con la varianza de estimación. La técnica es un proceso iterativo en el que se elimina un dato real para posteriormente estimarlo a partir del resto de los datos, cada uno de los datos reales y estimados se comparan mediante regresión lineal para determinar el nivel de error (Cressie, 1989). El valor arrojado por la validación cruzada es el coeficiente de determinación (r^2) que describe la proporción de la varianza total de los datos observados que pueden ser explicados por el modelo. Sin embargo, r^2 sufre de limitaciones que lo hace ser una medida pobre de la interpretación del modelo, ya que no provee un sesgo de la eficiencia del modelo (Willmott, 1981).

Consecuentemente, se usaron otras medidas de precisión además de r^2 que fueron el error medio (*ME* por sus siglas en ingles), que se usa para determinar el grado de sesgo en las estimaciones, el error absoluto medio (*MAE*, por sus siglas en ingles) que provee una

medida absoluta del tamaño del error, y la raíz del error cuadrático medio (*RMSE*, por sus siglas en ingles) que provee una medida del tamaño de error que es sensible a valores extremos (Zar, 1999) y se calcularon con la siguientes fórmulas:

$$ME = \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n} Z(xi) - z(xi)$$

$$\mathrm{MAE} = \frac{1}{\mathrm{n}}\sum_{\mathrm{i=0}}^{\mathrm{n}} |\mathrm{Z(xi)} - \mathrm{z(xi)}|$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n} (Z\ (xi) - z(xi))^2}$$

Donde: Z(xi) es el valor observado en el punto "i", z(xi) es el valor estimado en el punto "i" y n es el número de sitios utilizados.

Por último se usó una medida de efectividad llamada estimado de efectividad de predicción (Legates y McCabe, 1999) el cual es un estimado de que tan efectiva fue la predicción, en comparación con el uso solamente del promedio general de los datos y se calculó con la formula siguiente:

$$E = \left(1 - \left\{\sum_{i=0}^{n} [Z\ (xi) - z(i)]^2 \Big/ \sum_{i=0}^{n} [Z(xi) - \bar{z}\ ]^2\right\}\right) 100$$

Donde $\bar{z}$ es el promedio de la muestra.

RESULTADOS

Determinación del esfuerzo mínimo de muestreo

Se obtuvieron 24 curvas de acumulación para las diferentes combinaciones de cuadros fijos y puntos aleatorios sobre las imágenes. De éstas, dos alcanzaron la asíntota (valores estables), dando una estimación del número mínimo necesario de cuadros fijos para alcanzar el registro del mayor número posible de GMF (10 de 12 categorías) en las imágenes.

En el análisis del transecto de video 1, empleando 50 cuadros y 20 puntos por cuadro distribuidos aleatoriamente, se alcanzó la asíntota a partir de los 28 cuadros (Fig. 4).

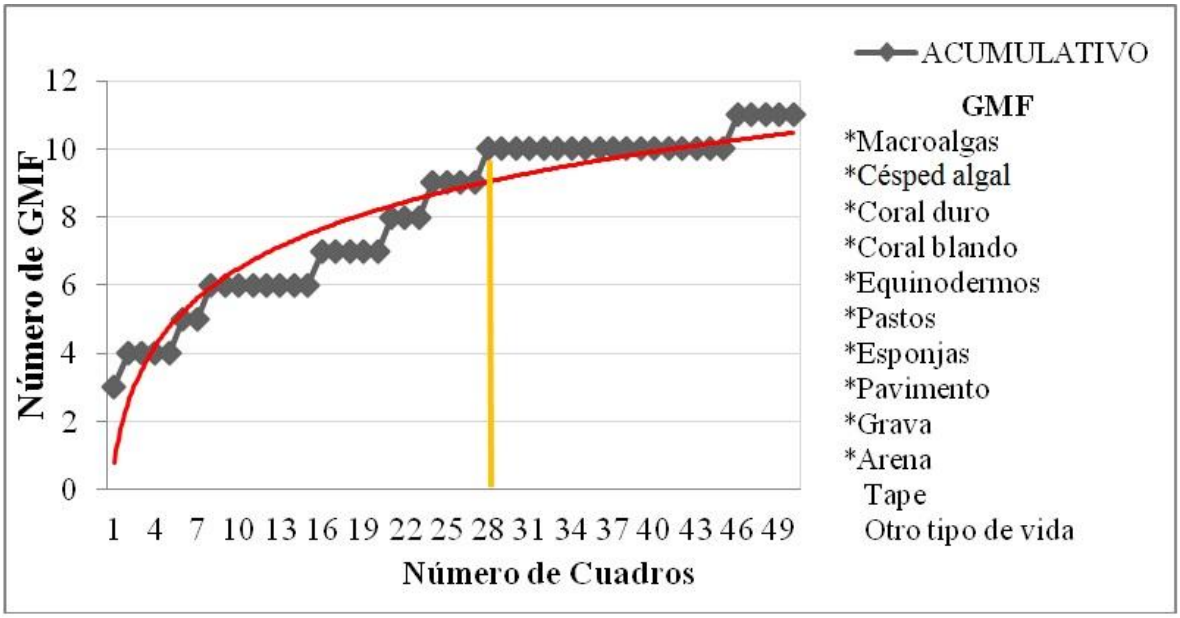

Figura 4. Frecuencia acumulada de los (GMF) en función del número de cuadros revisados (50) del transecto de video 1. La línea amarilla indica el número de cuadros (28) en el que se alcanzó a observar la mayoría de los GMF (10, indicados con *), utilizando 20 puntos por cuadro.

En el transecto de video 2, la curva de 60 cuadros y 15 puntos alcanzó la asíntota en los 22 cuadros (Fig. 5). Fue evidente que al aumentar el número de cuadros analizados por transecto y disminuir el número de puntos aleatorios sobre el cuadro, la asíntota era alcanzada a un número menor de cuadros.

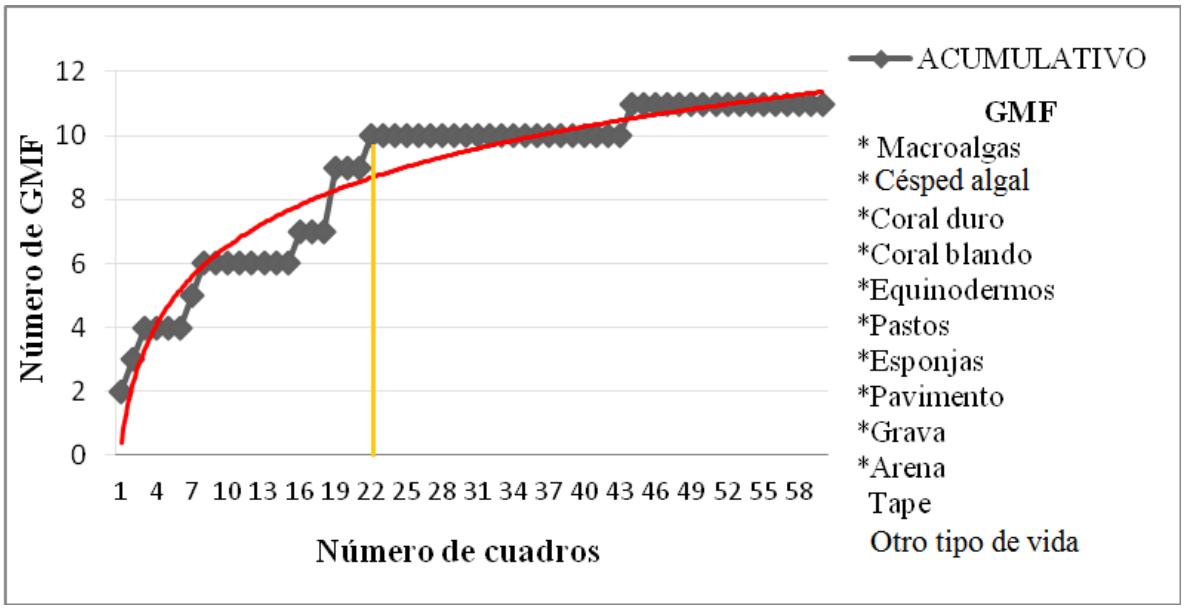

Figura 5. Frecuencia acumulada de los GMF en función del número de cuadros revisados (60) del transecto de video 2. La línea amarilla indica el número de cuadros (22) en el que se alcanzó a observar la mayoría de los GMF (10, indicados con *) utilizando 15 puntos por cuadro.

Tratando de evitar que pudiera haber superposición de imágenes y pérdida de información, conservativamente se decidió usar el tamaño de muestra obtenido con una partición menor del transecto de video (50 cuadros) y un número medio-alto de puntos (20), con los cuales se alcanzó la asíntota a los 28 cuadros, haciendo un total de 560 puntos por analizar por transecto de video.

Atributos de las comunidades bentónicas

Los GMF dominantes por su mayor porcentaje de cobertura total fueron el césped algal (CA) con el 26 %, y arena con el 22 %; mientras que los menos dominantes fueron el coral blando (CB= 0.6%), coral duro (CD= 0.3%), esponjas (ESP= 0.23%), equinodermos (E= 0.05%), grava o escombro (ESC= 0.3%), y otro tipo de vida (OV= 0 %). Como parte del error del muestreo algunos puntos fueron colocados en posiciones que no formaban parte del fondo marino, lo cual fue clasificado como cinta de video (CDV= 0.26%) (Tabla 3).

Las algas cafés (AC) se registraron en el 71 % de sitios, con un porcentaje de cobertura total de 4.86 % (Tabla 3), representando una amplia distribución pero baja dominancia.

Tabla 3. Número total de puntos (N), porcentaje de cobertura (N %), riqueza (S= es el número de sitios en los que se presentó el GMF) y porcentaje de sitios (%S) por GMF para el área de estudio

GMF	N	%N	S	%S
AC	3238	4.86	85	71.43
AR	3955	5.93	76	63.87
AV	6261	9.40	82	68.91
CA	17710	26.58	90	75.63
P	10076	15.12	37	31.09
E	31	0.05	16	13.45
CD	222	0.33	39	32.77
CB	402	0.60	21	17.65
ESP	150	0.23	37	31.09
PAV	9657	14.49	82	68.91
ESC	202	0.30	23	19.33
SAND	14557	21.84	82	68.91
CDV	176	0.26	47	39.50
OV	3	0.00	3	2.52

El la figura 6 se observa la distribución espacial y cobertura de algas cafés para cada uno de los sitios con símbolos graduados (círculos) de acuerdo a los intervalos de porcentajes relativos definidos, siendo frente al municipio de Dzidzantún el único sitio con el mayor porcentaje de cobertura; la mayoría de los sitios presentaron coberturas menores al 10 %.

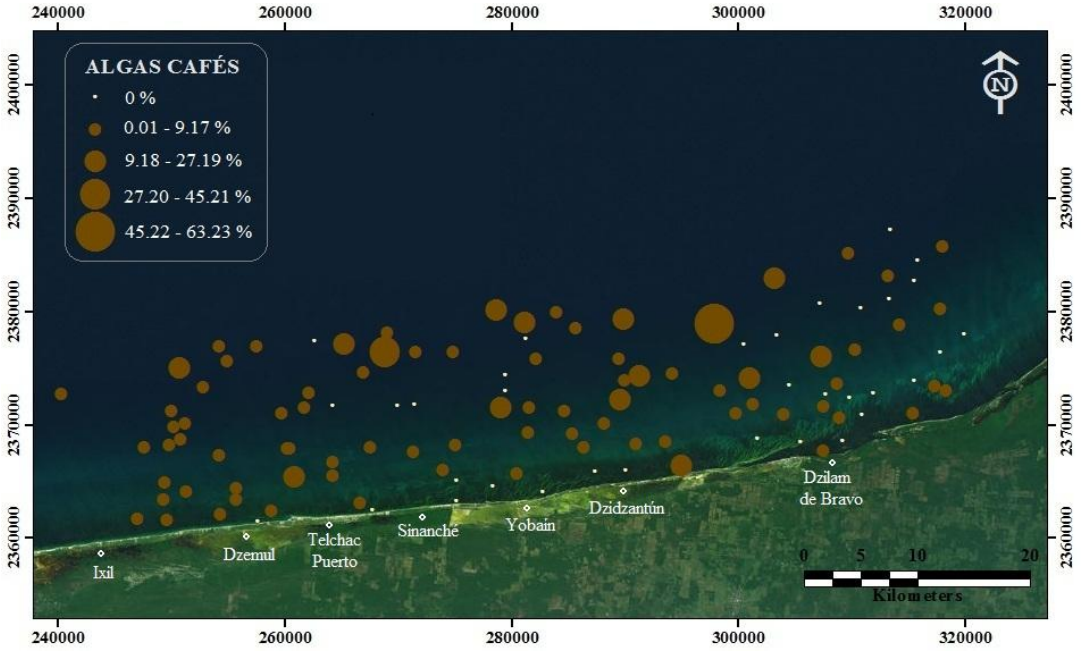

Figura 6. Mapa de distribución espacial y cobertura de algas cafés. El tamaño de los círculos corresponde a los rangos de porcentaje de cobertura mostrados en la leyenda.

Las algas rojas (AR) se registraron en 63 % de sitios, con 6% de cobertura total (Tabla 3), también con alta distribución pero baja dominancia. Los porcentajes de cobertura para cada sitio van de 0 % al 62 % (Fig. 7), siendo frente al municipio de Yobaín el único sitio con el mayor porcentaje de cobertura. La mayoría de los sitios presentaron coberturas menores al 10 %, los pocos sitios con coberturas de entre 10% a 45% se distribuyeron entre los municipios de Dzidzantún a Ixil.

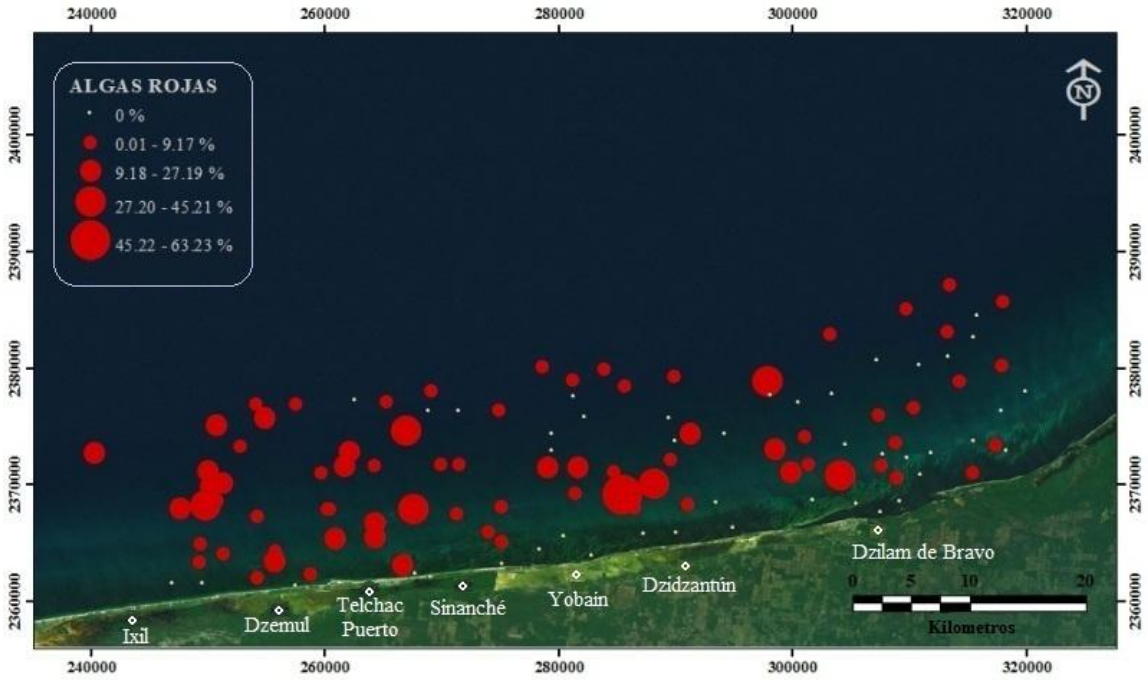

Figura 7. Mapa de distribución espacial y cobertura de algas rojas. El tamaño de los círculos corresponde a los rangos de porcentaje de cobertura mostrados en la leyenda.

Las algas verdes (AV) se registraron en el 69 % de sitios, con un porcentaje de cobertura total de 9.40 % (Tabla 3). Frente al municipio de Telchac Puerto fue el único sitio con el mayor porcentaje de cobertura (Fig. 8); la mayoría de los sitios presentaron coberturas menores al 10 %, y los pocos sitios con coberturas de entre 10 y 45% se distribuyeron entre los municipios de Dzidzantun a Ixil.

Por su parte, los pastos marinos (P) se registraron en 31% de sitios, con 15% de cobertura total (Tabla 3), representando una distribución no amplia pero con alta dominancia. Las coberturas se distribuyeron a lo largo de la línea de costa (siempre cerca de ésta), con las mayores abundancias (> al 63 %) entre los municipios de Dzilam de Bravo hasta Yobaín, y < al 63 % entre Sinanché e Ixil, con ausencia frente Telchac Puerto (Fig. 9).

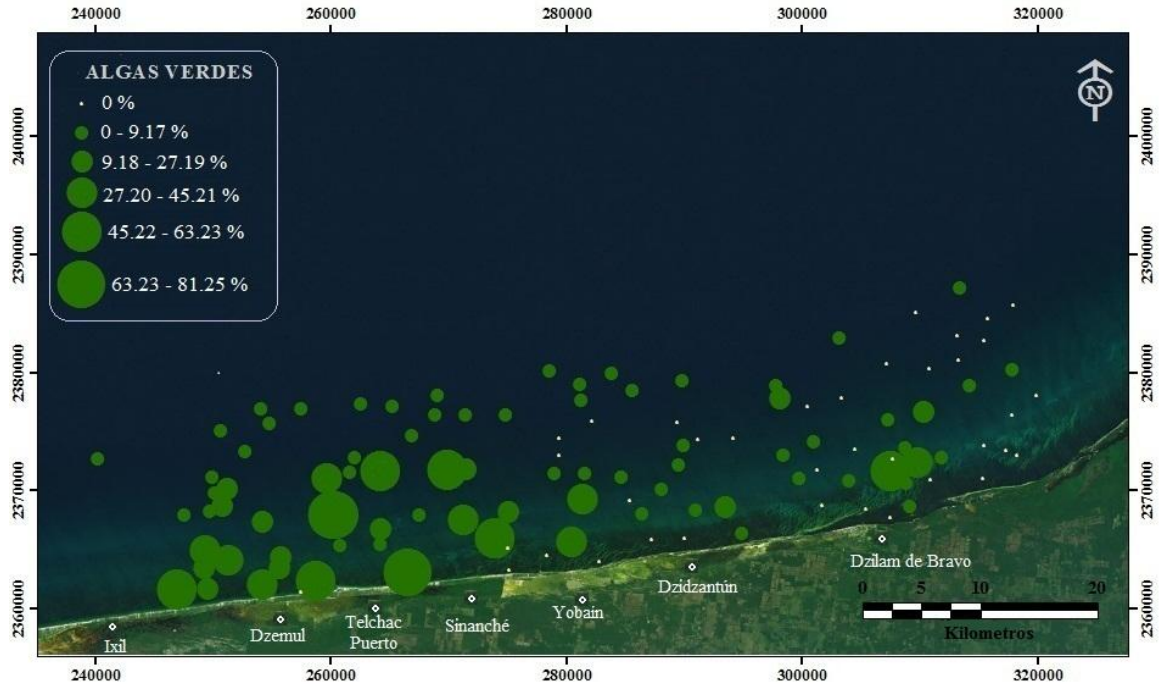

Figura 8. Mapa de distribución espacial y cobertura de algas verdes. El tamaño de los círculos corresponde a los rangos de porcentaje de cobertura mostrados en la leyenda.

