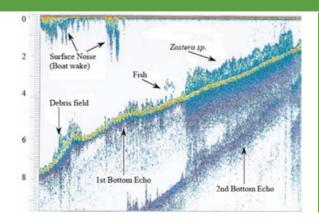




INDICADORES DEL ESTADO LAS COMUNIDADES DE PASTOS MARINOS Y MANGLARES EN EL GOLFO DE MÉXICO FASE I

Informe Final





2012

Coordinación General de Adaptación al Cambio Climático



Coordinado por:

Coordinación General de Adaptación al Cambio Climático

Elaborado por:

Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa

Responsable:

Dra. Margarita Elizabeth Gallegos Martínez

Boulevard Adolfo Ruiz Cortines 4209, 2° piso. Col. Jardines en la Montaña, Del. Tlalpan C.p. 4210 Ciudad de México Tel. +52 (55) 54246400.

www.inecc.gob.mx

Universidad Autónoma Metropolitana





INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA



Informe Final
Marzo de 2012

Responsable: Dra. Margarita Elizabeth Gallegos Martínez.

Investigadores Participantes: Dra. María del Rocío Torres Alvarado, Dra. Laura Georgina Calva Benítez, Dr. Zoilo Antonio Márquez García, Dr. Francisco Gutiérrez Mendieta, Maestro Gilberto Hernández Cárdenas M. en C. Romeo García Pacheco, Ing. Leonid Ignacio Márquez García.

Becarios Participantes: Biol. Anaid Márquez Torres, Hidrobiol. Gabriela Márquez Labastida, Hidrobiol. José Guillermo Trejo Ramírez, Hidrobiol. Juan Emilio Padilla Torres, Biol. Iliana Pérez Espinoza, Hidrobiol. Ivanhoe Herrera Moro-Chao, Hidrobiol. Fernando Valdés Cruz, Ing. en Ali. Guadalupe Berenice Sánchez Franco, Ing. Bioquim. Alejandro Ferreira Rolón, Hidrobiol. Mónica Guzmán Espinoza, Hidrobiol. Fernanda Teresa Valerio Rojas, Hidrobiol. Juan Manuel Arce Ramos, Jorge Isrrael Villafuerte Esparza, Nidia Citlali Cuevas Gualito.

ÍNDICE

NDICADORES DE LAS COMUNIDADES DE PASTOS MARINOS EN EL GOLFO DE MÉXICO	4
Introducción	4
Justificación	. 12
Objetivo General	. 12
Objetivos Particulares	. 12
Metodología	. 14
Distribución de Pastos Marinos con la DT-X Digital Echosounder System	. 14
Métodos de análisis	. 16
Biomasa de Pastos Marinos	. 20
Resultados	. 21
Presencia de pastos marinos	. 21
Veracruz – Islas	. 21
Tuxpan – Tamiahua, Veracruz	. 23
Campeche	. 25
Yucatán – San Felipe	C
Yucatán – Celestún	. 29
Laguna de Términos	. 31
Caracterización de la altura de vegetación y Porcentaje de cobertura	. 32
Biomasa	. 41
Veracruz	. 41
Campeche	44
Yucatán	. 51
Campeche 2: Laguna de Términos	. 59
Conclusiones	. 61
Caracterización sedimentológica de los sitios asociados a Pastos Marinos.	. 63
Introducción	. 63
Antecedentes	. 64
Hidrocarburos en Sedimentos	. 65
Objetivos	. 66
Metodología	66

Colecta de sedimentos:	66
Composición mineral de los sedimentos	67
Resultados	68
Sedimentos asociados a pastos marinos	68
Conclusiones:	77
DISTRIBUCIÓN DE PASTOS MARINOS.	78
Metodología	78
Cartografía de ubicación de PM	79
Recorridos de campo	80
Mapas de Distribución de los Pastos Marinos	82
Resultados	83
Mapas de Ubicación de Áreas de Estaciones	83
Áreas de distribución	87
NUTRIENTES EN AGUA Y SEDIMENTOS Y BIOMASA FITOPLANCTÓNICA EN COM PASTOS DEL GOLFO DE MÉXICO	
Introducción	92
Metodología	93
Resultadosy Discusión	94
Biomasa fitoplanctónica (Clora).	94
Nutrientes en agua	95
Nutrientes en agua intersticial	100
Conclusiones	107
ECOLOGÍA BACTERIANA EN LECHOS DE PASTOS MARINOS	108
Introducción	108
Antecedentes	108
Métodos	109
Trabajo de campo	109
Trabajo de laboratorio	109
Resultados y Discusión	110
Carbono Orgánico y Materia Orgánica en sedimentos asociados a F Pastos Marinos en áreas del Golfo de México	
Introducción	117
Antecedentes	117