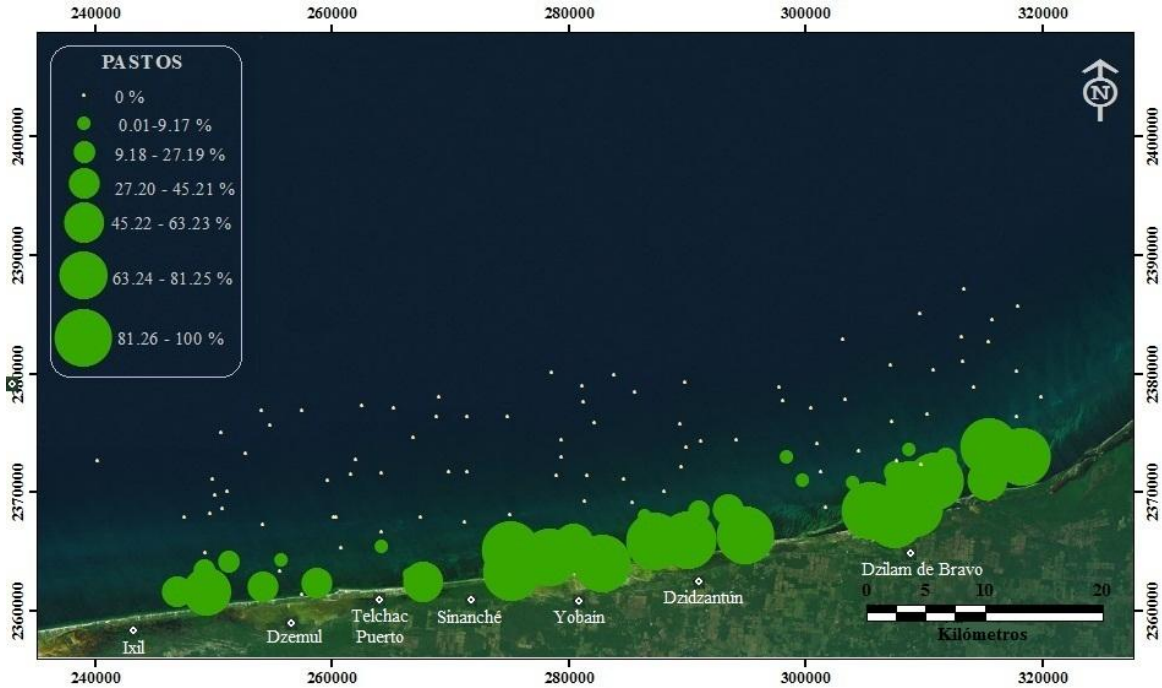

Figura 9. Mapa de distribución espacial y cobertura de pastos marinos. El tamaño de los círculos corresponde a los rangos de porcentaje de cobertura mostrados en la leyenda.

El Césped algal (CA), se registró en 75 % de los sitios, con 26 % de cobertura total, siendo el GMF de mayor presencia y dominancia (Tabla 3). Se observa que conforme se aleja de la línea de costa aumenta el porcentaje de cobertura, presentándose en los sitios más alejados las abundancias > al 63 % (Fig. 10).

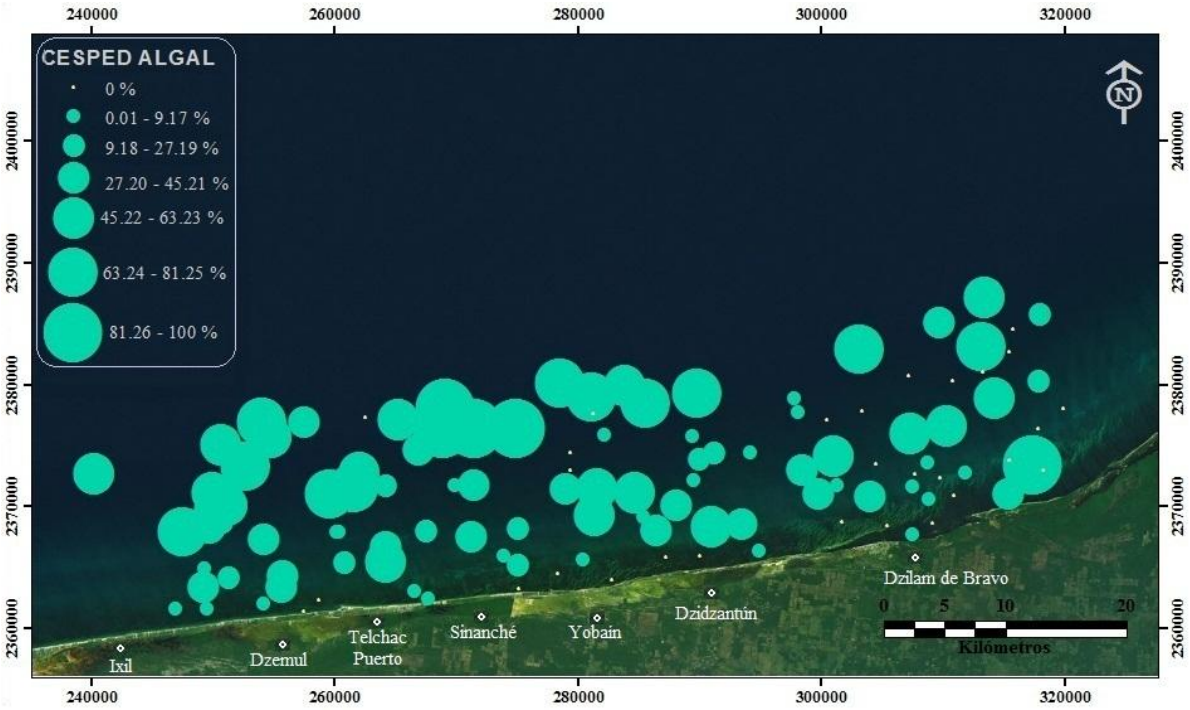

Figura 10. Mapa de distribución espacial y cobertura de césped algal. El tamaño de los círculos corresponde a los rangos de porcentaje de cobertura mostrados en la leyenda.

En lo que respecta a los GMF abióticos, el pavimento (PAV) se presentó en 69 % de los sitios, con 14 % de cobertura total, mostrando así una amplia distribución y dominancia media (Tabla 3). La mayoría de los sitios presentaron coberturas de entre 0 a 27% distribuidos en la mayor parte de la zona de estudio, excepto en aquellos sitios frente al municipio de Dzilam de Bravo donde se presenta arena (Fig. 11).

La arena (ANA) se registró en 69 % de sitios, con 22 % de cobertura, teniendo una amplia distribución y dominancia alta (Tabla 3). La arena se distribuyó principalmente frente del municipio de Dzilam de Bravo; sin embargo, la mayoría de los sitios presentaron una cobertura de 0 a 27 % entre los municipios de Dzidzantún a Ixil (Fig.12).

Es importante notar que en aquellos sitios con baja cobertura de arena (Fig. 12) no hay una cobertura alta de pavimento (Fig.11) sino sitios con alta cobertura de césped algal, ya que, tanto el césped algal como las macroalgas, aprovechan aquellos sustratos duros (laja) disponibles para sujetarse, haciendo poco evidente la presencia del pavimento.

La distribución de los GMF de menor porcentaje de cobertura (de 0.05 % a 0.6 % de cobertura total) en la zona de estudio se muestran en las figuras 13 y 14. El Escombro (conchuela) se presentó en el 19 % de los sitios con una cobertura total de 0.3 % (Tabla 3) y una cobertura por sitio que varió entre el 0% (la mayoría de los sitios) a 6.25 % (Fig. 13).

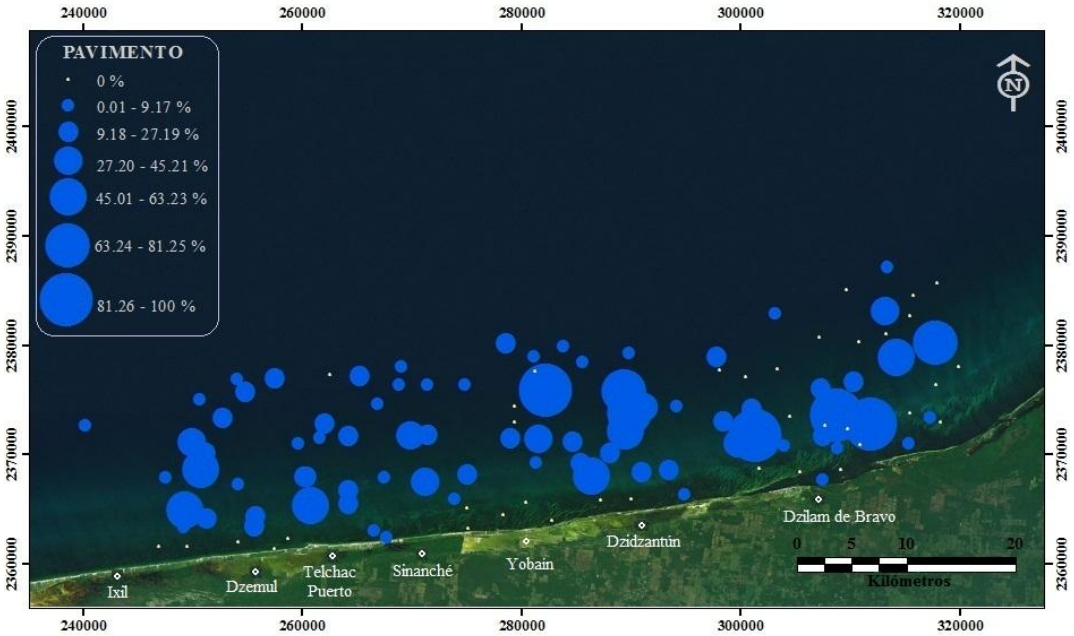

Figura 11. Mapa de distribución espacial y cobertura de pavimento o laja. El tamaño de los círculos corresponde a los rangos de porcentaje de cobertura mostrados en la leyenda.

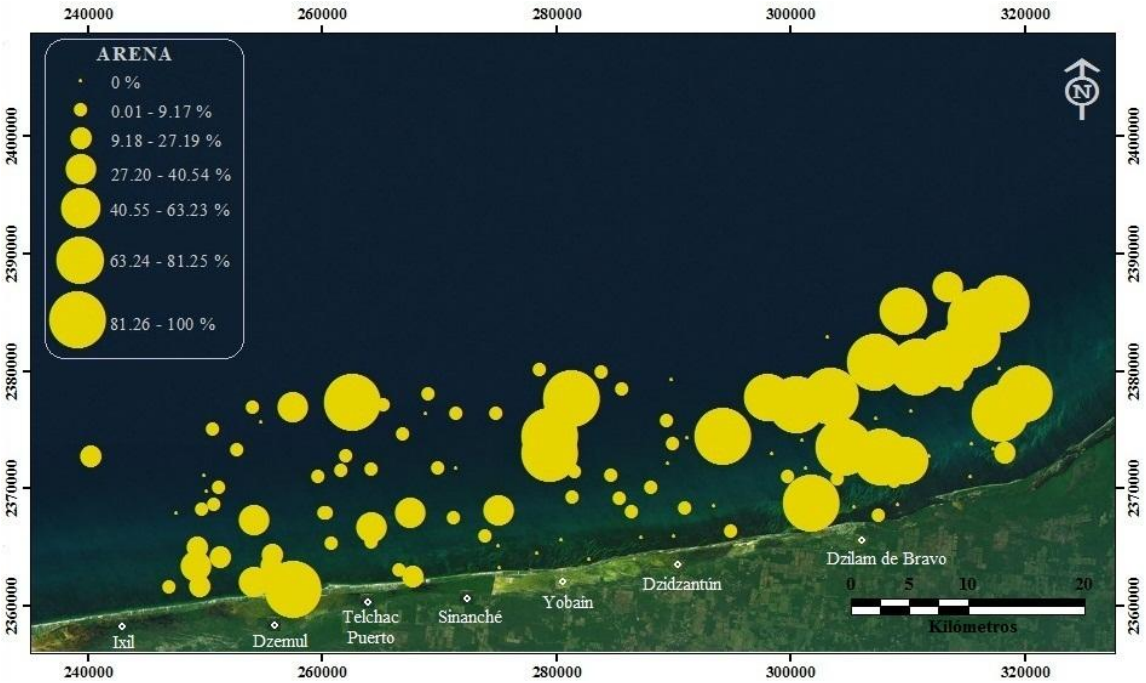

Figura 12. Mapa de distribución espacial y cobertura de arena. El tamaño de los círculos corresponde a los rangos de porcentaje de cobertura mostrados en la leyenda.

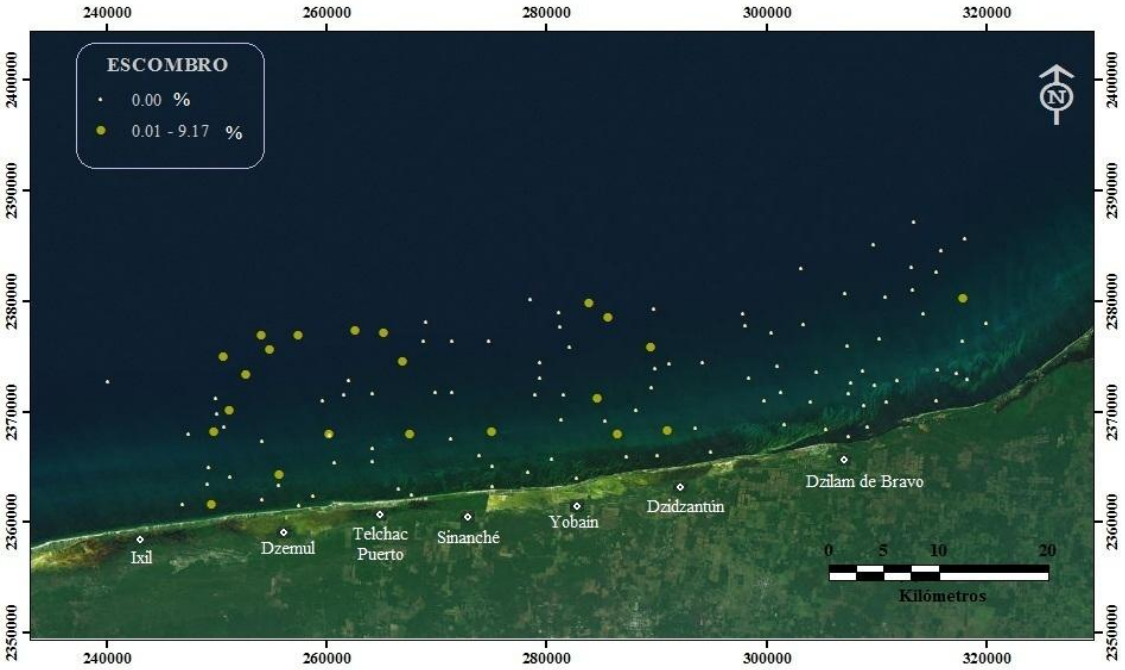

Figura 13. Mapa de distribución espacial y cobertura de Escombro. El tamaño de los círculos corresponde a los rangos de porcentaje de cobertura mostrados en la leyenda.

Los corales blandos (CB) se presentaron en 17 % de los sitios, con una cobertura total de 0.6 %. (Tabla 3). La cobertura por sitio varió de 0% (para la mayoría de los sitios) a 26 % en dos sitios, frente al municipio de Dzidzantún y Telchac Puerto (Fig. 14-A).

Los corales duros (CD) se presentaron en 32 % de sitios, con 0.3 % de cobertura total (Tabla 3), y coberturas por sitio entre 0% (para la mayoría de los sitios) y 13 % en dos sitios frente a Telchac Puerto (Fig. 14-B). Los equinodermos (E) se presentaron en 13 % de los sitios, con 0.05 % de cobertura total (Tabla 3), con coberturas por sitio que variaron entre 0 % (mayoría de los sitios) a 0.89% (Fig. 14-C). Las esponjas (ESP) se presentaron en 31 % de los sitios, con 0.23 % de cobertura total (Tabla 3), con coberturas por sitio de 0 % (mayoría de sitios) a 2.32 % (Fig.14-D).

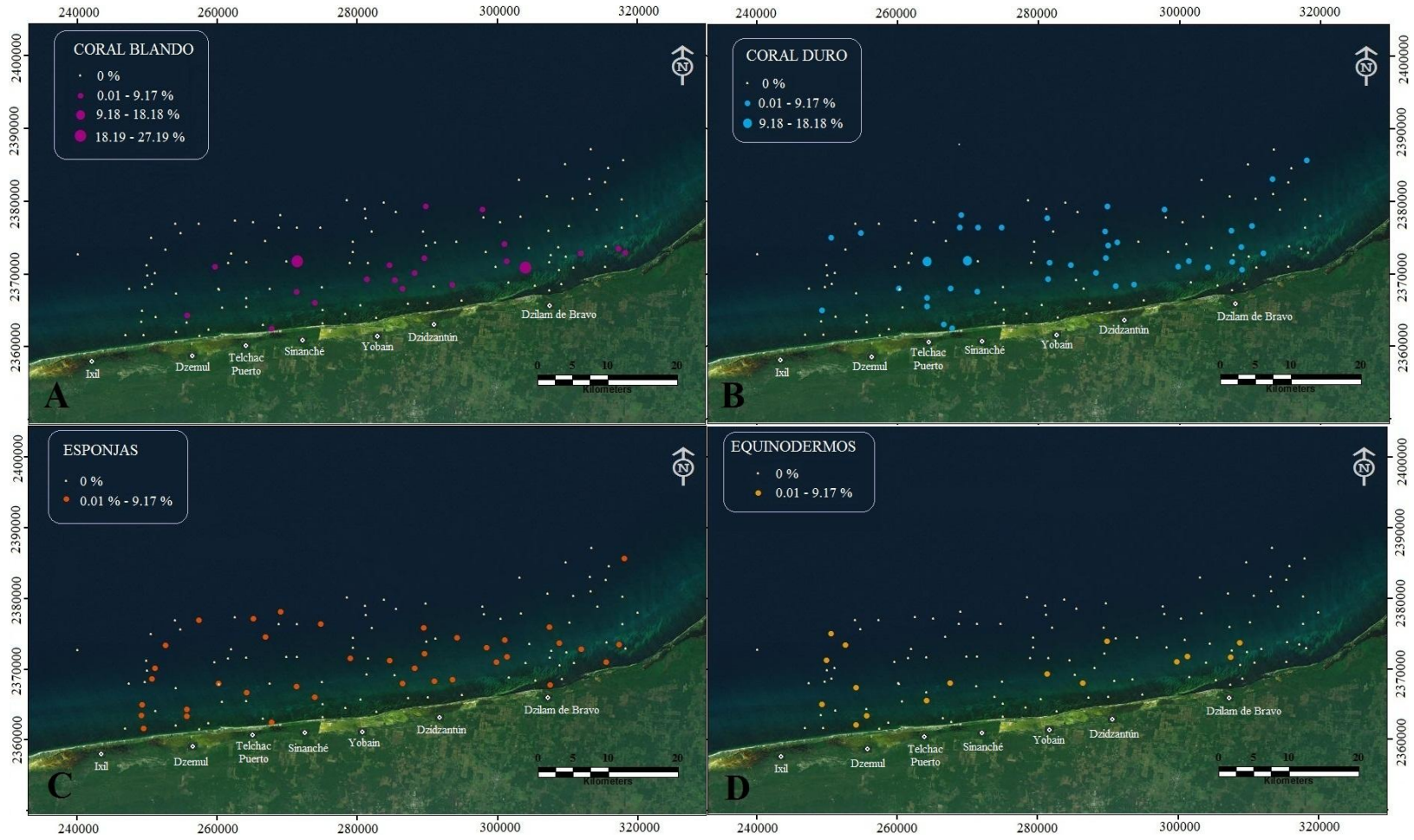

Figura 14. Mapa de distribución espacial y cobertura de coral blando (A), coral duro (B), esponjas (C) y Equinodermos (D). El tamaño de los círculos corresponde a los rangos de porcentaje de cobertura mostrados en la leyenda.

Análisis multivariados

En el dendrograma derivado del análisis de agrupamiento a un punto de corte del 52 % de similitud, se formaron 5 grupos o clases de fondo (Fig.15-A).

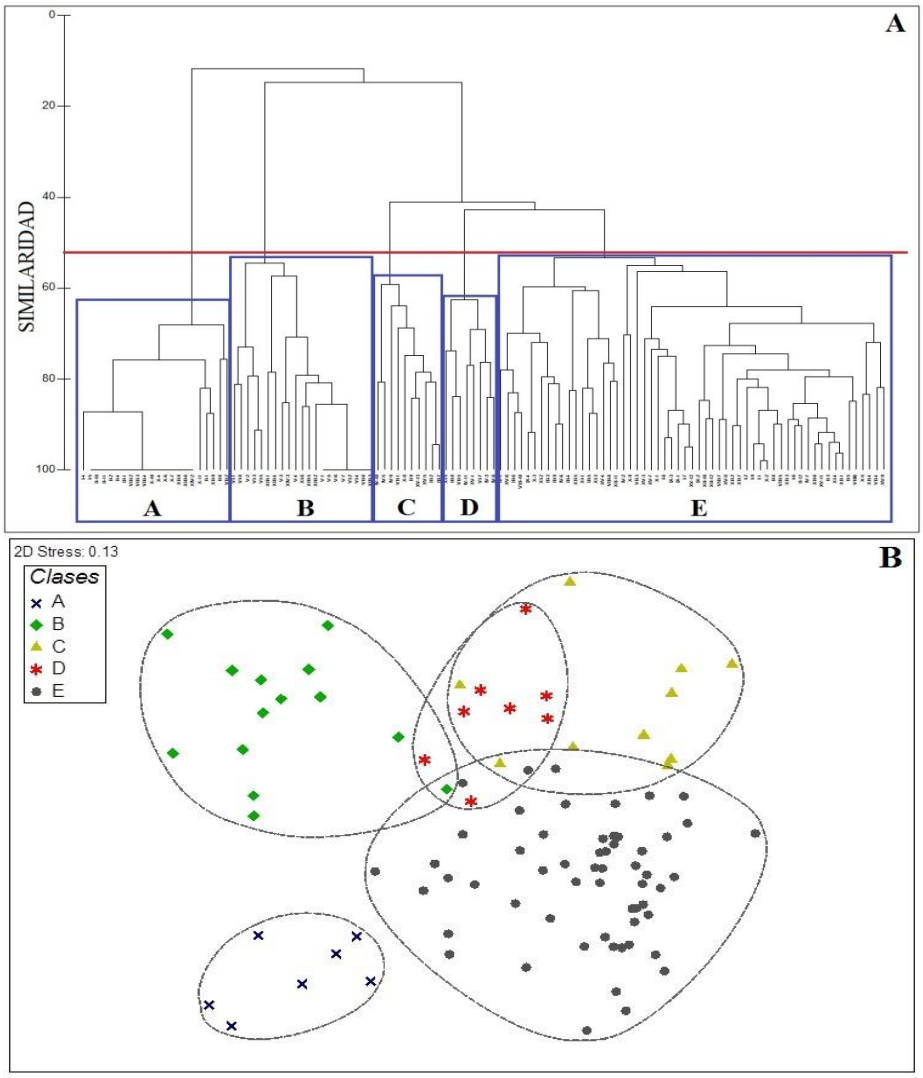

Figura 15. A) Dendrograma obtenido del análisis de agrupamiento con el método de grupo promedio y B) Escalamiento multidimensional no métrico (MDS, por sus siglas en ingles). Ambos obtenidos de una matriz de similitud de Bray-Curtis. Note que el corte a 52 (línea roja en el dendrograma) forma cinco grupos que son identificados con líneas punteadas grises en el gráfico derivado del MDS.

A diferencia del dendrograma, en el MDS se distinguieron 4 grupos ya que el grupo D y C acotado en el dendrograma están totalmente traslapados en el MDS, con un nivel de estrés aceptable de 0.13 (Fig. 15-B). De esta manera, los grupos D y C delimitados en el dendrograma constituyen un solo grupo, ya que contiene componentes en porcentajes muy similares. En la tabla 4 se describen los cuatro grupos o clases observados en el MDS.

El grupo C-D también se encuentra cercano a los grupos B y E, debido a que contiene como elemento dominante a las algas verdes y pavimento, pero además en menor porcentaje los componentes arena, pastos y macroalgas, componentes también presentes, aunque con diferentes coberturas, en las clases vecinas B y E, dando una menor distancia entre sus centros (Fig.15-B).

Tabla 4. Grupos de sitios, definidos a partir del análisis de conglomerados y MDS.

Grupo	**Cobertura principal**	**Número de sitios**	**Descripción**
A	Arenal con algas dispersas	22	Representado en su totalidad por sustrato desnudo de arena y/o presencia de pequeños parches dispersos de algas y turf.
B	Pastos con algas dispersas	21	Representado por praderas de pastos, en algunas estaciones se puede observar algas verdes y césped algal en menor porcentaje. En algunos sitios, pequeños parches de arena dispersos.
C-D	Pavimento desnudo con algas dispersas	18	Dominado por parches grandes de sustrato duro (pavimento o laja) desnudo con parches de algas verdes y, de manera dispersa, algas rojas, cafés y césped algal. También coral duro, coral blando, pastos y arena de poco espesor dispersos, lo que sugiere ser zona de transición.
E	Zonas de césped algal y macroalgas	58	Dominancia de césped algal y macroalgas en sustrato duro o laja presentando, en algunos casos, grava ó escombro (conchuela) y corales blandos dispersos. Algunos sitios con parches dispersos de arena de poco grosor.

El análisis SIMPER señaló que el GMF de mayor importancia y con mayor contribución a la similitud dentro del grupo A fue la arena (ANA), contribuyendo con poco más del 99% de la similitud promedio total (87.92 %) (Tabla 5), definiendo a este grupo como zona de arenales.

Tabla 5. Desglose de similitud promedio para cada GMF de la clase o grupo A. Similitud promedio total = 87.92 %. Sim. =similitud promedio, D.E. = desviación estándar de la similitud.

GMF	Abundancia media	Similitud promedio	Proporción Sim./D.E.	Similitud relativa (%)	% similitud acumulada
ANA	9.73	87.34	6	99.33	99.33
CA	0.66	0.5	0.16	0.57	99.9
AV	0.37	0.09	0.07	0.1	100

En el grupo B los pastos (P) contribuyeron con un 92.68 %, las algas verdes (AV) con 3.5 % y la arena (ANA) con 1.96 % de una similitud promedio total de 69.05 % (Tabla 6), definiendo a este grupo como zonas de praderas de pastos, con algas verdes dispersas y parches desnudos en donde el sustrato dominante es arena.

Tabla 6. Desglose de similitud promedio para cada GMF de la clase o grupo B. Similitud promedio total = 69.05 %. Sim. =similitud promedio, D.E. = desviación estándar de la similitud.

GMF	Abundancia media	Similitud promedio	Proporción Sim./D.E.	Similitud relativa (%)	% similitud acumulada
P	8.83	63.99	3.17	92.68	92.68
AV	1.69	2.41	0.3	3.49	96.17
ANA	1.13	1.35	0.26	1.96	98.13
CA	0.87	1.02	0.27	1.47	99.6
AC	0.41	0.21	0.12	0.3	99.91
PAV	0.25	0.06	0.07	0.09	100

En el grupo C-D, los cuatro GMF que contribuyeron con 90 % de la similitud total, que en promedio fue de 53.78 %, pavimento o laja (PAV), algas verdes (AV) y césped algal (CA) el resto de los GMF (AC, ANA, AR, P y CD) influyeron poco en similitud promedio total, caracterizando al grupo con cobertura en mayor proporción de algas verdes con parches descubiertos en donde el sustrato dominante es pavimento con presencia de parches dispersos de céspedes algales, algas rojas, algas cafés y pastos (Tabla 7).

Tabla 7. Desglose de similitud promedio para cada GMF de la clase o grupo C-D. Similitud promedio total = 53.78 %. Sim. =similitud promedio, D.E. = desviación estándar de la similitud.

GMF	Abundancia media	Similitud promedio	Proporción Sim./D.E.	Similitud relativa (%)	% similitud acumulada
PAV	6.56	30.86	1.67	57.38	57.38
AV	3.99	10.06	0.67	18.70	76.08
CA	2.30	7.61	0.96	14.16	90.23
AC	1.12	1.74	0.39	3.24	93.47
ANA	0.92	1.25	0.32	2.33	95.80
AR	0.81	1.10	0.32	2.05	97.85
P	1.01	1.04	0.26	1.94	99.79
CD	0.39	0.11	0.11	0.21	100.0

Por último, en el grupo E los GMF que contribuyeron con poco más del 92 % a la similitud promedio total fueron el césped algal (CA), el pavimento (P), las algas cafés (AC) y las rojas (AR); en menor porcentaje las algas verdes (AV) también contribuyeron (Tabla 8). De tal forma el grupo se caracterizó por la presencia de césped algal, con parches desnudos de pavimento y donde las macroalgas tienen oportunidad de adherirse (en mayor proporción algas cafés y algas rojas). Para este grupo y el anterior (grupo C-D) la similitud promedio total fue la más baja, ya que hay un mayor número de GMF que influyen en la formación de estos grupos, es decir, son los más heterogéneos.

Tabla 8. Desglose de similitud promedio para cada GMF de la clase o grupo E. Similitud promedio total = 61.92 %. Sim. =similitud promedio, D.E. = desviación estándar de la similitud.

GMF	Abundancia media	Similitud promedio	Proporción Sim./D.E.	Similitud relativa (%)	% similitud acumulada
CA	7.04	34.33	3.1	55.44	55.44
PAV	3.29	11.41	1.28	18.42	73.86
AC	2.14	6.07	0.82	9.8	83.66
AR	2.34	5.48	0.65	8.84	92.5
AV	1.69	3.53	0.57	5.7	98.2
ANA	1.06	0.9	0.21	1.46	99.66
P	0.35	0.13	0.1	0.21	99.87
ESC	0.21	0.05	0.08	0.09	99.95
CB	0.22	0.03	0.04	0.05	100

Los análisis de disimilitud entre el grupo A con los grupos E (Anexo, Tabla 12), C-D (Anexo, Tabla 16), y B (Anexo, Tabla 14), mostraron disimilitudes promedio totales altas, variando 87.26 % a 89.40 %, debido a que en la clase A domina el GMF arena (ANA) y en los otros grupos el césped algal (CA), pavimento con algas verdes y pasto respectivamente.

La disimilitud entre el grupo B con los grupos C-D (Anexo, Tabla 17), y E (Anexo, Tabla 13) mostraron disimilitudes promedio totales alta, con valores de 81.89 % y 86.23 % respectivamente, debido a que en la clase B domina el GMF pastos (P), y en los otros grupos el pavimento (PAV) con algas verdes (AV) y césped algal (CA) con macroalgas (en menor proporción) respectivamente

La disimilitud entre el grupo C-D con el grupo E fue la más baja con 58.14 %, ya que ambos grupos están compuestos de GMF similares pero en distintas proporciones como el césped algal (AL), pavimento (PAV), algas verdes (AV), algas rojas (AR), algas cafés (AC), arena y coral blando, sin embargo, son disimiles principalmente debido a que en la clase C-D domina el GMF pavimento (PAV), y en la E el césped algal (CA).

La representación espacial de los sitios analizados, etiquetados de acuerdo a los resultados del análisis de conglomerados y MDS, se muestra en la Figura 16. El grupo o clase B, representada por los sitios con praderas de pastos marinos, se distribuyen a partir de ~250 m de la línea de playa hasta los~4 km, a profundidades de~1.5 m a 5 m; Dzilam de Bravo fue la localidad con la presencia de pastos marinos a mayor distancia de la línea costera.

Los sitios del grupo E se distribuyeron a partir de ~2.5 km de la línea de costa (frente a Dzemul se observa el sitio más cercano) hasta ~17 km (frente a Dzilam de Bravo se observa el sitio más lejano), a profundidades de~4m hasta 15m. Este grupo se caracteriza por la dominancia de macroalgas y turf en sustrato duro; sin embargo, aquellos sitios que se encuentran a distancias de entre ~2.5 a ~9km en el punto más lejano frente a Telchac Puerto (con profundidades de entre ~4 m a ~9m) tuvieron la presencia (en baja cobertura) de pastos, algas verdes y parches de arena (de poco grosor), lo que podría sugerir que conforman una zona de transición. De los ~6 km (en el punto más cercanos frente a Telchac Puerto) en adelante los sitios presentan pavimento con un aumento de densidad (observada en campo, mas no cuantificada) de césped algal, algas rojas y algas cafés.

La clase C-D que agrupa los sitios con pavimento desnudo (sustrato duro desnudo) con parches de algas (mayormente verdes), tuvo el sitio más cercano frente a Telchac Puerto a una distancia de la línea de costa de ~1.5 km, y su punto más lejano frente a Yobaín, a una distancia de ~11 km, con profundidades de ~3m a ~10m. Los sitios entre los~4 y 6 km de distancia de la costa se caracterizaron por la presencia en mayor porcentaje de algas verdes (en Ixil) con algas rojas y cafés dispersas y césped algal (en Dzilam de Bravo).

Después de ~6 km de la línea de costa, los sitios se caracterizaron por tener parches de algas cafés, algas rojas y turf (frente a Dzidzantún y Yobaín). Este grupo podría considerarse conformando una zona de transición entre la zona de pastos marinos y las zonas de turf y macroalgas sobre sustrato duro.

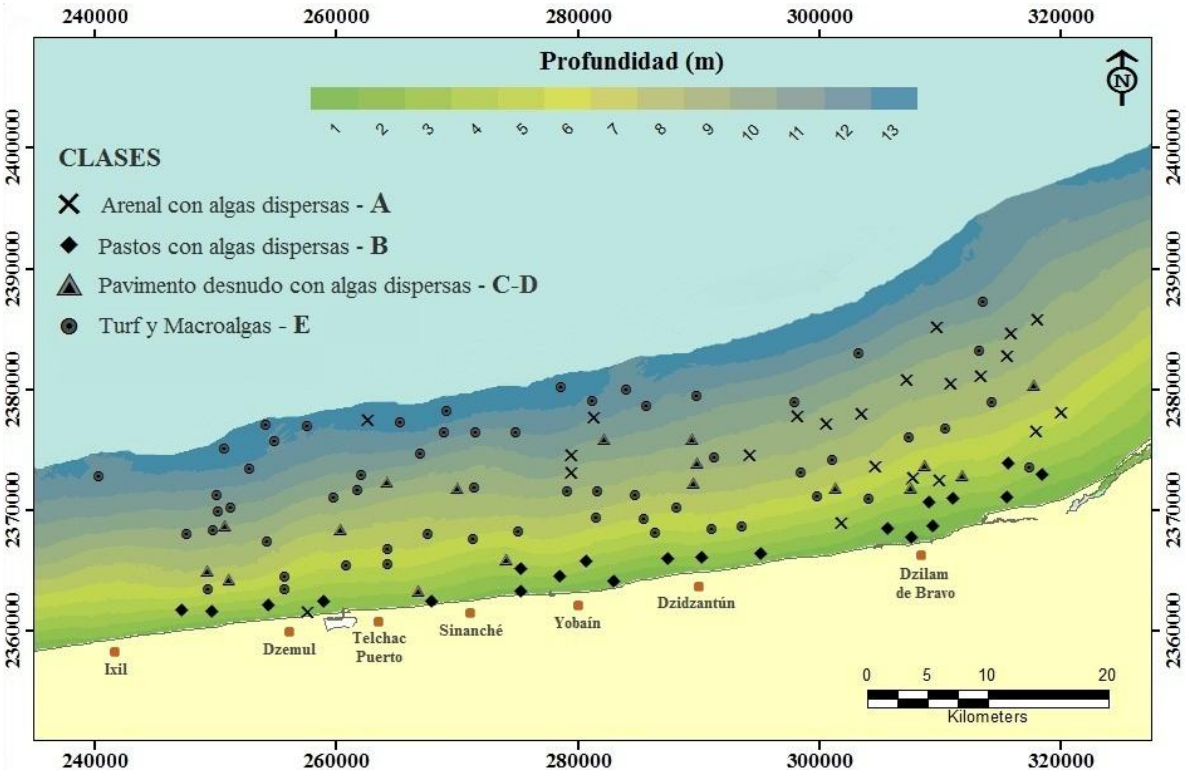

Figura 16. Ubicación de los sitios clasificados en base al análisis de agrupamiento jerárquico y en relación con la profundidad. Unidades geográficas en UTM.

Por último, la clase A conformada por sitios con dominancia de arena, tuvo el sitio más cercano a la costa frente a Dzemul, a una distancia de~300 m y el más lejano a ~17 km (frente a Dzilam de Bravo), a profundidades de ~3m a 15 m. Frente a las costas de Dzilam de Bravo se puede observar la presencia de la mayoría de los sitios de esta clase, entre sitios de pastos y macroalgas.

Análisis geoestadístico

En el análisis exploratorio de los datos de cada variable se observó que había una aproximación distinta a una distribución normal, por lo que se transformaron los datos con raíz cuarta. Los valores de sesgo indicaron que todas las variables tendían a una asimetría positiva, excepto las algas cafés (AC) y pavimento (PAV), siendo ésta última la menos asimétrica (error estándar del sesgo = 0.23). En lo que respecta a la curtosis, los valores calculados indicaron que todos los GMF no tenían una distribución mesocúrtica (error estándar de la curtosis = 0.46) (Tabla 10).

Con base en los semivariogramas obtenidos para cada GMF, las algas cafés (AC), algas rojas (AR), césped algal (CA), algas verdes (AV), pastos (P) y arena (ANA) fueron espacialmente estructurados, excepto el pavimento. Los modelos que mejor explicaron la estructura espacial fueron el esférico y el exponencial, de acuerdo a los valores del coeficiente de determinación (r^2) y a la suma de cuadrados residuales (RSS) (Tabla 9).

El modelo teórico de los pastos que mejor se ajustó a los variogramas experimentales fue el esférico; y el resto de los GMF se ajustaron de mejor forma al modelo exponencial, con valores de r^2 que fueron desde 0.338 (valor más bajo para PAV y que denota que no hay ajuste) a 0.954 (valor más alto para AV) (Tabla 9).

La proporción de la varianza explicada para pavimento (PAV), arena (ANA), algas rojas (AR) y césped algal (CA) indicó que la variabilidad en los valores de su cobertura son explicados por el modelo entre 50 % y 64 %, con un error entre 36 % y 50 %. Para algas cafés (AC), algas verdes (AV), y pastos (P) el modelo explicó la mayor parte de la

variabilidad en los valores de cobertura, entre 73 % y 84 %, con un margen de error entre 16 % y 27 % (Tabla 9).

Las distancias en las cuales aún se tenía autocorrelación (tamaño del parche) para los siete GMF, varió entre 15,000 m (para pastos) a 54,000 m (para algas cafés) (Tabla 9).

Tabla 9. Parámetros iniciales del análisis geoestadístico, indicando tipo de transformación de los datos (Trans.), medidas de distribución (sesgo y curtosis) y parámetros obtenidos del ajuste de modelos teóricos a los semivariogramas experimentales donde: C0=efecto pepita, C0+C=semivarianza asintótica, A_0= rango o distancia en (m), $C/(C_0+C)$=proporción de la varianza explicada, r^2= coeficiente de determinación y RSS=suma de cuadrados residuales para cada GMF.

GMF	Trans.	sesgo	curtosis	Variograma teórico						
				Mod.	Co	Co+c	A0	C/(C0+C)	r^2	RSS
AC	raíz 4ta	-0.11	-1.15	exp.	0.363	1.348	54170	0.731	0.925	6.858E-03
AR	raíz 4ta	0.38	-1.13	exp.	0.4990	1.264	54570	0.605	0.782	0.0148
CA	raíz 4ta	0.44	-1.32	exp.	1.007	2.8250	33000	0.644	0.856	0.0266
AV	raíz 4ta	0.17	-1.11	exp.	0.4940	3.098	43600	0.841	0.954	0.0206
P	raíz 4ta	1.19	-0.30	esf.	0.313	1.486	15210	0.789	0.892	0.0864
PAV	raíz 4ta	-0.06	-1.35	exp	0.9450	1.891	33000	0.500	0.338	0.0343
ANA	raíz 4ta	0.5	-1.20	exp	0.023	2.453	33000	0.500	0.743	0.0230

Con los semivariogramas generados se realizó la interpolación por medio del krigeado ordinario (KO) para aquellas variables con valores de r^2 cercanos a 1 y RSS lo más cercanos a 0. El resultado final del Kriging ordinario fueron siete 7 mapas con los valores interpolados de la variable y cada uno con un coeficiente de determinación (r^2) de la validación cruzada (Tabla 10).