Objetivos	. 118
Metodología	. 118
a. Estrategia de muestreo	. 118
b. Métodos de laboratorio	. 118
Resultados	. 118
ISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA ABUNDANCIA DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICO RADERAS DE PASTOS MARINOS EN EL GOLFO DE MÉXICO	
Introducción	. 127
Objetivo General	. 129
Antecedentes	. 129
Metodología	. 130
a. Estrategia de muestreo	. 130
b. Métodos de laboratorio	. 131
c. Métodos de análisis	. 131
Productos	. 132
Resultados y Discusión	. 132
Bibliografía	. 139
Indicadores de las Comunidades de Pastos Marinos en el Golfo de México	. 139
Caracterización sedimentologíca de los sitios asociados a praderas de paramarinos.	
Distribución de Pastos Marinos	. 145
Nutrientes en agua y sedimentos, y biomasa fitoplanctónica en comunidade Pastos Marinos.	
Ecología Bacteriana en lechos de Pastos Marinos	. 146
Carbono Organico y Materia Orgánica en sedimentos Asociados a Pradera Pastos Marinos.	
Distribución Espacial de la Abundancia de Macroinvertebrados Bentonico Praderas de Pastos Marinos	

INDICADORES DE LAS COMUNIDADES DE PASTOS MARINOS EN EL GOLFO DE MÉXICO.

Introducción

El Golfo de México es el gran Mar interior del Atlántico Tropical y de acuerdo con Carson (1980), es un verdadero mediterráneo entre las Américas del Norte y del Sur. Es una cuenca de 1.6 x 10⁶ km² que almacena 2.3 x 10⁶ km³ de agua y a lo largo de 4,000 km de litoral, comprendidos entre las Penínsulas de Florida y Yucatán, se desarrollan un gran número de hábitats producto de la interacción de la atmósfera y las aguas oceánicas con los cayos, islas de barrera, dunas, playas arenosas, ríos, deltas, bahías, estuarios, lagunas costeras, humedales, manglares, arrecifes y bancos carbonatados. En muy pocos sitios del planeta estos hábitats encuentran las condiciones favorables para desarrollarse a tan poca distancia unos de otros. En sus aguas se llevan a cabo un gran número de procesos biológicos, físicos y químicos como corrientes oceánicas, anillos ciclónicos y anticiclónicos, tormentas tropicales y extra-tropicales, huracanes, nortes, surgencias y cascadas, lo cual hace del Golfo de México un importante almacén de energía océano-atmósfera (Fernández *et al.* 1993).

Desde el punto de vista geológico, el Golfo de México es una provincia distributiva con un área sedimentaria de 5.40 x 10⁶ km², en donde desembocan los dos mayores sistemas fluviales de Norteamérica como son el Rio Mississippi en los Estados Unidos y el Grijalva Usumacinta en México. Los ríos tienen un gran potencial de acarreo de sedimentos y materia formando inmensas planicies aluviales. La capacidad de formación de terrenos aluviales del Grijalva-Usumacinta es 6 veces mayor que el del Mississippi, y junto con el Papaloapán contribuyen con el 55% de las descargas aluviales en las costas Mexicanas (Bassols, 1977).

En el Golfo de México descargan 38 sistemas fluviales con aproximadamente 31.6 x 10^6 kg s⁻¹ de agua dulce, acarrean 775 millones de toneladas de detritus y aproximadamente 208 millones de toneladas de materiales disueltos. Son las rutas de distribución de numerosos desechos tóxicos que contaminan y ponen en riesgo a sus numerosos y valiosos hábitats.

Desde el punto de vista de su estructura el Golfo de México se divide en siete provincias geológicas: Cuenca del Golfo, Plataforma Carbonatada del Golfo Nororiental; Plataforma Carbonatada del Sur de Florida, Plataforma Carbonatada de Yucatán y Sonda de Campeche; Zona Istmíca; la Plataforma Oriental Mexicana y la Plataforma Noroccidental del Golfo. La distribución y transporte de sedimentos están determinados, por procesos geológicos vinculados tanto a las descargas

fluviales como a las corrientes de turbiedad de los cañones submarinos como el De Soto y de Campeche (Bouma, 1972).