Del análisis de validación cruzada (Tabla 10) de todos los GMF mostraron desviaciones sensibles respecto al valor unitario ideal (valor ideal =1) y valores muy altos de bondad de ajuste, error medio absoluto (MAE) y la raíz del error cuadrático medio

(RMSE) (valor ideal= 0); el grado en que el RMSE excedió al MAE indicó la presencia de datos extremos y coeficientes de efectividad muy bajos para los mapas de cada GMF.

Tabla 10. Resultados de coeficiente de determinación de la validación cruzada, indicando el error medio (ME), error medio absoluto (MAE), la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y el coeficiente de eficiencia (E)

GMF	Validación cruzada	Bondad de ajuste			
	r2	ME	MAE	RMSE	E
AC	0.146	0.0085	0.570	0.6896	15.8387
AR	0.150	-0148	0.5992	0.771	14.7738
CA	0.065	0.0016	0.8374	1.074	4.588
AV	0.111	-0229	0.6115	0.7980	30.725
P	0.674	0.0012	0.3924	0.668	66.83
PAV	0.031	-0.0118	0.8960	1.0324	0.050
ANA	0.011	0.0118	0.9345	1.1761	-1.038

De tal manera, la bondad de ajuste indicó que la interpolación de datos por medio de Krigeado ordinario no fue efectiva, es decir que los mapas generados no representaron de manera adecuada los patrones de distribución de los GMF y en consecuencia los mapas no se incluyeron en los resultados.

DISCUSIÓN

Diseño de Muestreo

El uso de las imágenes satelitales (como las del satélite Landsat ETM+) para ambientes marinos, particularmente para arrecifes de coral poco profundos, han demostrado ser una herramienta rentable, cuando el objetivo es mapear zonas grandes y complejas a un nivel grueso de descripción, sin embargo, la información que proporcionan la obliga a ser apoyada por datos de campo (Green *et al*., 2000; Bello-pineda *et al*., 2005).

De esta manera, para adquirir el conjunto de datos de campo geo-referenciados, se realiza como primer paso, una clasificación no supervisada de la imagen, que consiste en un agrupamiento de los pixeles en distintas clases de acuerdo con un cierto criterio estadístico (ISODATA o K-medias), a las cuales se les atribuye un número de puntos en función de la proporción del área (también diseño aleatorio estratificado) (Green *et al*., 2000). Por lo tanto un método no supervisado, puede ser un excelente paso previo para encarar un trabajo de campo que concluye en una clasificación supervisada. Esta metodología ha sido aplicada por diferentes autores para caracterizar diferentes arrecifes, tal como Garza-Pérez *et al*., 2004; Bello- Pineda *et al*., 2005; Shapiro y Rohmann, 2005; Palafox-Juárez *et al*., 2012, obteniendo mapas con precisiones del 77%, 70%, 75% y 76 % respectivamente.

De esta manera, resultó útil (al igual que para los autores citados anteriormente), el uso de la clasificación no supervisada de una imagen satelital, dado que no se tenía conocimiento a priori de la zona en cuestión, proporcionando una primera aproximación sobre la presencia y distribución de clases espectrales y, como punto de partida para planear el trabajo de campo; sin embargo, este trabajo no concluyó con una clasificación

supervisada, ya que la finalidad fue utilizar otras herramientas de análisis comunitarios y SIG para caracterizar los componentes bentónicos e intentar explicar sus patrones de distribución.

Muestreo con videos submarinos

La técnica de trasectos de video se ha utilizado principalmente para el estudio en zonas arrecifales en diversas partes del mundo (Carleton y Done, 1995; Aronson y Swanson, 1997; Sweatman *et al*., 2008; McGann y Creary, 2008; Creary *et al.,* 2012), donde la técnica resultó ser una buena opción con respecto a cubrir áreas amplias en corto tiempo, con menor esfuerzo, proporcionando registros permanentes de alta nitidez. Cruz *et al*. (2008) mencionan, al igual que los autores citados anteriormente, que la principal desventaja de ésta técnica es la resolución taxonómica limitada para la identificación a nivel de especie de algunos grupos, especialmente aquellos con dimensiones reducidas. Esta desventaja también representó una dificultad para nuestro trabajo, ya que se empleó una distancia perpendicular al fondo de un metro, siendo más difícil la identificación de organismos de tamaños reducidos; a pesar de ello, esta distancia fue suficiente para identificar y obtener los valores de cobertura de los GMF.

Determinación del esfuerzo mínimo de muestreo

Las estimaciones de cobertura, diversidad y densidad de comunidades bentónicas varía en función de la metodología utilizada en la colección de datos, es decir, dependen del tamaño ó el largo del transecto, el número de replicas usadas, el número de cuadros analizados por transectos de video y el número de puntos analizados en imágenes (Houk y

Van Woesik, 2006). También determinar el tamaño mínimo de muestra asegura que un número suficiente de muestras sean colectadas, ya que si el tamaño de muestra es muy pequeño, el poder del estudio probablemente sea insuficiente, y si es grande, podría ser un esfuerzo de muestreo sobredimensionado (Pante y Dustan, 2012).

En este estudio fue evidente que al aumentar el número de cuadros analizados por transecto (60 cuadros) y disminuir el número de puntos aleatorios (15 puntos) sobre el cuadro, la asíntota era alcanzada a un número menor de cuadros (22 cuadros), no obstante, tratando de evitar que pudiera haber superposición de imágenes y pérdida de información, de manera conservadora se decidió utilizar el tamaño de muestra obtenido con una partición menor del transecto de video (50 cuadros) y el número medio-alto de puntos (20), con los cuales se alcanzó la asíntota a los 28 cuadros. Esta decisión corresponde con lo mencionado por Hoak y Van Woesik (2006) y Pante y Dustan (2012), quienes señalan que el aumento del número de cuadros analizados por transecto de 50 m, es la forma más eficaz de lograr una mayor potencia estadística en comparación con el aumento del número de puntos por cuadro, y que rebajar el número de puntos analizados por cuadro causa una disminución de la estimación para aquellos organismos menos comunes y más pequeños, provocando que no se representen adecuadamente.

En la literatura se encontraron diferentes diseños de análisis de transectos de video para la estimación de la cobertura de ambientes bentónicos, por ejemplo Brown *et al*. (2004) usaron en Hawái transectos de 10 m, con 20 cuadros por transecto y 50 puntos por cuadro, Sweatman *et al*. (2008) en Australia, usaron transectos de 50 m, con 40 cuadros y 5 puntos por cuadro, McGann y Creary (2008) en varios países del Caribe Oriental y Creary

et al. (2012) en Jamaica, usaron transectos de 20 m, con 50 cuadros y 10 puntos por cuadro. Ninguno de estos diseños coincide con lo obtenido para la comunidad bentónica de la porción central de Yucatán, dado que son trabajos realizados en ambientes bentónicos arrecifales coralinos, muy distintos al ambiente bentónico de nuestro estudio; de tal forma, la valoración bentónica va a depender de la cobertura propia del área de estudio (Hoak y Van Woesik, 2006).

El tamaño de muestra mínimo usado en este trabajo es cercano al obtenido por Barrientos (2011) (25 cuadros con 15 puntos por cuadro, pero con transectos de video de 2.05 min, correspondientes a 10 m de longitud), en la zona oriente de la costa de Yucatán. Sin embargo, mas esfuerzo fue requerido en nuestro estudio para acercarse a la saturación en las estimaciones de riqueza a nivel de GMF, dado que nuestra área total valorada fue de 1,400 km^2 y el área del trabajo mencionado fue de ~550 km^2.

Descripción de los componentes bentónicos

Ya que muchos factores contribuyen a la distribución y abundancia de una especie particular, es común que sea casi imposible el predecir su comportamiento de manera consistente, por lo que proponen el uso de los GMF que enfatiza las similitudes entre especies, incluyendo las no emparentadas que comparten características fundamentalmente organísmicas, y que además, al considerarlas como una unidad, se acepta que responden de forma similar a los cambios ambientales (Steneck y Dethier, 1994).

De esta manera se han reportado trabajos en donde se ha adaptado, de manera alternativa, el uso de los GMF para la descripción de los componentes de un área geográfica, por ejemplo Cuevas (2007), definió 10 GMF que correspondieron a arena, piso

calcáreo (laja), piedras grandes, cordilleras y cuevas, pastos marinos, gorgonaceos, corales pétreos, macroalgas y esponjas. Bello-Pineda *et al.* (2005) definieron 17 GMF, sustrato desnudo (arena, grava, escombro y coral muerto), algas (cafés, verdes y rojas), pastos (*Thalassia* y *Syringodium*), corales duros (ramosos, masivos, cerebros y planos), corales blandos (ramosos y extendidos), coral cubierto de algas y otros; en nuestro trabajo se definieron 14 GMF, de los cuales dos no pertenecen al bentos (cinta de video y otro tipo de vida), y que coincide con nueve de los grupos definidos por Bello-Pineda *et al.* (2005), aunque las macroalgas se separaron en algas cafés, rojas y verdes para alcanzar un nivel mas descriptivo en el presente trabajo y, los corales duros, corales blandos y pastos fueron diferenciados a un nivel taxonómico menor en el trabajo mencionado; también cuatro GMF definidos por Cuevas *et al.* (2007) coinciden con los establecidos en el presente trabajo.

Sin embargo, en este trabajo se agregaron dos grupos que no se mencionan en los trabajos anteriores, equinodermos y el césped algal, éste último se consideró independiente de las macroalgas por ser una asociación de algas rojas, verdes y cafés de tamaño muy reducido imposibles de diferenciar a simple vista. De tal forma, en el estudio presente resultó práctico el uso de los GMF, por reducir la alta diversidad de las especies a grupos generalmente reconocidos en la zona de estudio, que permitieron un sistema de clasificación más sencillo y práctico.

Componentes vivos

Las macroalgas son abundante a lo largo de la costa de Yucatán, debido a las características de la plataforma que favorecen su crecimiento, como es la profundidad escasa y poca pendiente, brindando una extensa superficie para establecerse y niveles de

irradiación óptimos (Robledo, 1996). También el tipo de sustrato es uno de los factores determinantes para el asentamiento de las macroalgas, por ejemplo, para las algas rojas y cafés, un sustrato duro (en forma de rocas ó pedacería) permite la fijación; en el caso de las algas verdes, no solo en sustratos duros, sino también en zonas de sustrato arenoso (Arellano-Méndez *et al*., 2011), por esta razón, entre las macroalgas, las algas verdes son las de mayor porcentaje de cobertura total y alta presencia para la zona de estudio (Fig.8), esto coincide con lo reportado por Garduño-Solórzano *et al*., (2005) que señalan que la mayor cantidad de especies de Chorophyceae (algas verdes) colectadas en la península de Yucatán, se encontraron en sustratos duros (rocas) y arena.

Por otro lado, las algas rojas y cafés son los de menor cobertura total entre las macroalgas para la zona de estudio, aunque con una alta presencia. Ortegón Aznar *et al.* (2010) mencionan que de las 111 especies de macroalgas reportadas para la costa de Yucatán, el 58 % son algas rojas, esto claramente ligado la disponibilidad de sustrato duro calcáreo en la zona centro de la costa del estado, que favorece el crecimiento de estas especies (también para algas cafés), relacionado a su forma de fijación (rizoide o disco).

Así mismo, la variación espacial, abundancia y tamaño de macroalgas tienen un comportamiento dinámico debido a que responden a ciclos temporales, por ejemplo, en la temporada de lluvia, época en la que se tomaron los datos de este estudio, las condiciones oceanográficas son más propicias para el crecimiento y reclutamiento de individuos en los diferentes sustratos, debido a baja turbulencia provocando aguas transparentes y frías en el fondo (Herrera-Silveira *et al*., 1998).

A pesar de las características favorables que se presentan en la temporada de lluvias y la cantidad de sustrato duro disponible en la zona de estudio (de Dzidzantún a Ixil), las algas rojas y algas cafés no fueron las más abundantes, pero sí aquellas algas con formaciones de tipo césped, ocupando sitios de sustrato duro ó rocoso (pavimento) y representando el mayor porcentaje de cobertura de todos los GMF con alta dominancia en el área de estudio (Fig. 10).

El césped algal es una asociación de macroalgas que tienden a formar tapetes gruesos y densos, en respuesta a diversas condiciones ambientales (Arnoldi y Virgilio, 1998; Demes *et al*., 2011). Comparado con las macroalgas, el césped algal crece y ocupa espacio libre más rápidamente y es menos vulnerable a estrés físico, causado por turbulencia del agua (corrientes fuertes) y pastoreo (Vemeij *et al*., 2010). La variabilidad espacial del césped algal (formación de parches) ha mostrado una influencia potencial en la distribución y abundancia de algunas especies erectas, que en el área de estudio pareciera que explotan de manera oportunista los huecos o espacios de sustrato relativamente libres (Arnoldi *et al*., 1995; Arnoldi y Virgilio, 1998; Arnoldi, 2001).

Estas formaciones de tipo césped han sido ampliamente estudiadas en arrecifes coralinos, y a pesar de su abundancia, las causas de la tendencia a monopolizar el espacio es poco conocido (Arnoldi *et al*., 1995; Arnoldi y Virgilio, 1998; Arnoldi, 2001;Vemeij *et al*., 2010), sin embargo, estudios han atribuido su abundancia al incremento de las concentraciones de nutrientes en las aguas costeras *(*Littler *et al*., 2006; Vemeij *et al*., 2010).

En Yucatán, debido a la naturaleza cárstica del sustrato, la zona costera está altamente influenciada por descargas de agua subterránea (DAS) cargadas de nutrientes, que fluyen hacia el mar durante la temporada de lluvias por medio de fracturas en la roca del lecho marino (en Dzilam de Bravo); también ingresan por lagunas costeras y por el resultado de diferentes actividades humanas que modifican la línea de costa, tales como desarrollos urbanos, portuarios y turismo (Aranda-Cicerol, *et al*., 2006; Morales-Ojeda *et al*., 2010). En primavera y verano la corriente de Yucatán (CY) introduce importantes volúmenes de agua fría, energéticas y ricas en nutrientes a la plataforma de Yucatán (PY) por medio de procesos de surgencia, que fluye perpendicular a la línea de costa en dirección dominante hacia el oeste (Merino *et al*., 1997; Piñeiro *et al*., 2001; Zavala-Hidalgo *et al*., 2003; Morey *et al*., 2005; Enríquez *et al*., 2010).

Herrera-Silveira *et al*. (2004) y Aranda-Cirerol *et al*. (2006) reportaron que nuestra zona de estudio es la más afectada (altos contenidos de nutrientes) por las actividades humanas, debido principalmente a entradas artificiales que conectan el manglar con el agua marina (de Ixil a Yobaín) y que, desempeñan un papel importante en la determinación de la calidad del agua. También Herrera-Silveira y Morales-Ojeda (2009) reportaron una alta abundancia de fitoplancton y un alto número de especies relacionadas a floraciones de algas nocivas (FAN). Herrera-Silveira *et al*. (2004), Álvarez-Gongora y Herrera-Silveira (2006) y Enríquez *et al*. (2010) mencionan que los eventos de FAN se han registrado desde 1948 y los más recientes sucedieron en 2001, 2003 y 2008, que inicialmente se alimentan de las masas de aguas provenientes de la surgencia de Cabo Catoche (oriente de la PY) y es

reforzada por las DAS a medida que viajan hacia el oeste cerca de las áreas pobladas de la costa.

Las especies de algas formadoras de césped algal tiene una alta plasticidad morfológica y ajustan su forma de crecimiento de acuerdo a los diferentes niveles de disturbios y por lo descrito por los autores mencionados anteriormente, es posible que en nuestra zona de estudio, la amplia cobertura del césped algal, con grosores (altura) de ~10-15cm (observado en campo), se atribuya al aumento de nutrientes y a las condiciones oceanográficas dominantes de la temporada.

Por otra parte, los pastos marinos fueron el tercer GMF con mayor porcentaje de cobertura total, pero en un número menor de sitios (31 % de los sitios). Los patrones encontrados concuerdan con lo hallado por Aguayo (2004) y Herrera-Silveira y Morales-Ojeda (2009), quienes señalan que se ha experimentado una pérdida considerable de la cobertura original de VAS durante los últimos 10 años desde Sisal hasta Telchac Puerto, donde observaron cambios de patrones de especies dominantes, de pastos marinos a algas verdes filamentosas (*Chaetomorpha* sp., *Enteromorpha* sp. y *Caulerpa* sp.), principalmente en áreas < 3m de profundidad, indicando eutrofización producida por impactos humanos

Los mismo autores resaltan que la zona que va desde Chabihau (Yobaín) hasta San Felipe, pasando por Dzilam de Bravo, se caracteriza por valores mayores de cobertura de VAS (50-100%), con pastos marinos dominantes en poca profundidad (< 1.5 m), pero extendiéndose a zonas más profundas, debido a que los impactos humanos en esta zona son de baja intensidad, y a las condiciones de corrientes marinas débiles que favorecen la sedimentación y los aportes de nutrientes a través de manantiales.

Los corales blandos se encontraron en mayor proporción que lo corales duros, probablemente debido a sus tamaños (> 50 cm de altura), pertenecientes a los géneros *Pseudoterogorgia* y *Pterogorgia,* en cambio los corales duros fueron en su mayoría < 5 cm de diámetro y pertenecientes a principalmente a los géneros *Solenastrea* y *Siderastrea* (Anexo, Tabla 18); esto coincide con lo reportado por Cuevas *et al*. (2007) para Rio Lagartos, que describen sitios con coberturas de hasta el 100% de Octocorales, y no reportan la presencia de corales pétreos a pesar de la disponibilidad de sustrato duro. Igualmente, la presencia baja de corales duros en la zona de estudio pudo deberse a que el tamaño de las algas (altura vertical) no permitía observar otros componentes bénticos que había debajo de ellas, dado que en campo se observaron sitios con una gran cantidad de corales duros sobre laja, aunque de tamaños pequeños, principalmente en espacios libres de césped algal; se ha demostrado que los tapetes algales compiten directamente con los corales de tamaños pequeños, como los reclutas (Birrell *et al*., 2005).

También Jordán *et al.* (1981) en el Caribe mexicano y Varona *et al*. (2005) en la costa nororiental de La Habana, encontraron que los altos niveles de acumulación de arena pueden afectar a las colonias de corales (principalmente las de tamaño pequeño) y favorecer a las gorgonias (en especial a los géneros *Pseudoterogorgia* y *Pterogorgia*) que alcanzan una talla invulnerable en un tiempo relativamente corto, comparado con los corales escleractíneos. Esto corresponde con lo encontrado en este trabajo ya que los géneros *Pseudoterogorgia* y *Pterogorgia* (Anexo, Tabla 18) se encontraron colonizando sustratos rocosos cubiertos de una delgada capa de arena.

Las esponjas fueron representadas principalmente por *Spheciospongia vesparium* en las zonas más cercanas a la playa, sobre sustratos rocosos (pavimento) con capa delgada de sedimento y en combinación con macroalgas y pastos marinos, frente a Dzilam de Bravo; mientras que *Cliona delitrix* se presentó en sitios con sustrato rocoso (rocas grandes y cordilleras o lajas) desde Dzidzantún hasta Ixil (Anexo, Tabla 18), lo que coincide con lo encontrado por Garduño-Andrade (1997) en Río Lagartos, donde esponjas costrosas cubrían las partes superiores de las cordilleras, siendo la especie mencionada la más abundante.

Por último, los equinodermos también se representaron de manera escasa en la zona de estudio (Fig.14-D). Solís y Laguarda, (2010) mencionan que para la península de Yucatán se han reportado hasta la fecha 102 especies, de las cuales seis se observaron en el área de estudio (Anexo Tabla 18), distribuidas en casi todos los tipos de sustrato (sobre coral vivo, vegetación sumergida, arena, roca, etc.) y en todas las profundidades.

La mayoría de los estudios realizados en la costa de Yucatán sobre equinodermos, se han concentrado en las especies de pepino de mar comercialmente importantes (*Isostichopus badionotus, Astichopus multifidus* y *Holonthuria floridana*); por ejemplo, Zetina-Moguel *et al.* (2002) mencionan que en la mayor parte de la costa de Yucatán las tres especies antes mencionadas ocupan áreas distintas, aunque en algunos casos pueden encontrarse juntas, principalmente en la costa central del estado.

Es importante mencionar, que en el transcurso de los últimos cuatro años la ubicación y la agregación de las especies de equinodermos ha cambiado, probablemente como resultado del efecto de pesca (para pepinos de mar), aunado al fuerte evento de marea roja

que se presentó en Junio del 2008 en la plataforma de la península de Yucatán, desde Holbox hasta Sisal (Ardison *et al.,* 2011); es probable que para el momento en que se realizó el muestro (2010), aún no se recuperaran las poblaciones.

Componentes no vivos

Garduño-Solórzano *et al*. (2005) señalan que el tamaño de grano a partir de 0.62 mm (0.69 phi) de diámetro de sedimentos marinos por lo general constituyen desiertos marinos, que no permite el desarrollo apropiado de algas (sólo algunas algas verdes dispersas). De esta manera, la arena en nuestra zona de estudio, fue el segundo GMF con mayor cobertura total y los sitios con coberturas de hasta 100 % en el oriente de la zona de estudio (frente a Dzilam de Bravo).

Esto coincide con el estudio realizado por Cuevas *et al.* (2012) que mencionan que en la costa de Yucatán existen campos conspicuos de depósitos sedimentarios, que forman dunas submarinas bien estructuradas, aledaños a los puertos de Dzilam de Bravo, San Felipe y El Cuyo; así mismo, Rincon-Sandoval *et al.* (2012) y Sauri-Ramírez *et al.* (2012) en Dzilam de Bravo (un área de estudio de 9 km^2 a una distancia de 1.5 km de la costa), registraron dunas submarinas de tamaño medio conformadas de arena media (1.83 phi +/- 0.49), clasificándolas como grandes en base a su amplitud (amplitudes promedio de entre 98m y 330m) y altura (0.84 m y 2.28 m).

El pavimento fue el cuarto GMF más abundante para el área de estudio, sin embargo la mayoría de los sitios ubicados de Dzidzantún a Ixil tuvieron coberturas bajas (menores al 27 %) (Fig. 11), esto debido probablemente a que el césped algal y las macroalgas aprovechan los sustratos duros disponibles para sujetarse, haciendo poco evidente la

presencia de la laja. Cuevas *et al*. (2007) en Río Lagartos, encontraron que el sustrato desnudo estaba presente en sitios en los que no existía ningún tipo de accidente topográfico, sino planicies con poca arena (<1 cm de espesor) o piso calcáreo desnudo, en ocasiones cubierto por cantidades variables de macroalgas no fijas.

Escombro fue en de menor cobertura de entre los componentes no vivos (Fig. 14) y se presentó en un número reducido de sitios, representado por restos de conchas de distintos tamaños, la mayoría en sitios de sustrato duro o pavimento con un capa delgada de sedimento, principalmente en la zona de Dzidzantún hasta Telchac Puerto. En los trabajos de Cuevas *et al*. (2007) y Ríos *et al*. (2010) mencionan también que el escombro tuvo una presencia esporádica en las zonas de Río Lagartos y en la zona central de la costa de Yucatán (Dzilam de Bravo) respectivamente.

Estructura de las comunidades bentónicas.

El análisis de agrupamiento entre las estaciones de muestro, basado en las abundancias promedios de los GMF, identificó 4 tipos de fondos (clases) que permitieron determinar áreas diferenciables con rangos específicos de profundidad y de distancia a la costa, en la porción central de la costa de Yucatán (Fig.16).

Se encontraron pastos marinos con algas dispersas, (Fig. 16, clase B) en aquellos sitios más cercanos a la costa, a distancias con respecto a ella entre~ 250 m y 4 km, con profundidades de 1.5m a 5 m (en Dzilam de Bravo la distancia máxima), encontrando entre ellos parches de arena y parches de algas verdes (Dzilam de Bravo, Telchac Puerto y Dzemul), éstas últimas se hacen más abundantes conforme aumenta la distancia a la costa y los pastos marinos disminuyen su abundancia, que corresponde con las descripciones

hechas por Robledo (1996) y Herrera-Silveira y Morales-Ojeda (2009), el primer autor describe una zona media (desde los~100 hasta los~250 m de distancia) donde observó un aumento de talla y densidad (observada no medida) de los pastos y algas, y una zona profunda (hasta los 500 m de distancia), con macroalgas dispersas entre pastos marinos; los segundos observaron las mayores coberturas de *Thalassia* y *Syringodium* (coberturas de 50-100 %) a las distancias más alejadas de la costa y a la mayor profundidad, frente al municipio de Dzilam de Bravo.

Para los municipios de Sinanché, Telchac Puerto, Dzemul e Ixil los pastos se encuentran a menores distancia de la costa y a menores profundidades con los porcentajes de cobertura más bajos (Fig. 9), pero, con las mayores coberturas de algas verdes concentradas frente a estos cuatro municipios (Fig.8) esto debido a lo reportado por Herrera-Silveira y Morales-Ojeda (2009) que mencionan que en Telchac Puerto las zonas menores a 3m de profundidad, los pastos marinos han sido sustituidos por algas verdes.

De esta manera se puede afirmar, por lo descrito anteriormente que hay una zona de praderas de pastos marinos presentes de 1.5 a 5 m de profundidad (en Dzilam de Bravo la profundidad máxima); dentro de este rango de profundidad, los pastos marinos se combinan con parches de arena y algas verdes en las partes más someras y más cercanas a la costa, en las profundidades medias están densamente presentes y en las partes más profundas se vuelven a combinar pero con parches de sustrato duro, donde las macroalgas aprovechan para adherirse (mayormente algas verdes).

Las costas del estado de Yucatán, presentan características favorables para el desarrollo de los pastos marinos, en la época de lluvias disminuye la temperatura y aumenta

la transparencia del agua favoreciendo su crecimiento, la presencia de sustrato arenoso y rocoso que usan para adherirse, profundidad relativamente somera (que permite que la irradiación solar sea óptima para su desarrollo y crecimiento) y, en la mayor parte de la costa, las descargas de aguas (subterráneas ó por vía de lagunas costeras) aportan nutrientes, principalmente en la zona de Dzilam de Bravo (Morales-Ojeda *et al*., 2010).

De Dzidzantún hasta Ixil, a una distancia de ~4 km hasta ~11 km de la línea de costa (en profundidades de 5 a 10 m), después de la zona de praderas de pastos, se observa la mayor heterogeneidad ó combinación de tipos de fondo, pavimento desnudo con algas dispersas (mayormente verdes) (Fig. 16, clase C-D) y turf con macroalgas (Fig. 16, clase E), esta última siendo la más predominante.

Esto sugiere una zona de transición, es decir, que para el rango de profundidad de 5 a 10 m se dispone de una mayor cantidad de sustrato duro (laja o pavimento), provocando que cerca a los 5m de profundidad, los pastos se pierdan y la densidad de macroalgas (mayormente algas verdes) y césped algal aumenten. En este mismo rango de profundidad también se observan entre las algas y el césped algal, parches de sustrato duro desnudo con sedimento (de poco espesor), con algas dispersas y donde también se encuentran corales duros y corales blandos dispersos.

La clase E se ubica en una zona profunda, a distancias que van de~11km a~17 km con profundidades de 10 a >13m; aquí el sustrato duro es dominante junto con el césped algal y macroalgas dispersas (mayormente algas rojas y algas cafés) con corales duros y blandos dispersos.

Cuevas *et al.* (2007) identificaron 8 tipos de fondos: Sustrato desnudo, Esponja dominando sobre sustratos duros, Octocorales que cubren <20%, Octocorales que cubren del 20% a 40%, Octocorales que cubren del 40% al 65%, Octocorales que cubren del 65 al 100%, Octocorales y sustrato duro, y pastos marinos; mencionan que en aquellos tipos de fondo con presencia de octocorales, con sus diferentes porcentajes de cobertura, encontraron gran cantidad de macroalgas asociadas (algas rojas y cafés principalmente), rocas de tamaños medianos (50-300cm de diámetro), así como elevaciones del piso calcáreo paralelas a la línea de costa (cordilleras), entre 6 y 12 m de profundidad, también similar a lo observado para la porción central; Barrientos (2011) en el Cuyo y Holbox, clasificó siete paisajes bentónicos, similares a los encontrados en la porción central de la costa de Yucatán, como Blanquizales (equivalente a la clase A), Arena con 50% de vegetación (equivalente a la clase C-D), Tapete de macroalgas y Macroalgas y corales (equivalentes a la clase E), Arena con 25 % de vegetación (equivalente a la clase A), *Thalassia testudinum* y *Syringodium filiforme* (equivalentes a la clase B). Ríos *et al*. (2010) caracterizaron el hábitat de la langosta *P*. *argus*, de Dzilam de Bravo hasta Telchac Puerto, describieron un total de 10 tipos de fondo entre 1.8 y 8 m de profundidad, sin embargo no mencionan los rangos de profundidad en los que se presentaron cada uno de los tipos de fondos, pero al contrastar lo encontrado por estos autores con los resultados de este trabajo, se puede obtener una correspondencia; por ejemplo, el Blanquizal corresponde a la clase A en este estudio, el Pastizal y múcaros (esponjas o corales en forma de bola de tamaño variable) a la clase B, también describen tipos de fondo caracterizados por sustrato duro (cordilleras, lajas, rocas grandes) con macroalgas que corresponden la clase C-D y clase E.

El municipio de Dzilam de Bravo es un sitio particular de la zona de estudio, ya que se hallaron acumulaciones de sedimento cercanas a su línea de costa, que se extienden hasta los 15m de profundidad con algunas algas dispersas (Fig. 16, clase A); esto corresponde a lo descrito por Rincón-Sandoval *et al.* (2012), que identificaron tres tipos de fondo en un área de 9 km^2 frente a la costa de Dzilam de Bravo, entre profundidades de 1.5 a 5 m: dunas, praderas de pasto marinos, y parches de macroalgas, los dos últimos distribuidos en los valles dentro del campo de dunas submarinas. Sin embargo, en este estudio las zonas de arenales frente a Dzilam de Bravo y en algunos sitios frente a Yobaín y Telchac Puerto (Figs.12 y16), abarcaron profundidades >13 m y hasta distancias de 17 km (mucho más allá de la profundidad reportada por esos autores); esto no quiere decir que formen parte de las dunas someras reportadas por los autores citados, si no que posiblemente, sean sitios de sustrato rocoso (pavimento o laja) con una delgada capa de sedimento, donde se pueden adherir algunas macroalgas, césped algal, y corales manera dispersa.

La disponibilidad de diferentes tipos de sustratos (duros o arenosos), está estrechamente relacionada a factores oceanográficos como el oleaje, vientos, corrientes (hidrodinámica de la zona) y también a las características topográficas de la costa yucateca. De esta manera la costa de Yucatán es una región geológicamente reciente, con un nivel muy bajo de complejidad topográfica y una pendiente suave, la corriente dominante es en dirección al oeste, que trasporta el sedimento hacia el Banco de Campeche, modulada e influenciada por la dirección del viento (NE), el estrés del viento y la CY. Así mismo la orientación de la costa de Yucatán ofrece áreas de erosión potencial y depositación (Dzilam de Bravo) como resultado de su morfología; también muy sensible a la obstrucción del

trasporte de sedimento que, como resultado de la construcción de estructuras artificiales, han provocado erosión extrema (Merino *et al*., 1997; Zavala-Hidalgo *et al*., 2003; Morey *et al.*, 2005; Enríquez *et al*., 2010; Appendini *et al*., 2012).

Con lo descrito anteriormente, se puede sugerir que la dirección de la corriente y viento dominantes (hacia el oeste) que corren sobre la PY, influyen en el aporte y remoción de sedimentos a lo largo de la costa, contribuyendo de esta manera a la configuración del fondo marino y por lo tanto delimita un patrón de distribución (estructura espacial) de las comunidades bentónicas que se desarrollan sobre ellas.

Análisis Geoestadísticos

La determinación de patrones espaciales dependen de tres componentes básicos, la escala, el tamaño de grano (el área de la unidad muestral) la extensión (el área total considerada en el estudio) y el intervalo (el arreglo espacial de los sitios de observación) (Dungan *et al*., 2002). En este sentido Cabrera (2007) y Bulit *et al*. (2004) encontraron que cuando se usan tamaños de grano y extensión gruesa, la variabilidad aumenta y la correlación entre los datos disminuye, por lo que considerar explícitamente la escala espacial en los diseños de muestro y análisis de datos puede contribuir a disminuir los sesgos en la interpretación de los resultados.

Por otro lado, Dustan *et al*. (2001) mencionan que los análisis geoestadísticos no son comúnmente usados para la caracterización de fondos marinos, debido a que se considera que el análisis (supervisado) de imágenes satelitales es mucho más eficiente; a pesar de ello, Cuevas *et al*. (2007) implementaron una forma de elaborar un mapa de tipo de fondo en Río Lagartos por método de krigeado con una precisión del 76 %. Esta precisión

aceptable, podría atribuirse al tipo de diseño de muestreo, que fue sistemático en un área de estudio de 900 m^2, contrario a lo realizado en este estudio, que fue un diseño estratificado aleatorio, en un área 1400 km^2.

Con lo obtenido por los autores antes mencionados se puede decir que para este estudio el tipo de diseño de muestro y la escala influyeron en la obtención de los mapas con porcentajes de explicación relativamente bajos (entre el 1.1 % y el 60 %), esto a pesar de que el kriging se puede aplicar a partir de muestras distribuidas regularmente (Pérez-Castañeda y Defeo, 2004; Ríos *et al*., 2007) o irregularmente (Ríos *et al*., 2010), de tal forma el diseño (estratificado aleatorio) no fue adecuado para obtener interpolaciones precisas, debido a las distancias de separación entre puntos de muestro (hasta 3 km de distancia) y a la extensión total del área de estudio (1400 m^2).

CONCLUSIONES

- La técnica de video-transecto resulto ser una buena opción con respecto a cubrir un área amplia, en corto tiempo con menor esfuerzo en campo, proporcionando registros permanentes de alta nitidez en condiciones de alta transparencia de agua.

- El tamaño de muestra mínimo necesario para el análisis de los transectos de video fue de 28 y 20 puntos seleccionados al azar, permitiendo la caracterización de la zona a nivel de GMF.

- Se generaron mapas de distribución espacial y abundancia de 12 GMF, de los cuales los de mayor extensión en cobertura fueron el césped algal (26.58%) y arena (21.84%).

- Los análisis geoestadísticos no permitieron la obtención de mapas confiables sobre los patrones de distribución de los componentes bentónicos definidos.

- Los análisis de similitud entre los sitios permitió definir cuatro clases o tipos de fondos, que al complementarlos con SIG se encontró una diferenciación espacial en el área de estudio, permitiendo también distinguir una zonificación con base en la batimetría y distancia a la costa, aportando una línea de base para estudios futuros.

BIBLIOGRAFÍA

Aguayo, C. M.2004. Estructura de la vegetación acuática sumergida como bioindicador de la calidad de agua en una zona costera tropical. Tesis de maestría. CINVESTAV. Mérida Yucatán. 102 pp.

Aguirre-Gómez, R. y M. L. M. Morales. 2005. Análisis espectral del arrecife coralino de Cayos Arcas, Campeche, México. Investigaciones Geográficas, No. 57: 7-20.

Álvarez-Gongora, C. y J. A Herrera-Silveria. 2006. Structure variations of phytoplankton community related to water quality trends in a tropical karstic coastal zone. Marine Pollution Bulletin 52, 48–60.

Appendini, C M., P. E. Salles, T. Mendoza, J. López, y A. Torres-Freyermuth. 2012. Longshore Sediment Transport on the Northern Coast of the Yucatan Peninsula. Journal of Coastal Research. In-Press.

Aranda-Cirerol, N., J. A. Herrera-Silveira y F.A. Comín.2006. Nutrient wáter quality in tropical coastal zone with groundwater discharge, northwest Yucatán, México. Estuarine, Coastal and Shelf Science 68:445-454.

Ardisson, P. L. y D. Castillo-Fernández. 2004. Diversidad bentónica del ambiente intermareal e infralitoral somero de Progreso, Yucatán. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados-Mérida. Informe final SNIBCONABIO proyecto No. Y008. México D.F.

Ardisson, P. L., M. A. Olvera, A.V., Poot, G. Galindo y A. Hernandez. 2011. Fundamento para el establecimiento de veda de pepino de mar *Isostichopus badionotun* frente a las costas de la península de Yucatán. SAGARPA-INAESCA 9 pp.

Arnoldi, L., F. Rindi y F. Cinelli. 1995. Structure, seasonal dynamics and reproductive - phonology at a filamentous turf assemblage on a sediment influenced, rocky subtidial shore. Bot. Mar. 38:227-237.

Arnorldi, L. y M. Virgilio. 1998. Responses of turf-forming algae to spatial variations in the deposition of sediments. Mar. Ecol. Prog. Ser Vol. 165:271-282.

Arnoldi, L. 2001. Distribution and morphological variation of low-shore algal turfs. Marine Biology. 138:1233-1239.

Arellano-Méndez, L. U, J. A. Herrera-Silveira, J. L. Montero-Muñoz y M.A. Liceaga-Correa. 2011. Morphometric Trait Variation in *Thalassia testudinum* (Banks ex König) Associated to Environmental Heterogeneity in a Subtropical Ecosystem. J. Ecosys Ecograph S1:001. doi:10.4172/2157-7625.S1-001

Aronson, R. B., P. J. Edmunds, W. F. Precht, D. W. Swanson y D. R. Levitan. 1994. Large-scale, long-term monitoring of Caribbean coral reefs: simple, quick and inexpensive techniques. Atoll Research Bulletin. 451: 1–19.

Aronson, R. B., y D. W. Swanson. 1997. Video survey of coral reefs: uni-and multivariate applications. Proc 8th Int Coral Reef Sym 2: 1441-1446. 1997

Barrientos, A. V. 2011. Descripción del paisaje béntico de la zona costera nororiente de la península de Yucatán, México: un enfoque de percepción remota y ecología del paisaje. Tesis Maestría. CINVESTAV, Mérida, Yucatán. 92pp

Bello-Pineda, J., M. Á. Liceaga-Correa, H. Hernández-Núñez y R. Ponce-Hernández. 2005. Using aerial video to train the supervised classification of Landsat to imagery for coral reef habitats mapping. Environmental Monitonng and Assessment. Vol.105: 145-164.

Bello-Pineda, J., V. Rios-Lara, M.A. Liceaga-Correa, M.C. Zetina, C. K. Cervera, B. P. Arceo y H. Hernández-Núñez. 2005. Incorporating spatial analysis of habitat into spiny lobster (Panulirus argus) stock assessment at Alacranes reef, Yucatan, México. Fisheries Research Vol.73:37–47.

Birrell, C. L., L. J. McCook. y B.L.Willis. 2005. Effects of algal turf and sediment on coral settlement. Marine Pollution Bulletin. 51: 408–414

Brown, E., E. Cox, P. Jokiel, K. Rodgers, W. Smith, B. Tissot, S. L. Coles, and J. Hultquist.2004. Development of Benthic Sampling Methods for the Coral Reef Assessment and Monitoring Program (CRAMP) in Hawai'i. Pacific Science. Vol. 58, no. 2:145–158

Bulit, C. C. Díaz-Avalos, D. J. Montagnes. 2004. Assessing spatial and temporal patchiness of the autotrophic ciliate Myrionecta rubra case study in coastal lagoon. Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol.268:55-67.

Burrough, P.A. y R. A. McDonnell. 2000. Principles of geographical information systems. Oxford University Press. 333 p.

Cabrera, L. M. E 2007. Importancia de la escala en la distribución espacial de los invertebrados bentónicos de sustrato rocoso. Tesis de Maestría. CINVESTAV Mérida. 60pp.

Capurro, L. 2002. Un Gran ecosistema Costero: la Península de Yucatán. Avance y Perspectiva. 22:69-75.

Carleton, J. H. y T. J. Done. 1995. Quantitative video sampling of coral reef benthos: large scale application. Coral Reefs. 14: 35-46.

Casanova-Cetz, R. H. 2006. Macroalgas de la laguna de Chelém, Yucatán. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Yucatán. Yucatán. México.

Casco, M. R. 2004. La zona Costera de México: definición. 1-4 p. En: Riviera Arriaga, E., G.J. Villalobos, I. Azuz Adeath, y F. Rosado May (Eds.). El Manejo Costero en México. Universidad Autónoma de Campeche, SEMARNAT, CETYS-Universidad, Universidad de Quintana Roo. 654p.