Carranza *et al.* (1975), clasificó las costas del Golfo de México en cuatro grandes unidades morfo-tectónicas continentales. La primera es una costa de mar marginal que se localiza desde la desembocadura del Río Bravo hasta Punta Delgada en Veracruz, y tiene una extensión de 700 km. La Segunda tiene una extensión de 300 km, también es una costa de mar marginal con algunas formaciones arrecifales y se extiende desde Punta Delgada hasta la desembocadura del Río Coatzacoalcos, Veracruz. La tercera tiene una extensión de 170 km desde la desembocadura del Río Coatzacoalcos hasta la porción oriental de la Laguna de Términos. Se caracteriza por la presencia de los deltas de los Ríos Tonalá, Grijalva-Mezcalapa, y San Pedro y San Pablo. La cuarta unidad tiene una extensión de 1,100 km desde Isla Aguada, Campeche, hasta Chetumal en Quintana Roo, y también es una costa de mar marginal con numerosos cañones y sumideros, con sedimentaciones marinas que forman playas e islas de barrera, que originan las principales formaciones arrecifales en las costas del Golfo de México.

La plataforma continental es una terraza muy extensa y casi continua vinculada geológica y fisiográficamente al continente. Es amplia frente a las planicies costeras, y estrecha a la altura de los sistemas montañosos del país. La plataforma Noroccidental de Cuba, la plataforma terrígena del Mississippi y la plataforma terrígena frente a Veracruz, conforman ambientes en donde se desarrollan las mayores formaciones arrecifales del Golfo de México. En el caso de México en la zona de Tampico-Tuxpan, se encuentran La Blanquilla, Isla de Lobos y de En medio, en el área de Veracruz, la Gallega, Galleguilla, Anegada de Adentro, Isla Verde, Isla Pájaros y Sacrificios; en la zona frente a Antón Lizardo se localizan Isla de En medio, las Chopas, Anegada de Afuera, Cabezo y Rizo y en la plataforma de Campeche se localizan Cayo Arcas, Obispo, Triángulos, Banco Nuevo, Banco Inglés, Arnas y Alacrán (Wells, 1988).

Se han identificado siete masas de agua en el Golfo de México; Agua Común del Golfo, Agua Subtropical Subyacente, Agua de los 18°C del Mar de los Sargazos, Agua Central del Atlántico Tropical, Agua Antártica Intermedia, Agua Profunda del Atlántico Norte y la Mezcla de Agua Intermedia del Caribe con Agua Profunda del Atlántico Norte. Vidal *et al.* (1990) señalan que la capa cálida superior (0-500m) la constituyen las primeras cuatro masas y las tres restantes forman la capa fría inferior (500-3,650m).

Las aguas Subtropicales Subyacentes son transportadas del Caribe por la Corriente del Lazo. La corriente del Lazo y sus anillos ciclónicos y anticiclónicos, son los mecanismos primarios que movilizan, distribuyen y dispersan las masas de agua en el Golfo de México (Forristal *et al.*1992). Estas corrientes son decisivas para la renovación, circulación y balances térmicos y salinos de las aguas superficiales e influyen en la climatología, hidrografía, dinámica de los procesos

costeros, generación y frecuencia de las tormentas tropicales y en las pesquerías costeras y estuarinas (Fernández *et al.* 1993). Estas corrientes cruzan el Golfo de México durante 6 a 8 meses, pero persisten hasta más de 35 meses, después de interactuar con la batimetría de la plataforma occidental.

Los Nortes influyen también en la circulación de las aguas superficiales del Golfo México al combinarse con los anillos ciclónicos y anticiclónicos durante el otoño e invierno (Cochrane y Kelly, 1986). Estas masas frías extraen el calor de las masas superficiales transfiriéndola hacia la atmósfera, con lo que la Corriente de Lazo y sus anillos ciclónicos y anticiclónicos se convierten en una fuente de calor, de donde las tormentas tropicales extraen su energía (Lewis y Hsu, 1992),

En las costas Mexicanas del Golfo existen 24 sistemas estuarino-lagunares de los cuales Tamaulipas tiene el 41% que corresponden a 231,200 ha; Veracruz el 19% con 116,600 ha; Tabasco el 3% con 24,800 ha y Campeche con 37% con 196,000 ha (Contreras y Zabalegui, 1988).