Chico, L.B., L.J McBook. y B.L. Willis. 2005. Effects of algal turf and sediment on coral settlement. Marine Pollution Bulletin. Vol. 51: 408-414.

Clarke, K.R., y Gorley R.N. 2006. Primer v6: User Manual/Turorial. PRIMER-E Ltd, Playmounth Marine Laboratory,Plymounth,UK:189 p.

Collado-Vides, L. y J. González-González. 1993. Macroalgas del Sistema Lagunar de Nichupté, Quintana Roo. 752-760 pp. En: Biodiversidad Marina y Costera de México. S. 1. Salazar-Vallejo y N. E. González (Eds.), Comisión Nacional para el Conocimiento y Aprovechamiento de la Biodiversidad y el Centro de Investigaciones de Quintana Roo, México, 865 pp.

Creary, M., L. J. Smith y S. Green. 2012. Reef Health Monitoring to Inform Climate Change Policy in Jamaica. Proceedings of the 12th International Coral Reef

Symposium. Cairns, Australia, 9-13 July 2012 18B. Managing coral reef ecosystems under a changing climate.
Cruz, I. C. S., R. K. P. Kikuchi1 y Z. M. A. N. Leão. 2008. Use of the video transect method for characterizing the Tacolomis Reefs, Eastern Brazil. Brazilian Journal of Oceanography, 56(4):271-280.
Cuevas, E. 2004. Caracterización especial y detección de cambio, por el paso del huracán Isidoro, de los hábitats submarinos en el oriente del estado de Yucatán, México. Tesis de Maestría. CINVESTAV Mérida. 87 p.
Cuevas, E., M. Á Liceaga-Correa y M. Garduño-Andrade. 2007. Spatial characterization of foraging area for immature hawksbill turtles (*Eretmochelys imbricata*) in Yucatan, Mexico. Amphibia-Reptilia 28: 337-346.
Cuevas, E., M. Á. Liceaga-Correa, L. Rincón-Sandoval, G. Mexicano-Cíntora, L. Arellano-Méndez, H. Hernández-Núñez y J. Euán-Ávila. 2012. Evaluación Morfológica y Sedimentológica de Campos de Dunas Submarinas en la Costa de Yucatán, México. XVII Congreso Nacional de Oceanografía San Francisco de Campeche, Campeche.
Cressie, N. (1989). Geostatistics. The American Statistician, 43, 197-202.
De la Lanza, E.G. y H.C. Tovilla. 1986. Una revisión sobre la taxonomía y distribución de pastos marinos. Univ. Ciencia 3(6):17-38.
Demes, K. W., E. Carrington, J. Gosline P.T. Martone.2011.Variation in anatomical and material properties explains differences in hydrodynamic performances of foliose red macroalgae (Rhodophyta). J. Phycol. 47, 1360–1367.
Den Hartong, C. 1970. The seagrasses of the world. North-Holland PubliCo., Amsterdam, 275 pp.
Den Hartog, C., 2006. Taxonomy and biogeography of seagrasses.1-23 p. En: A.W.D. Larkum, R.J. Orth and C.M. Duarte (Eds.) Seagrasses: Biology, ecology and Conservation, Springer.Printed in Netherlands
Díaz, L. A. I. 2008. Grupos morfo-algales en las áreas naturales protegidas de el Palmar y Dzilam de Bravo, en el estado de Yucatán. Tesis de licenciatura. UADY. 63 pp.
Díaz-Martín, M. A. y J. Espinoza-Avalos. 2000. Distribution of Brown seaweeds (phaeophyta) in the Yucatan Peninsula, México . Bulletin of Marine Science 66:279-289.
Done, T. J., Carleton J.H., Fisk D.A., Andrews G.J., Julian J. S. y Van Woesik R. 1989. Benthic habitats and zonation in Florence Bay. pp. 6-31. In: Marine habitats of Florence Bay. Report of a survey conducted in April 1989. Australian Institute of Marine Science.51 pp.
Dungan, J. L.,J. N. Perry, P. Legendre, S. Citron-Pousty, M. J. Fortin, A. Jakomulsa, M. Miriti y M.S. Rosenberg. 2002. A balanced view of scale in spatial statistical analysis. Ecography 25:626-640.
Dustan, P., E. Dobson y G. Nelson. 2001. Landsat thematic mapper: detection of shifts in community composition of coral reef. Conserv.Biol. 15: 892-902.
Enríquez C., I. J. Mariño-Tapia, y J. A. Herrera-Silveira. 2010. Dispersion in the Yucatan coastal zone: Implications for the red tide events. Continental Shelf Research. Vol. 30:127-137.

Escobar, B. E. 2004. Estado del conocimiento de las comunidades bénticas en el Golfo de México. P.198-243. En: Caso, M., Pisanty, I. y Ezcurra, E. (eds.). Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Instituto Nacional de Ecología. 603 p.

Espinoza-Avalos, J.1996. Distribution of seagrasses in the Yucatán península México. Bulletin of Marine Science, 59(2):449-454

Field, J. G., Clarke, K. R., Warwick, R. M. 1982. A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns. Mar. Ecol. Prog. Ser. 8: 37-52.

Fortin M. J. y M. R. Dale. 2005. Spatial Analysis: A Guide for Ecologist. Cambridge University Press. 365 p

Gallegos-Martínez, M. E. 2010. Efectos del cambio climático sobre las praderas de pastos marinos, p.189-210. En: A.V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutieérrez, y J.L. Rojas Galaviz (Eds.) Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climatico. Gobierno del Estado de Tabasco. Semarnat-INE UNAM-ICMyL, Universidad Autónoma de Campeche.514 p.

García, A., M. Xool, J. I. Euán, A. Munguía, y M. D. Cervera. 2011. La costa de Yucatán en la perspectiva del desarrollo turístico. CONABIO. Serie Conocimientos / Número 9-82 p.

Garduño-Solórzano, G., J. L. Godínez-Ortega y M.M. Ortega. 2005. Distribución geográfica y afinidad por el sustrato de las algas verdes (Clorophyceas) bénticas de las costas mexicanas del Golfo de México y Mar Caribe.Bio.Soc.Bot.Méx.76:61-78.

Garza-Pérez, J. R., A. Lehmann y J. E. Arias G., 2004. Spatial prediction of coral reef habitats: integrating ecology with spatial modeling and remote sensing. Mar Ecol Prog Ser.Vol. 269: 141–152.

González-Mirelis, G., P. Bergström, T. Lundälv, L. Jonsson y M. Lindegarth. 2009. Mapping the benthos: spatial patterns of seabed-dwelling megafauna in a Swedish Fjord, as derived from opportunistic video data. Mar Biodiv.39:291–302

Goovaerts, P. 1997. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford University Press. 496 p.

Green, E. P., P. J. Mumby, A. J. Edwards y C.P. Clark. 2000. Remote sensing handbook for tropical Coastal Management. UNESCO. 319 p.

Green, R. H y S. R. Smith. 1997. Sample program design and environmental impact assessment on coral reefs. Proc 8th Int Coral Reef Sym 2: 1459-1464.

Herrera-Silveira, J. A., J. Ramírez-Ramírez, y A. Zaldivar-Jiménez. 1998. Overview and Characterization of the hydrology and primary producer Community of selected Coastal Lagoons of Yucatán, México. Aquatic Ecosystem Health and Management Society 1: 353-372.

Herrera-Silveira, J. A., J. Ramírez-Ramírez, N. Gómez y A. Zaldivar. 2000. Seagrass bed recovery after hydrological restoration in a costal lagoon with groundwater discharges in the North of Yucatán. 123-135 p. En: S. Bortone (Eds.). Seagrass: monitoring ecology, physiology and management. CRC, Boca Raton, Florida, EEUU.

Herrera-Silveira, J. A., F. A. Comin, N. Aranda-Cirerol, L. Troccoli, L. Capurro. 2004. Coastal waters quality assessment in the Yucatan Peninsula, management implications. Ocean and Coastal Management 47, 625–639.

Herrera-Silveira, J. A. y F. A. Comín. 1995. Nutrient fluxes in a tropical coastal lagoon. Ophelia. 42:127-146

Herrera-Silveira, J. A. y S. M. Morales-Ojeda. 2009. Evaluation of the health status of a coastal ecosystem in southeast Mexico: Assessment of water quality, phytoplankton and submerged aquatic vegetation. Marine Pollution Bulletin.Vol. 59: 72–86

Houk, P. y R. Van Woesik. 2006. Coral Reef Benthic Video Surveys Facilitate Long-Term Monitoring in the Commonwealth of the Northern Mariana Islands: Toward an Optimal Sampling Strategy. Pacific Science. vol. 60, no. 2: 177-189.

Huerta-Muzquiz, L., C. Mendoza-González y L. Mateo-Cid. 1987. Avances sobre un estudio de las algas marinas de la Península de Yucatán. Phytologia, 62:23-53.

Huerta-Muzquiz, L. 1958. Contribución al conocimiento de las algas de los bajos de las sondas de Campeche, Cozumel e Isla Mujeres. Anales de la escuela nacional de ciencias biológicas. 9:115-123.

Huerta-Múzquiz, L. y M. A. Garza-Barrientos.1980. Contribución al conocimiento de la Flora marina de la parte sur del litoral de Quintana Roo, México. An. Ese. Nac. Cienc. Biol., México, 23: 25-44.

Huerta- Muzquiz, L; C. A., Mendoza-Gonzales y L.Mateo-Cid. 1987. Avances sobre los estudios de las algas marinas de la península de Yucatán. Phytologia 61 (1): 22-55

Ibarra-Obando, S. E. y R. Ríos, 1993. Ecosistemas de Fanerógamas Marinas.54-65 p. En: biodiversidad marina y costera de México. S.I. Salazar-Vallejo y N.E. González (Eds.) Com. Nal. Biodiversidad y CIQRoo, México , 865 p.

Isaaks, E. H. y R. M. Srivastava.1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press. New York. 561 p.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) 2009. Anuario Estadístico del Estado de Yucatán.

Jordan, E., M. Merino, O. Moreno y E. Martin. 1981: Community structure of coral reefs in the Mexican Caribbean. Proceedings of the Fourth International Coral Reef Symposium, Manila. 303- 308 p.

Kitanidis, P. 1997. Introduction to Geostatistics: Aplications in Hydrogeology. Cambridge University Press. Cambridge, Massachusetts UAS. 71 p.

Kohler, K. E. y S. M. Gill. 2006. Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. Computers Geosciences.32: 1259–1269.

Lara-Lara, J. R., V. Arenas-Fuentes., C. Bazán-Guzmán., V. Díaz-Castañeda., E. Escobar-Briones., De la C. M. García- Abad., G. Gaxiola-Castro., G. Robles-Jarero, R. Sosa-Ávalos., L.A. Soto-González., M. Tapia-García y J. E. Valdez-Holguín. 2008. Los ecosistemas marinos. 135-159 p. En: J. Soberón.,G. Halffter., J. Llorente-Bousquets. (Eds.). Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México. 621 p.

Lee, R.E. 1999. Phycology. Cambridge University Press.614 p.

Legates, D. R. y J, G. McCabe. 1999. Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. Water Resources Research, Vol. 35(1): 233–241.

Legendre, P. y L. Legendre. 1998. Numerical ecology. Elsevier Science B.V. 853 p.

Lehman, R. L y J. W. Jr. Tunnel. 1992. Species composition and ecology of the macroalgae of En medio Reef, Veracruz, México. Texas Journal of Science 44:445-457.

Leão, Z. M. A. N., R. K. P. Kikuchi, M. D. M. Oliveira y V. Vasconcellos. 2010. Status of Eastern Brazilian coral reefs in time of climate changes. Pan-American Journal of Aquatic Sciences 5(2): 224-235.

León, D. A., C. S. Candelaria, P. A. Hernández y H. T. Laón. Géneros de algas marinas tropicales de México. Universidad Autónoma de México. 173 p.

Liceaga-Correa, M.A., L.U. Arellano-Méndez y H. Hernández-Núñez, 2010. Efecto de los huracanes y cambio climático sobre el Caribe mexicano: Adaptabilidad de los pastos marinos. 211-228 p. En: A.V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, y J.L. Rojas Galaviz (Eds.) Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático. Gobierno del Estado de Tabasco. Semarnat-INE UNAM-ICMyL, Universidad Autónoma de Campeche.514 p.

Livingston, R. J. 1984. The relationship of physical factor sand biological response in coastal seagrass meadows. Estuaries 7(4A):377-390.

Littler, M. M., D. R. Martz y D. S Littler. 1983. Effects of recurrent sand depotition on rocky interdial organisms:importance of substrate heterogeneity in fluctuating environment. Mar Ecol Prog Ser Vol. 11:129-139.

Lot-Helgueras, A. 1977. General status of research on seagrass ecosystems in mexico.233-245p. En: C.P McRoy y C Helfferich (Eds.) Seagrass Ecosystems, a scientific perspective. Marcel Dekker, New York.

McKenzie, M. D., y L.A. Barclay. 1980. Ecological characterization of the Sea Island coastal region of South Carolina and Georgia. Executive summary. U.S. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services, Washington, D.C. FWS-OBS-79/45.51 p.

McGann, J. y M. Creary. 2008. Coral Reef Monitoring for the Organization of Eastern Caribbean States (OECS) and Tobago Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium. Ft Lauderdale, Florida, 7-11 July 2008 Session Number 18.

Maldonado, A., N. Cardenas, H. Cardenas, O. Reyes, M. Cabrera, M. T. Zapata y E. Cuevas, 2000. Invertebrados megabentónicos marinos en la zona costera de la reserva de la biósfera de río Lagartos, Yucatán. Res. XII Congr. Nal. de Oceanogr**.** 22 al 26 de mayo, Huatulco, Oax., México.

Mandden, J., K. Gooden, R. A. Bamford y M. Finkbeiner. 2008. Clasificación Ecológica Estandarizada Costera y Marina-Versión III: La clasificación de referencia para hábitats marinos para la Red Temática de Ecosistemas IABIN. Nature Serve and NOAA Coastal Services Center. 36 pp.

Mateo-Cid, L. E. y A. C. Mendoza-González. 1991. Algas marinas bénticas de la Isla Cozumel, Quintana Roo, México. Acta Bot. Mex. 16:57-87.

McDonald, J. I., Coupland, G. T y Kendrick, G. A. 2005. Underwater Video as a monitoring tool to detect change in seagrass cover. Journal of Enviromental Management. 80: 148-155

McQuaid, C. D y K. M. Dower (1990) Enhancement of habitat heterogeneity and species richness on rocky shores inundated by sand. Oecologia 84:142–144.

Mendoza-Gonzales, A. C. y L. E. Mateo-Cid. 1992. Algas marinas bentónicas de isla mujeres, Quintana roo. México. Act. Bot.Mex. 19:37-61.

Merino, M. 1997. Upwelling on the Yucatan shelf: Hydrographic evidence. J. Mar. Syst., 13, 101– 121.

Miller, J. y C. Rogers. 2002. Using Videography to Monitor Coral Reefs. USGS & National Park Service. St John, USVI, 50 p.

Monrey, S. L., J. Zavala-Hidalgo y J. J. O´Brien. 2005. The seasonal variability of Continental Shelf Circulation in the Northern and Western Gulf of Mexico from a High-Resolution Numerical Model. 203-218 p. En: Sturges W. A. Lugo-Fernandez. (Eds.). Circulation in the Gulf of Mexico .Observations and Models.AGU Books Board,Geophysical monograph 161.Washington.DC.

Moral, F. J. 2004. Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. Ecosistemas. 13(1): 78-86.

Morales-Ojeda, S. M., J. A. Herrera-Silveira y J. Montero. 2010. Terrestial and ocenic influence on spatial hydrochemistry nad trophic status in subtropical marine near-shore waters. Water Research 44:5949-5964

Ortega, M., J. L. Godínez y G. Garduño 2001. Catalogo de algas bentónicas de las costas mexicanas del golfo de México y Mar Caribe. UNAM. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. 594 p.

Herrera-Silveira, J. S. Morales-Ojeda y J. Ramírez. 2010.197-200 p. En: Durán R. y M. Méndez (Eds.).Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. 496 p.

Ortegón-Aznar, I.,Y. Freile-Pelegrin y D. R. Robledo.2010.162-164 p. En: Durán R. y M. Méndez (Eds.).Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. 496 p.

Ortegón-Aznar, I. 1993. Estudio florístico - ecológico de las macroalgas en la Laguna de Celestún, Yucatán. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México.95 p.

Ortegón-Aznar, I. y González-González, J. 2000. Macroalgal communities in coastal lagoon of the Yucatan, Peninsula. 283-301 p. En: M. Munawar; M.S. Laurence; I.F. munawar; D. Malley (eds.), Aquatic ecosystems of México: Status and scope. Leiden, Backhuys Publishers, Ecovision World Monograph series,

Ortegón-Aznar, I., J. González-González y A. Sentíes-Granados. 2001. Estudio ficoflorístico de la laguna de Río Lagartos, Yucatán, México. Hidrobiologica, 11:97-104

Palafox-Juárez, E. B., M. Á. Liceaga-Correa y H. Hernández-Núñez. 2012. Paisaje Submarino del Litoral Somero de Yucatán, una Base para la Gestión Ambiental de la Región. XVII Congreso Nacional de Oceanografía San Francisco de Campeche, Campeche

Pante, E. y P. Dustan. 2012. Getting to the point: accuracy of point count in monitoring ecosystem change. Journal of Marine Biology. Vol. 2012, Article ID 802875, 7 pages

Pech, D. y P.L. Ardisson. 2010. Diversidad en el Bentos marino-costero. p 144-146. En: Durán R. y M. Méndez (Eds). Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. 496 p.

Pech, D., P. L. Ardisson y N. A. Hernández-Guevara. 2007. Benthic community response to habitat variation: A case of study from a natural protected area, the Celestún coastal lagoon. Continental Shelf Research. Vol.27: 2523-2533.

Peter-Castro, M. y E. Huber. 2005. Marine Biology. Mc Graw Hill. 452 p.

Pérez- Castañeda, R. y O. Defeo. 2004. Spatial distribution and structure along ecological gradients: penaeid shrimps in a tropical estuarine habitat of Mexico. Marine Ecology Progress Series. Vol. 273: 173–185.

Pérez-España, H. y J. M. Vargas Hernández, 2008. Caracterización ecológica y monitoreo del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano: Primera Etapa. Universidad Veracruzana. Centro de Ecología y Pesquerías Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DM002. México D. F.

Piñeiro, R, E. Giménez, V. Moreno, R. Burgos y A. Betanzos. 2001. Características térmicas del Banco de Campeche. INP. SAGARPA. México. Ciencia Pesquera No. 15.

Pittman, S. J., D. W. Connor, L. Radke, y D. J. Wright. 2011. Application of Estuarine and Coastal Classifications in Marine Spatial Management. 163-205 p. En: Wolanski E and McLusky DS (eds.) Treatise on Estuarine and Coastal Science. Waltham: Academic Press.

Rincón-Sandoval, L. A. M. Á Liceaga-Correa, E. Cuevas, C. Díaz-Aguilar, G. Mexicano-Cintora, L. Arellano-Méndez, H. Hernández-Núñez. 2012. Caracterización física integral y de alta resolución de hábitats marinos someros en el litoral de Yucatán, México. 12° Congreso Nacional e Internacional de Ingeniería Topográfica, Geodésica y Geomática. Acapulco. México.

Ríos, G. V., S. Salas., J. Bello-Pineda y I. Peniche-Ayora. 2007. Distribution patterns of spiny lobster (*Panulirus argus*) at Alacrán Reef, Yucatán: Spatial analysis and inference of preferential habitat. Eval. Managmt.Coast.Fisher. Latin Amer. Caribb. Spetial Issue. Fish. Res. 87:35-45.

Ríos, G.V. 2009. Identificación del hábitat y de los factores que determinan la distribución espacial de la langosta en la plataforma de Yucatán: modelación y evaluación de la población. Tesis Doctoral. CINVESTAV. 155 pp.

Ríos, G.V., C. E. Zetina, I. Sánchez, J. I. Peniche, R. Medina, J. C. Espinoza, y R. Moreno. 2010. Caracterización del Hábitat de Juveniles de Langosta *Panulirus argus* en la Costa Central (Dzilam de Bravo) del Estado de Yucatán, México. Proceedings of the 63rd Gulf and Caribbean Fisheries Institute. San Juan, Puerto Rico.

Robledo, D. 1998. Seaweed resources of Mexico.331-342p. En: M. Critchley; A. Ohno (Eds.), Seaweed resources of the world. Japan International Cooperation Agency (JICA).

Robledo, D. 1996.Conocimiento de la macroflora marina de interés económico de las costas de Yucatán. CINVESTAV. Informe final proyecto B077.

Robledo, D. y Freile-Pelegrín .1998.167-179 p. Macroflora marina de interés económico de las costas de Yucatán. En: CONABIO-INE (Eds.), Aspectos económicos sobre la

biodiversidad de México. México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/ Instituto Nacional de Ecología.

Rogan, J. y Chen, D. (2004). Remote sensing technology for mapping and monitoring land cover and land use change. Progress in Planning, 61, 301–325.

Rumohr, H. 1995. Monitoring the marine environment with imaging methods. Scientia Marina. 59,129-138.

Sauri-Ramírez, J., M. A. Liceaga-Correa 2, E. Cuevas-Flores, J. A. Navarro-Alberto,G. St-Onge, U. Neumeier , M. Duchesne y L. A. Rincón-Sandoval. 2012. Caracterización Sedimentológica y Morfológica de Dunas Submarinas en la Costa de Dzilam de Bravo, Yucatán. XVII Congreso Nacional de Oceanografía San Francisco de Campeche, Campeche.

Sánchez-Molina, I., J. González-Ceballos, C. Zetina-Moguel y R. Casanova-Cetz. 2007. Análisis de la biodiversidad de algas marinas situadas entre Uaymitún y Chuburná, Yucatán. Ingeniería 11-1:43-51.

Selem, S. C. I. 1992. Contribución al conocimiento del macrofitobentos de la Laguna de Celestún. Tesis, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida. 63 p.

Shapiro, A. C. y S. O. Rohmann.2005. Summit-to-Sea mapping and change detection using satellite imagery: tools for conservation and management of coral reefs. Rev. Biol. Trop.Vol. 53 185-193.

Short, F. T., R. G. Coles, C. y Pergent-Martini.2001.Global Seagrass distribution. 5-30 p. En: F.T. Short y R.G. Coles (Eds.). Global Seagrass Research Methods. ElsevierScience B.V., Amstedam. 473 p.

Smith, C. J. y H. Rumohr. 2005. Imaging Techniques.87-109 p. En: Eleftheriou A.y A. McIntyre (Eds.) Methods for the study of Marine Benthos. Blackwell Science. 440 p.

Solís, F. y A. Laguarda. 2010. Equinodermos. 248-249 p. En: Durán R. y M. Méndez (Eds.).Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. 496 p.

Steneck, R. S. y M. N. Dethier. 1994. A functional group approach to the structure of algal-dominated communities. Oikos 69: 476-498

Stevenson, R. J. 1996. An Introduction to algal ecology in freshwater Benthic habitats. 3-30 p. En: Stevenson R.J., M.L. Bothwell y R.L. Lowe. 1996. Algal ecology: Freshwater benthic ecosystems. Academic Press. 753p.

Sweatman, H. A. Cheal, G. Coleman, M. Emslie, K. Johns, M. Jonker, I. Miller y K. Osborne. 2008. Long-term Monitoring of the Great Barrier Reef. Status Report Number 8. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Queensland, Australia. 369 p.

Tarruco, D y A. Gonzalez. 2010. Las esponjas y su importancia. 202-203 p. En: Durán R. y M. Méndez (Eds.). Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA. 496 pp

Tomasko, D .A., C. J. Dawea, y M. O. Hall. 1996. The effects of anthropogenic nutrient enrichment on turtle grass (*Thalassia testudinum*) in Sorasota Bat, Florida. Estuarine research federation 19(2B):448-456.

Turner, W, S. Spector, N. Gardiner, M. Fladeland, E. Sterling y M. Steininger. 2004. Remote sensing for biodiversity science and conservation. Trends in Ecology and Evolution Vol.18 No.6.

Tuz, A. S. y A. Aguila. 2011. Aprovechamiento del pepino de mar: pesquería potencial para el desarrollo económico y social en la costa norte de la Península de Yucatán. Bioagrociencias. Vol. 4. No. 2.

Houk, P. y R. Van Woesik. 2006. Coral Reef Benthic Video Surveys Facilitate Long-Term Monitoring in the Commonwealth of the Northern Mariana Islands: Toward an Optimal Sampling Strategy. Pacific Science vol. 60, (2):177–189.

Van Rein, H., D. S. Shoeman, C.J. Brown, R. Quinn y J. Breen. 2011. Development of benthic monitoring methods using photoquadrats and scuba on heterogeneous hard-substrata: a boulder-slope community case study. Aquatic Conservation: Marine and freshwater ecosystems 21 (7): 676–689.

Varona, G., H. Caballero y E. De la Guardia.2005. Estructura ecológica de la comunidad de gorgonaceos en la costa norte oriental de la Habana. Rev. Invest. Mar. (1): 27-36.

Vemeij, M. J. A. I. Van Moorselaar, S. Engelhard. C. Hornlein. S. M.Vonk. P. M. Visser. 2010. The effects of nutrients enrichment and herbivore abundance on the ability of turf algae to overgrow coral in the Caribbean. PLOS ONE 5(12): e14312.

Vera-Manrique, D., E. Batllori-Sampedro, E. Mendoza, y G. Aviles. 1997. Coberturas Subacuáticas de la Zona Marina Costera De Chabihau, Yucatán, México: Análisis de una Imagen Satelital TM del Año 1997. 1050 2004 p. En: 55 Proceedings of the Fifty Fifth Annual Gulf and Caribbean Fisheries Institute.Xel Ha México.

Vergara, M. A. 2011. Zonas y Procesos Costeros. Instituto Politécnico Nacional. 362 p.

Villatoro, M., C. Henríquez y F. Sancho. 2008. Comparación de los interpoladores IDW y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo Agronomía Costarricense 32(1): 95-105.

Vogt, H., A. R. F. Montebon y M. L. R. Alcala. 1997. Underwater video sampling: an effective method for coral reef surveys?. Proc 8th Int Coral Reef Sym 2:1447-1452.

Vogt, H. 1994. Status of the coral reefs after the Gulf War. En: Abuzinada A.H. y Krupp F. (Eds.).The Status of Coastal and Marine Habitats two Years after the Gulf War Oil Spill.. Courier Senckenberg. 166: 61-66

Webster, R. y M. A. Oliver. 2007. Geostatistics for environmental scientists. John Wiley and Sons. 330 p.

Willmott, C. J. 1981. On the validation of models. Phys Gegr. 2:184-194.

Zar, J. H. 1999. Biostatistical Analysis. Prenctice Hall, New Jersey. 663p

Zarco, S.P. 2009. Descripción fisiográfica de los arrecifes de sisal y hábitats del arrecife Madagascar, Yucatán, México. Tesis de Licenciatura. UNAM. 104 p.

Zavala-Hidalgo, J. S., L. Morey, J. J, O´Brien. 2003. Seasonal circulation in the western shelf of the Gulf of Mexico using a high-resolution numerical model. J.Geophys.Res.Oceans. 108 (C12).

Zetina-Moguel, C. E., G. Ríos-Lara, I. Hernández-Herrera, M. Guevara-Ortiz, E. Ortiz-Avilés y J. Pool-Gómez. 2002. Catálogo de especies de pepino de mar comercializadas del estado de Yucatán. UADY.103 p.

ANEXO

Tabla 11. Abundancia absoluta y relativa (%) de cada GMF por sitio. Prof. = Profundidad; s = Riqueza (número de GMF por sitio); AC=algas cafés; AR= algas rojas; CA=césped algal; AV=algas verdes; CD=coral duro; CB=coral blando; P=pastos; ESP= esponjas; PAV=pavimento ó laja; ESC=grava y Escombro; ANA= arena; CDV= cinta de video; OV= otro tipo de vida.

SITIO	Prof.	AC	%	AR	%	CA	%	AV	%	CD	%	E	%	CB	%	P	%	ESP	%	PAV	%	ESC	%	ANA	%	CDV	%	OV	%	*s*
I-1	12.2	82	14.6	38	6.8	373	66.6	16	2.9	10	1.8	0	0	2	0.4	0	0	0	0	39	7.0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
I-2	14.3	137	24.5	35	6.3	278	49.6	7	1.3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0.4	79	14.1	20	3.6	1	0.2	1	0.2	0	0	9
I-4	15.2	0	0	0	0	0	0	1	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	6.3	524	93.6	0	0	0	0	3
I-5	12.2	0	0	0	0	0	0	3	0.5	1	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	554	98.9	2	0.4	0	0	4
I-6	15.0	19	3.4	76	13.6	269	48.0	36	6.4	4	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	116	20.7	33	5.9	0	0	7	1.3	0	0	8
I-7	12.2	61	10.9	3	0.5	453	80.9	7	1.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	3.8	9	1.6	1	0.2	5	0.9	0	0	8
I-8	13.7	106	18.9	4	0.7	412	73.6	14	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	3.9	0	0	1	0.2	1	0.2	0	0	7
I-9	12.2	74	13.2	79	14.1	348	62.1	8	1.4	4	0.7	1	0.2	0	0	0	0	0	0	38	6.8	6	1.1	2	0.4	0	0	0	0	9
II-1	9.1	9	1.6	0	0	35	6.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	2.3	33	5.9	0	0	470	83.9	0	0	0	0	5
II-10	9.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	100	0	0	0	0	1
II-11	9.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	100	0	0	0	0	1
II-12	10.7	33	5.9	86	15.4	307	54.8	54	9.6	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.5	65	11.6	8	1.4	4	0.7	0	0	0	0	8
II-2	9.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	100	0	0	0	0	1
II-3	9.1	73	13.0	120	21.4	198	35.4	27	4.8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.2	141	25.2	0	0	0	0	0	0	0	0	6
II-4	9.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	100	0	0	0	0	1
II-5	12.2	46	8.2	242	43.2	194	34.6	9	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0.7	47	8.4	14	2.5	1	0.2	3	0.5	0	0	9
II-6	9.4	36	6.4	0	0	46	8.2	53	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	425	75.9	0	0	0	0	4
II-8	10.7	49	8.8	123	22.0	353	63.0	17	3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	5
II-9	9.1	58	10.4	0	0	82	14.6	7	1.3	1	0.2	1	0.2	0	0	0	0	0	0	403	72.0	0	0	5	0.9	3	0.5	0	0	8
III-1	5.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	100	0	0	0	0	1
III-2	6.0	6	1.1	5	0.9	22	3.9	0	0	3	0.5	5	0.9	1	0.2	0	0	5	0.9	513	91.6	0	0	0	0	0	0	0	0	8
III-3	6.1	13	2.3	7	1.3	182	32.5	100	17.9	0	0	0	0	0	0	54	9.6	1	0.2	2	0.4	0	0	197	35.2	4	0.7	0	0	9
III-4	7.6	12	2.1	4	0.7	271	48.4	225	40.2	2	0.4	1	0.2	2	0.4	0	0	0	0	1	0.2	0	0	41	7.3	1	0.2	0	0	10
III-5	6.1	12	2.1	15	2.7	170	30.4	38	6.8	0	0	1	0.2	1	0.2	45	8.0	3	0.5	255	45.5	3	0.5	16	2.9	1	0.2	0	0	12
III-6	6.4	5	0.9	68	12.1	220	39.3	56	10.0	0	0	3	0.5	0	0	0	0	1	0.2	122	21.8	0	0	80	14.3	5	0.9	0	0	9
III-7	6.4	2	0.4	3	0.5	50	8.9	17	3.0	5	0.9	1	0.2	0	0	4	0.7	3	0.5	474	84.6	0	0	0	0	1	0.2	0	0	10
III-8	6.1	59	10.5	18	3.2	94	16.8	176	31.4	0	0	0	0	0	0	79	14.1	0	0	67	12.0	0	0	63	11.3	3	0.5	1	0.2	9
III-9	7.6	7	1.3	2	0.4	130	23.2	102	18.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	116	20.7	1	0.2	199	35.5	3	0.5	0	0	8
IV-1	8.5	24	4.3	27	4.8	287	51.3	36	6.4	1	0.2	0	0	27	4.8	0	0	8	1.4	97	17.3	2	0.4	50	8.9	0	0	1	0.2	11
IV-10	8.5	8	1.4	4	0.7	75	13.4	72	12.9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.2	352	62.9	0	0	45	8.0	3	0.5	0	0	8
IV-11	9.1	0	0	29	5.2	84	15.0	312	55.7	57	10.2	0	0	0	0	0	0	0	0	71	12.7	0	0	1	0.2	6	1.1	0	0	7
IV-2	7.6	35	6.3	349	62.3	43	7.7	0	0	0	0	0	0	5	0.9	0	0	0	0	108	19.3	0	0	18	3.2	2	0.4	0	0	7
IV-3	7.6	1	0.2	42	7.5	9	1.6	375	67.0	1	0.2	0	0	0	0	0	0	3	0.5	100	17.9	1	0.2	25	4.5	3	0.5	0	0	10
IV-5	8.5	4	0.7	3	0.5	6	1.1	170	30.4	6	1.1	3	0.5	0	0	0	0	10	1.8	299	53.4	0	0	58	10.4	1	0.2	0	0	10
IV-6	8.5	14	2.5	3	0.5	186	33.2	114	20.4	0	0	2	0.4	0	0	0	0	0	0	27	4.8	0	0	211	37.7	3	0.5	0	0	8
IV-7	9.1	29	5.2	79	14.1	265	47.3	10	1.8	1	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	172	30.7	0	0	2	0.4	2	0.4	0	0	8
IV-8	7.6	17	3.0	31	5.5	26	4.6	395	70.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77	13.8	0	0	4	0.7	10	1.8	0	0	7
IV-9	8.5	91	16.3	2	0.4	51	9.1	27	4.8	1	0.2	0	0	47	8.4	0	0	1	0.2	337	60.2	0	0	0	0	3	0.5	0	0	9

IX-1	13.7	55	9.8	0	0	489	87.3	2	0.4	1	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	13	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	5
IX-2	13.7	50	8.9	23	4.1	432	77.1	36	6.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	2.0	2	0.4	1	0.2	5	0.9	0	0	8
IX-3	15.2	131	23.4	6	1.1	359	64.1	9	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53	9.5	0	0	1	0.2	1	0.2	0	0	7
IX-4	12.2	17	3.0	10	1.8	221	39.5	9	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.2	54	9.6	11	2.0	227	40.5	9	1.6	1	0.2	10
V-1	3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
V-2	4.5	2	0.4	0	0	22	3.9	183	32.7	0	0	0	0	0	0	353	63.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
V-3	3.5	1	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.2	460	82.1	0	0	0	0	0	0	98	17.5	0	0	0	0	4
V-4	3.0	67	12.0	0	0	5	0.9	10	1.8	0	0	0	0	0	0	470	83.9	0	0	1	0.2	0	0	7	1.3	0	0	0	0	6
V-5	3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
V-6	3.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
V-7	3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
VI-1	4.6	2	0.4	2	0.4	2	0.4	171	30.5	0	0	3	0.5	0	0	174	31.1	0	0	0	0	0	0	206	36.8	0	0	0	0	7
VI-2	3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
VI-3	4.5	3	0.5	0	0	1	0.2	301	53.8	0	0	0	0	0	0	237	42.3	0	0	0	0	0	0	18	3.2	0	0	0	0	5
VI-4	3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
VI-5	3. 4	2	0.4	10	1.8	0	0	320	57.1	0	0	0	0	0	0	201	35.9	0	0	0	0	0	0	0	0	27	4.8	0	0	5
VI-7	3.7	25	4.5	52	9.3	18	3.2	380	67.9	1	0.2	0	0	0	0	38	6.8	0	0	39	7.0	0	0	7	1.3	0	0	0	0	8
VI-8	3.4	2	0.4	0	0	13	2.3	88	15.7	0	0	0	0	0	0	368	65.7	1	0.2	0	0	1	0.2	86	15.4	1	0.2	0	0	8
VII-1	5.2	0	0	0	0	4	0.7	4	0.7	1	0.2	0	0	1	0.2	55	9.8	1	0.2	494	88.2	0	0	0	0	0	0	0	0	7
VII-2	5.2	0	0	0	0	0	0	144	25.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	415	74.1	1	0.2	0	0	3
VII-3	4.6	13	2.3	173	30.9	159	28.4	19	3.4	1	0.2	0	0	135	24.1	8	1.4	0	0	50	8.9	0	0	2	0.4	0	0	0	0	9
VII-4	3.5	3	0.5	18	3.2	467	83.4	0	0	0	0	0	0	4	0.7	20	3.6	11	2.0	37	6.6	0	0	0	0	0	0	0	0	7
VII-5	6.1	61	10.9	3	0.5	51	9.1	265	47.3	0	0	0	0	1	0.2	124	22.1	1	0.2	23	4.1	0	0	29	5.2	2	0.4	0	0	10
VII-6	5.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
VIII-10	6.1	2	0.4	110	19.6	153	27.3	62	11.1	1	0.2	0	0	0	0	0	0	2	0.4	55	9.8	0	0	172	30.7	3	0.5	0	0	9
VIII-2	9.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	100	0	0	0	0	1
VIII-3	6.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	100	0	0	0	0	1
VIII-4	10.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	100	0	0	0	0	1
VIII-5	6.1	19	3.4	133	23.8	310	55.4	12	2.1	2	0.4	2	0.4	0	0	5	0.9	0	0	70	12.5	0	0	3	0.5	4	0.7	0	0	10
VIII6	6.1	45	8.0	199	35.5	181	32.3	26	4.6	3	0.5	0	0	1	0.2	0	0	4	0.7	73	13.0	0	0	28	5.0	0	0	0	0	9
VIII-7	7.0	80	14.3	100	17.9	73	13.0	4	0.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	302	53.9	0	0	1	0.2	0	0	0	0	6
VIII-8	7.0	55	9.8	1	0.2	174	31.1	147	26.3	1	0.2	0	0	5	0.9	0	0	2	0.4	168	30.0	0	0	5	0.9	2	0.4	0	0	10
VIII-9	7.6	11	2.0	244	43.6	116	20.7	14	2.5	1	0.2	1	0.2	0	0	0	0	0	0	13	2.3	1	0.2	153	27.3	6	1.1	0	0	10
X-1	12.2	222	39.6	11	2.0	312	55.7	5	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1.1	3	0.5	1	0.2	0	0	0	0	7
X-10	11.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	100	0	0	0	0	1
X-11	12.1	6	1.1	3	0.5	173	30.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	377	67.3	1	0.2	0	0	5
X-2	12.2	84	15.0	29	5.2	399	71.3	1	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	8.2	0	0	0	0	1	0.2	0	0	6
X-3	11.8	0	0	2	0.4	316	56.4	1	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	3.8	0	0	220	39.3	0	0	0	0	5
X-4	9.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	100	0	0	0	0	1
X-5	9.7	30	5.4	7	1.3	361	64.5	0	0	2	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	160	28.6	0	0	0	0	0	0	0	0	5
X-6	9.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	100	0	0	0	0	1
X-7	9.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	100	0	0	0	0	1
X-8	9.1	3	0.5	25	4.5	119	21.3	8	1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	387	69.1	17	3.0	0	0	1	0.2	0	0	7
X-9	7.6	308	55.0	163	29.1	18	3.2	2	0.4	1	0.2	0	0	1	0.2	0	0	0	0	67	12.0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
XI-1	5.8	13	2.3	0	0	223	39.8	70	12.5	4	0.7	0	0	1	0.2	167	29.8	10	1.8	72	12.9	0	0	0	0	0	0	0	0	8
XI-2	6.1	19	3.4	2	0.4	154	27.5	74	13.2	0	0	0	0	6	1.1	38	6.8	3	0.5	127	22.7	1	0.2	136	24.3	0	0	0	0	10