El Golfo de México es un ecosistema que ha estado sometido desde hace millones de años, a los cambios geológicos y climáticos y en los últimos años a los efectos antropogénicos, los cuales requieren de pocos años y en ocasiones solo de algunos días, para ocasionar efectos devastadores e irreversibles.

A lo largo de las costas y sistemas estuarinos del Golfo de México, se desarrollan comunidades de manglares y pastos marinos cuyo papel en la aportación de nutrientes a las cadenas alimenticias, ha sido ampliamente documentado por numerosos autores, los cuales señalan que tienen una alta productividad primaria neta. Su localización las hace altamente vulnerables a los factores naturales así como a las acciones humanas, las cuales se han incrementado en los últimos años.

Los ecosistemas costeros están considerados como los más productivos a nivel mundial ya que sus tasas de producción primaria son comparables a los producidos por las selvas tropicales (Cebrian y Duarte, 1996). Esta alta producción las ubica como sitios de importancia en el secuestro de Carbono. De acuerdo con Duarte et al. (2005), los valores del Carbono atrapado en sus sedimentos es de 111 Tg C año⁻¹ lo cual representa el 50% del total de Carbono secuestrado en los sedimentos marinos por parte de un hábitat que cubre menos del 2% de la superficie de todos los mares.

Los servicios ecológicos que brindan, fueron calculados y comparados con otros ecosistemas por Costanza et al. (1997). Estos autores señalan que el valor de los servicios ecológicos de los ecosistemas costeros, era en 1992 de \$ USA 6,000-19,000 ha⁻¹ y el de las selvas tropicales de \$USA 2,000 ha⁻¹ en 1997. Cualquier alteración en las áreas costeras afecta el valor de estos servicios.

Los Pastos Marinos y Manglares constituyen un componente fundamental de los Humedales Costeros, y su monitoreo biológico a corto mediano y largo plazo es

importante para conocer la dinámica de sus comunidades y las consecuencias que las acciones climáticas y humanas tienen sobre ellas.

A nivel mundial los pastos marinos cubren aproximadamente 0.1- 0.2 % de las costas oceánicas, y son comunidades altamente productivas que constituyen áreas de desove, anidación, refugio, protección, y alimentación para numerosas especies de vertebrados e invertebrados como tortugas, manatíes, peces, camarones, caballitos de mar, pulpos, pepinos de mar.

Son excelentes protectores de las áreas costeras ya que sus hojas atrapan los sedimentos suspendidos incorporándolos al substrato mediante su sistema rizomas y raíces con lo cual previenen la erosión y regulan la calidad de las aguas (Duarte, 2002), al influir en las condiciones físicas, químicas y biológicas por lo que se les ha considerado como "canarios ambientales".

Son una importante fuente de carbono que se incorpora en el detritus los cuales son exportados a las profundidades mar abierto en donde es el suministro más importante de materia orgánica en medios ambientes limitados en alimento (Heminnga y Duarte 1998). El exceso de carbono orgánico que producen se queda enterrado en los sedimentos de los pastos formando las llamadas "manchas calientes" de carbono secuestrado a la biosfera (Duarte *et al.* 2005).

La proximidad de los pastos marinos a otros hábitats críticos como los pantanos salados o marismas en las regiones templadas, o a los manglares y corales en las zonas tropicales, los convierte en facilitadores en la transferencia trófica y de hábitat que llevan a cabo numerosas especies de peces e invertebrados (Beck *et al.* 2001). Esto los convierten en proveedores de la energía subsidiaria esencial para mantener la abundancia de especies de peces de arrecife (Valentine y Heck, 2005) y un importante sustento de la biodiversidad marina pues muchas especies dependen de los nutrientes que se generan en ellos.

Constanza *et al.* (1997) han documentado y comparado con otros ecosistemas tanto marinos como terrestres, el papel y los numerosos servicios ecológicos que los pastos marinos proporcionan al ecosistema valorándolo en 19,004 USD/ha/año.