XI-3	6.1	7	1.3	17	3.0	289	51.6	26	4.6	7	1.3	0	0	0	0	62	11.1	4	0.7	139	24.8	1	0.2	8	1.4	0	0	0	0	10
XI-4	8.8	23	4.1	117	20.9	222	39.6	25	4.5	1	0.2	1	0.2	0	0	2	0.4	4	0.7	162	28.9	0	0	3	0.5	0	0	0	0	10
XI-5	4.9	13	2.3	12	2.1	44	7.9	289	51.6	1	0.2	2	0.4	0	0	81	14.5	0	0	117	20.9	0	0	1	0.2	0	0	0	0	9
XI-6	4.6	0	0	1	0.2	60	10.7	0	0	0	0	0	0	0	0	499	89.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
XII-1	7.5	32	5.7	104	18.6	249	44.5	20	3.6	0	0	0	0	0	0	3	0.5	8	1.4	144	25.7	0	0	0	0	0	0	0	0	7
XII-10	10.7	30	5.4	93	16.6	417	74.5	17	3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.2	0	0	1	0.2	1	0.2	0	0	7
XII-11	11.2	1	0.2	8	1.4	330	58.9	105	18.8	1	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	115	20.5	0	0	0	0	0	0	0	0	6
XII-12	10.1	47	8.4	129	23.0	363	64.8	18	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	5
XII-2	8.5	85	15.2	5	0.9	336	60.0	50	8.9	4	0.7	0	0	0	0	0	0	7	1.3	73	13.0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
XII-3	10.1	27	4.8	172	30.7	247	44.1	41	7.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	7.0	27	4.8	7	1.3	0	0	0	0	7
XII-4	10.6	2	0.4	1	0.2	273	48.8	14	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	268	47.9	0	0	2	0.4	0	0	0	0	6
XII-5	9.1	12	2.1	7	1.3	373	66.6	148	26.4	0	0	0	0	1	0.2	0	0	0	0	13	2.3	0	0	1	0.2	5	0.9	0	0	8
XII-6	10.7	19	3.4	103	18.4	287	51.3	44	7.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97	17.3	0	0	2	0.4	8	1.4	0	0	7
XII-7	7.5	87	15.5	34	6.1	309	55.2	32	5.7	0	0	0	0	7	1.3	0	0	5	0.9	86	15.4	0	0	0	0	0	0	0	0	7
XII-8	8.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	100	0	0	0	0	1
XII-9	10.6	1	0.2	3	0.5	63	11.3	0	0	7	1.3	0	0	0	0	0	0	5	0.9	0	0	0	0	481	85.9	0	0	0	0	6
XIII-1	2.5	55	9.8	1	0.2	187	33.4	0	0	0	0	0	0	0	0	271	48.4	11	2.0	35	6.3	0	0	0	0	0	0	0	0	6
XIII-2	1.5	0	0	0	0	0	0	44	7.9	0	0	0	0	0	0	508	90.7	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1.4	0	0	3
XIII-3	1.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
XIII-4	3.0	22	3.9	6	1.1	49	8.8	26	4.6	1	0.2	0	0	0	0	415	74.1	0	0	38	6.8	0	0	3	0.5	0	0	0	0	8
XIII-5	1.5	5	0.9	0	0	21	3.8	0	0	0	0	0	0	0	0	502	89.6	2	0.4	1	0.2	0	0	28	5.0	1	0.2	0	0	7
XIII-6	3.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	100	0	0	0	0	1
XIV-2	3.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	560	100	0	0	0	0	1
XIV-3	2.7	0	0	0	0	27	4.8	15	2.7	1	0.2	0	0	2	0.4	353	63.0	5	0.9	5	0.9	0	0	148	26.4	4	0.7	0	0	9
XV-1	9.1	0	0	14	2.5	2	0.4	308	55.0	75	13.4	0	0	0	0	0	0	0	0	154	27.5	0	0	1	0.2	6	1.1	0	0	7
XV-11	11.6	20	3.6	71	12.7	269	48.0	40	7.1	0	0	2	0.4	0	0	0	0	0	0	158	28.2	0	0	0	0	0	0	0	0	6
XV-12	12.2	32	5.7	0	0	484	86.4	3	0.5	2	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	27	4.8	0	0	11	2.0	1	0.2	0	0	7
XV-13	10.7	26	4.6	0	0	46	8.2	0	0	1	0.2	0	0	0	0	0	0	1	0.2	445	79.5	1	0.2	39	7.0	1	0.2	0	0	8
XV-3	12.8	10	1.8	1	0.2	523	93.4	8	1.4	2	0.4	0	0	0	0	0	0	1	0.2	13	2.3	0	0	2	0.4	0	0	0	0	8
XV-4	7.6	0	0	1	0.2	193	34.5	111	19.8	0	0	0	0	151	27.0	0	0	0	0	104	18.6	0	0	0	0	0	0	0	0	5
XV-5	11.6	20	3.6	0	0	2	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	534	95.4	0	0	0	0	4	0.7	0	0	4
XV-6	12.2	31	5.5	74	13.2	258	46.1	20	3.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	6.6	0	0	140	25.0	0	0	0	0	6
XV-7	15.2	36	6.4	5	0.9	412	73.6	2	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	2.9	3	0.5	86	15.4	0	0	0	0	7
XV-8	9.1	128	22.9	103	18.4	148	26.4	0	0	3	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	178	31.8	0	0	0	0	0	0	0	0	5
XV-9	12.2	14	2.5	50	8.9	383	68.4	4	0.7	0	0	2	0.4	0	0	0	0	2	0.4	101	18.0	2	0.4	2	0.4	0	0	0	0	9

Tabla 12. Desglose de la Disimilitud promedio para cada GMF entre los grupos E y A. Disimilitud promedio total =87.26%. Dis.= Disimilitud promedio, D.E.=desviación estándar de la disimilitud

GMF	Abundancia promedio		Disimilitud promedio	Proporción Dis./D.E.	Disimilitud relativa (%)	% Disimilitud acumulada
	Grupo E	Grupo A				
ANA	1.06	9.73	30.14	3.29	34.54	34.54
CA	7.04	0.66	22.66	2.42	25.96	60.5
PAV	3.29	0.11	10.8	1.61	12.38	72.88
AR	2.34	0	7.68	1.03	8.8	81.68
AC	2.14	0.12	7.25	1.13	8.31	89.99
AV	1.69	0.37	5.89	0.93	6.75	96.74
P	0.35	0	1.15	0.32	1.32	98.06
ESC	0.21	0.11	1.01	0.35	1.16	99.22
CB	0.22	0	0.68	0.22	0.78	100

Tabla 13. Desglose de la Disimilitud promedio para cada GMF entre las clases E y B. Disimilitud promedio total =86.23%. Dis.= Disimilitud promedio, D.E.=desviación estándar de la disimilitud

GMF	Abundancia promedio		Disimilitud promedio	Proporción Dis./D.E.	Disimilitud relativa (%)	% Disimilitud acumulada
	Clase E	Clase B				
P	0.35	8.83	27.76	3.44	32.2	32.2
CA	7.04	0.87	20.58	2.3	23.86	56.06
PAV	3.29	0.25	9.95	1.55	11.54	67.6
AV	1.69	1.69	7.35	1.04	8.52	76.12
AR	2.34	0	7.22	1.03	8.37	84.49
AC	2.14	0.41	6.7	1.13	7.77	92.26
ANA	1.06	1.13	5.38	0.75	6.24	98.51
ESC	0.21	0	0.64	0.27	0.75	99.25
CB	0.22	0	0.64	0.22	0.75	100

Tabla 14. Desglose de la Disimilitud promedio para cada GMF entre las clases A y B. Disimilitud promedio total =89.74%. Dis.= Disimilitud promedio, D.E.=desviación estándar de la disimilitud

GMF	Abundancia promedio		Disimilitud promedio	Proporción Dis./D.E.	Disimilitud relativa (%)	% Disimilitud acumulada
	Clase A	Clase B				
P	0	8.83	37.7	3.76	42.01	42.01
ANA	9.73	1.13	36.81	3.16	41.02	83.03
AV	0.37	1.69	7.03	0.69	7.83	90.86
CA	0.66	0.87	4.74	0.72	5.28	96.14
AC	0.12	0.41	1.83	0.44	2.04	98.18
PAV	0.11	0.25	1.18	0.39	1.32	99.49
ESC	0.11	0	0.45	0.22	0.51	100

Tabla 15. Desglose de la Disimilitud promedio para cada GMF entre las clases E y C-D. Disimilitud promedio total =58.14%. Dis.= Disimilitud promedio, D.E.=desviación estándar de la disimilitud

GMF	Abundancia promedio		Disimilitud promedio	Proporción Dis./D.E.	Disimilitud relativa (%)	% Disimilitud acumulada
	Clase E	Clase C-D				
CA	7.04	2.3	14.14	1.87	24.33	24.33
PAV	3.29	6.56	11.7	1.3	20.12	44.45
AV	1.69	3.99	10.25	1.32	17.62	62.07
AR	2.34	0.81	6.26	1.13	10.77	72.84
AC	2.14	1.12	5.64	1.16	9.7	82.55
ANA	1.06	0.92	4.36	0.8	7.5	90.05
P	0.35	1.01	3.19	0.69	5.49	95.54
CD	0	0.39	1.06	0.35	1.82	97.36
CB	0.22	0.16	0.96	0.32	1.66	99.02
ESC	0.21	0	0.57	0.28	0.98	100

Tabla 16. Desglose de la Disimilitud promedio para cada GMF entre las clases A y C-D. Disimilitud promedio total =89.40%. Dis.= Disimilitud promedio, D.E.=desviación estándar de la disimilitud

GMF	Abundancia promedio		Disimilitud promedio	Proporción Dis./D.E.	Disimilitud relativa (%)	% Disimilitud acumulada
	Clase A	Clase C-D				
ANA	9.73	0.92	32.09	3.84	35.9	35.9
PAV	0.11	6.56	24.26	1.93	27.14	63.04
AV	0.37	3.99	13.18	1.13	14.74	77.78
CA	0.66	2.3	7.8	1.37	8.72	86.5
AC	0.12	1.12	3.84	0.79	4.3	90.8
P	0	1.01	3.3	0.6	3.69	94.49
AR	0	0.81	2.7	0.68	3.02	97.5
CD	0	0.39	1.32	0.35	1.47	98.98
CB	0	0.16	0.52	0.24	0.58	99.56
ESC	0.11	0	0.39	0.22	0.44	100

Tabla 17. Desglose de la Disimilitud promedio para cada GMF entre las clases B y C-D. Disimilitud promedio total =81.89 %. Dis.= Disimilitud promedio, D.E.=desviación estándar de la disimilitud

GMF	Abundancia promedio		Disimilitud promedio	Proporción Dis./D.E.	Disimilitud relativa (%)	% Disimilitud acumulada
	Clase B	Clase C-D				
P	8.83	1.01	26.99	2.68	32.96	32.96
PAV	0.25	6.56	22.27	1.86	27.19	60.15
AV	1.69	3.99	12.38	1.17	15.12	75.28
CA	0.87	2.3	7.05	1.35	8.61	83.89
ANA	1.13	0.92	4.96	0.87	6.06	89.95
AC	0.41	1.12	3.97	0.84	4.85	94.8
AR	0	0.81	2.53	0.68	3.09	97.89
CD	0	0.39	1.24	0.35	1.51	99.4
CB	0	0.16	0.49	0.24	0.6	100

Tabla 18. Taxa por grupo morfo-funcional identificado para la porción central de la costa de Yucatán y autores que han reportado los mismos taxa para la costa de Yucatán.

Taxa por GMF encontrado para la zona de estudio	**Localidades de Yucatán en las que se han reportado su presencia**	**Referencia**
ALGAS VERDE		
Acetabularia	entre Uaymitún y Chuburná; Costa de Yucatán (Celestún, puente piedra ,Sisal, Progreso, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, San Felipe,Río Lagartos, Las Coloradas, El Cuyo)	Sánchez-Molina *et al*., 2007; Ortegón-Aznar *et al*., 2010
Caulerpa	Arrecife Madagascar; Costa de Yucatán (Celestún, puente piedra ,Sisal, Progreso, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, San Felipe, Río Lagartos, Las Coloradas, El Cuyo)	Ortegón-Aznar *et al*.,2008; Ortegón-Aznar *et al*., 2010
Chaetomorpha	Arrecife Madagascar; Costa de Yucatán (Celestún, puente piedra ,Sisal, Progreso, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, San Felipe, Río Lagartos, Las Coloradas, El Cuyo)	Ortegón-Aznar *et al*., 2008; Ortegón-Aznar *et al*, 2010
Cladofora	Arrecife Madagascar entre Uaymitún y Chuburná	Ortegón-Aznar et al., 2008; entre Uaymitún y Chuburná
Codium	Arrecife Madagascar; entre Uaymitún y Chuburná; sisal, progreso, Telchac puerto, Dzilam de Bravo, San Felipe,Río Lagartos, Las coloradas, El cuyo;	Ortegón-Aznar *et al*., 2008; Sánchez-Molina *et al*., 2007;
Penicillus	Arrecife Madagascar; Costa de Yucatán (Celestún, puente piedra ,Sisal, Progreso, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, San Felipe,Río Lagartos, Las Coloradas, El Cuyo)	Ortegón-Aznar *et al*., 2008; Ortegón-Aznar *et al*, 2010
Halimeda	Arrecife Madagascar, entre Uaymitún y Chuburná; Costa de Yucatán (Celestún, puente piedra ,Sisal, Progreso, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, San Felipe, Río Lagartos, Las Coloradas, El Cuyo)	Ortegón-Aznar *et al*., 2008; Sánchez-Molina *et al*., 2007; Ortegón-Aznar *et al*, 2010
Udotea	Arrecife Madagascar, entre Uaymitún y Chuburná; Costa de Yucatán (Celestún, puente piedra ,Sisal, Progreso, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, San Felipe, Río Lagartos, Las Coloradas, El Cuyo)	Ortegón-Aznar *et al*., 2008; Sánchez-Molina *et al*., 2007; Ortegón-Aznar *et al*, 2010
ALGAS ROJAS		
Agardhiella	Arrecife Madagascar, entre Uaymitún y Chuburná; Costa de Yucatán (Celestún, puente piedra ,Sisal, Progreso, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, San Felipe, Río Lagartos, Las Coloradas, El Cuyo)	Ortegón-Aznar *et al*., 2008; Sánchez-Molina *et al*., 2007 Ortegón-Aznar *et al*., 2010
Bryothamnion	entre Uaymitún y Chuburná; Costa de Yucatán (Celestún, puente piedra ,Sisal, Progreso, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, San Felipe,	Sánchez-Molina *et al*., 2007; Ortegón-Aznar *et al*., 2010

	Río Lagartos, Las Coloradas, El Cuyo)	
Ceramium	Arrecife Madagascar entre Uaymitún y Chuburná; Costa de Yucatán (Celestún, puente piedra ,Sisal, Progreso, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, San Felipe,Río Lagratos, Las Coloradas, El Cuyo)	Ortegón-Aznar *et al*., 2008; Sánchez-Molina *et al*., 2007; Ortegón-Aznar *et al.*, 2010
Chondria	Arrecife Madagascar entre Uaymitún y Chuburná; Costa de Yucatán (Celestún, puente piedra ,Sisal, Progreso, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, San Felipe,Río Lagartos, Las Coloradas, El Cuyo)	Ortegón-Aznar *et al*., 2008; Sánchez-Molina *et al*., 2007; Ortegón-Aznar *et al*, 2010
Digenia	entre Uaymitún y Chuburná; Costa de Yucatán (Celestún, puente piedra ,Sisal, Progreso, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, San Felipe, Río Lagartos, Las Coloradas, El Cuyo)	Sánchez-Molina *et al*., 2007. Sánchez-Molina *et al*., 2007
Euchema	sisal, progreso, Telchac puerto, Dzilam de Bravo, San Felipe, Las coloradas, El cuyo; Costa de Yucatán (Celestún, puente piedra ,Sisal, Progreso, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, San Felipe,Río Lagartos, Las Coloradas, El Cuyo)	Ortegón-Aznar *et al.*,2010
Jania	Arrecife Madagascar entre Uaymitún y Chuburná; Costa de Yucatán (Celestún, puente piedra ,Sisal, Progreso, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, San Felipe,Río Lagartos, Las Coloradas, El Cuyo)	Ortegón-Aznar *et al*., 2008; Sánchez-Molina *et al*., 2007 ;Ortegón-Aznar *et al*., 2010
Laurencia	entre Uaymitún y Chuburná; Costa de Yucatán (Celestún, puente piedra ,Sisal, Progreso, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, San Felipe,Río Lagartos, Las Coloradas, El Cuyo)	Sánchez-Molina *et al*., 2007; Ortegón-Aznar et al, 2010
Meristiella	Río Lagartos	Garduño-Andrade, 1997.
Sporochnus	Costa de Yucatán (Celestún, puente piedra ,Sisal, Progreso, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, San Felipe, Río Lagartos Las Coloradas, El Cuyo) ;	Ortegón-Aznar *et al*., 2010
Halymenia	entre Uaymitún y Chuburná; sisal, progreso, Telchac puerto, Dzilam de Bravo, San Felipe,Río Lagartos, Las coloradas, El cuyo;	Sánchez-Molina *et al*., 2007.
ALGAS CAFÉS		
Padina	Arrecife Madagascar entre Uaymitún y Chuburná; Costa de Yucatán (Celestún, puente piedra ,Sisal, Progreso, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, San Felipe,Río Lagartos, Las Coloradas, El Cuyo)	Ortegón-Aznar *et al*., 2008; Sánchez-Molina *et al*., 2007 Ortegón-Aznar *et al*., 2010
Rosenvingea	Río Lagartos	Garduño-Andrade, 1997.
Sargassum	Arrecife Madagascar; Costa de Yucatán (Celestún, puente piedra ,Sisal, Progreso, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, San Felipe,Rio Lagartos, Las Coloradas, El Cuyo)	Ortegón-Aznar *et al*., 2008; Ortegón-Aznar *et al.*, 2010
Dictyopteris	Arrecife Madagascar; Costa de Yucatán (Celestún, puente piedra ,Sisal, Progreso, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, San Felipe, Rio Lagartos, Las Coloradas, El Cuyo)	Ortegón-Aznar et al., 2008; Ortegón-Aznar *et al*., 2010

Dictyota	Arrecife Madagascar entre Uaymitún y Chuburná; Costa de Yucatán (Celestún, puente piedra ,Sisal, Progreso, Telchac Puerto, Dzilam de Bravo, San Felipe, RíoLagartos, Las Coloradas, El Cuyo)	Ortegón-Aznar *et al*., 2008; Sánchez-Molina *et al*., 2007; Ortegón-Aznar *et al*., 2010
CORAL DURO		
Siderastrea radians	Rio Lagartos; Estado de Yucatán	Garduño-Andrade, 1997.; Tarruco y González, 2010
Siderastrea siderea	Rio Lagartos; Estado de Yucatán	Garduño-Andrade, 1997. Tarruco y González, 2010
Solenastrea	Rio Lagartos; Estado de Yucatán	Garduño-Andrade, 1997. Tarruco y González, 2010
EQUINODERMOS		
Isostichopus badionotus	Costa de Yucatán	Zetina-Moguel, 2002
Holonthuria floridana	Costa de Yucatán	Zetina-Moguel,2002
Astichopus multifidus	Costa de Yucatán	Zetina-Moguel,2002
Echinaster	Costa de Yucatán	Solis y Laguarda,2010
Equinometra lucunter	Costa de Yucatán	Solis y Laguarda,2010
Luidia alternata	Costa de Yucatán	Solis y Laguarda,2010
CORALES BLANDOS		
Pseudopterogorgia	Rio Lagartos; Estado de Yucatán	Garduño-Andrade, 1997. Tarruco y González, 2010
Pterogorgia	Rio Lagartos; Estado de Yucatán	Garduño-Andrade, 1997. Tarruco y González, 2010
PASTOS		
Halodule	Costa de Yucatán	Herrera-Silveina, 2009; De la Lanza y Tovilla, 1986
Syringodium	Costa de Yucatán	Herrera-Silveira, 2009; De la Lanza y Tovilla, 1986
Thalassia	Costa de Yucatán	Herrera-Silveira. 2009: De la Lanza y Tovilla, 1986
ESPONJAS		
Cliona delitrix	Costa de Yucatán	Tarruco y González, 2010
Spheciospongia vesparium	Costa de Yucatán	Tarruco y González, 2010