En las costas mexicanas se cuenta con una riqueza florística de pastos marinos, pertenecientes a 3 familias de 6 y 7 géneros, de los 14 que se reportan a nivel mundial. Son 9 las especies localizadas en México, pertenecientes a las familias Zosteraceae(*Zostera marina*, *Phyllospadix scouleri* y *Phyllospadix torreyi*), Cycomodoceae (*Syringodium filiforme*, *Halodule wrightii*), e Hydrocharitaceae (*Thalassia testudinum*, *Halophila engelmanni*, *Halophila johnsonni*).



Figura 1: Distribución mundial de pastos marinos. Tomado de Short, 2007.

En el Pacífico se localizan Zostera marina, Phyllospadix scouleri, Phyllospadix torreyi y Halodule wrigtii.

En las Costas del Golfo de México (Figura1) la flora de pastos marinos está representada por las especies *Thalassia testudinum, Halophila engelmanni, Halophila johnsonni, Syringodium filiforme y Halodule wrightii*, (den Hartog y Kuo 2006; Short *et al.* 2007).

En las costas del Golfo de México y Caribe Mexicano *Halodule wrightii* y *Syringodium filiforme* son consideradas especies pioneras (Gallegos *et al.*, 1993) y *Thalassia testudinum* la comunidad clímax (Gallegos *et al.*, 1992, 1994; Van Tussenbroek *et al.*, 2006).

Veracruz

A pesar de su importancia ecológica y de la riqueza de pastos marinos que posee México, son escasos los estudios realizados para este ecosistema. El primer estudio sobre pastos marinos lo efectúo Lot-Helgueras (1968), en el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), en donde detalla la ubicación y presencia de los pastos marinos y a *Thalassia testudinum* como la especie dominante. En los arrecifes Galleguilla y Anegada de Adentro señala que esta especie tiene un crecimiento limitado, conformando pequeños grupos esparcidoscuyas hojas difícilmente alcanzan los 9cm de longitud.

También para el estado de Veracruz, Martínez-Murillo y Aladro-Lubel (1994) estudiaron los ciliados asociados a *Halodule beaudettei* (*Halodule wrigthii*) en una población localizada frente al poblado de Tantalamos en la Laguna de Tamiahua sin analizar a las comunidades de pastos marinos. Para la misma zona, Raz-Guzman y Barba (2000) mencionan que la presencia de esta especie se restringe

a los márgenes arenosos y poco profundos de la laguna, y realizan análisis en su biomasa. Días- Ruiz et al. (2000) incluyen a la laguna de Tamiahua la presencia de *Ruppia marítima*.

Para el Sistema Arrecifal de Tuxpan, en donde se localiza también Isla de Lobos, son relevantes los trabajos de Gonzales-Gándara efectuados en ambos arrecifes (2005, 2007, 2009), para los cuales señala la presencia de *Thalassia testudinum* como especie dominante (80%) (Figura 2).

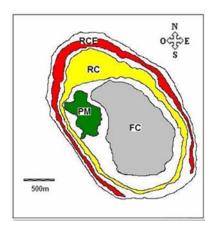


Figura 2: Esquema del Arrecife de Tuxpan donde se muestra el area ocupada por Pastos Marinos (PM).

En el arrecife de Isla de En medio del SAV, Gallegos Martínez (1976) y Novelo-Retana (1976) efectuaron estudios ecologícos de las poblaciones de *Thalassia testudinum*, En estos trabajos se detalla la distribución de las praderas de pastos marinos, la cual se presenta en las Figuras 3 y 4.

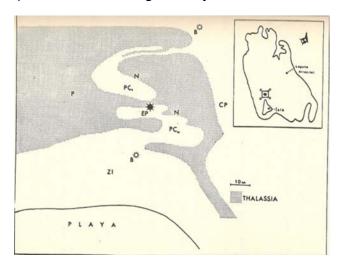


Figura 3: Esquema de distribución de pastos marinos de Isla de Enmedio tomado de Novelo, 1976.

Echaiz-Hernández (1988) analizó los niveles de hidrocarburos en agua, sedimentos recientes y hojas de *T. testudinum*, encontrando que las concentraciones de hidrocarburos en hojas fueron mayores que las de los sedimentos y escasos los disueltos y/o dispersos en la columna de agua, confirmando la dinámica de los hidrocarburos en el ecosistema.

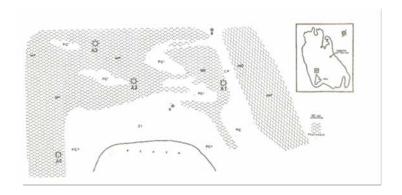


Figura 4: Esquema de distribución de los pastos marinos en Isla de Enmedio. Tomado de Gallegos, 1976.

Camalich-Caprizo y Gallegos (2001) realizaron un estudio comparativo de la producción y distribución de *T. testudinum* en tres regiones del Golfo de México donde se incluye la Isla de En medio. En este arrecife la distribución de los pastos marinos se localizan en la parte NE y Oeste de la isla.

Terrados *et al.*(2008)analizaron las poblaciones de *T. testudinum* en los arrecifes Hornos, Isla Sacrificios e Isla de En medio del SAV.Los resultados del estudio mostraron que el desarrollo vegetativo de *T. testudinum* en el arrecife Hornos fue menor al de las poblaciones de las islas Sacrificios y de En medio, sugiriendo que estas se deben a otros factores diferentes a la variabilidad de nutrientes.

El Puerto de Veracruz en los últimos años ha tenido un alto crecimiento económico y un desarrollo urbano, con una población de más de 800, 000 habitantes (INEGI, 2005), afectando con ello las comunidades de pastos marinos del SAV.

Campeche

En la Laguna de Términos, se han realizado diversos estudios relacionados con la fauna bentónica asociada a los los pastos marinos. Botello y Medellin (1979), analizaron la distribución de n-parafinas en las hojas de *T. testudinum* en las que encontraron anomalías en las n-parafinas en las hojas de *Thalassia*que fueron relacionadas con la contaminación por petróleo.

Botello (1980) analizó muestras de *T. testudinum* de diferentes sitios de la laguna, considerados como los más afectados por el derrame de petróleo sucedido en 1976. En los análisis cromatográficos de las n-parafinas presentes en *T.*

testudinum antes y después de la presencia de petróleo, encontraron hidrocarburos biogénicos, parafinas ramificadas, olefinas y cicloparafinas típicos del petróleo

Moor y Wetzel (1988), estudiaron la distribución y productividad de los pastos marinos en la Laguna de Términos señalando a *T. testudinum*como la especie dominante y la presencia ocasional de *Halodule wrigtii* y *Syringodium filiforme*. Registraron la distribución de los pastos marinos pastos marinos a lo largo del litoral interno de la Isla del Carmen, en el delta de la Boca de Puerto Real y a lo largo de la zona litoral en las líneas de costas este y sureste de la laguna (Figura 5).

En cuanto a la zona costera perteneciente al ANP Los Petenes en Campeche, Gallegos (2011), señala la composición específica y los hábitas en donde crecen las especies *Thalassia testudiunum*, *Halodulewrightii* y *Syringodium filiforme*.

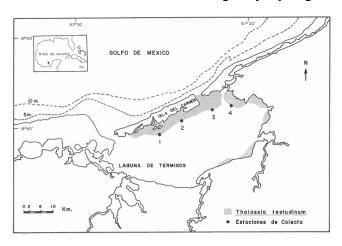


Figura 5: Esquema de distribución de pastos marinos en la Laguna de Términos, Campeche. Tomado de Moor y Wetzel, 1988

Yucatán

Para el estado de Yucatán, Herrera-Silveira (2006) señala que las lagunas costeras son un rasgo fisiográfico muy importante de las costas y los servicios ambientales de algunas de ellas se han reducido a consecuencia del incremento de las descargas de aguas residuales, modificaciones hidrológicas y cambios de uso de la tierra. Bajo este concepto, se analizaron los componentes de calidad del agua, fitoplancton y pastos marinos de 8 lagunas costeras de Yucatán. En todas las lagunas se encuentra el pasto marino *T. testudinum*, y sus poblaciones se han visto reducidas en algunas de ellas.

Los trabajos de Gallegos et al (1992, 1993 y 1994) acerca de la floración y biomasa de *T. testudinum* y el crecimiento de *S. filiforme* y *H. wrightii* en la península de Yucatán, son dignos de mención, ya que por primera ocasión se analiza su distribución, demografía y productividad.

Justificación

Los pastos marinos son importantes productores primarios así como excelentes indicadores de la salud de los ecosistemas, ya que su presencia y los valores de sus atributos demográficos, reflejan la existencia de condiciones ambientales adecuadas, por lo cual son considerados "canarios ambientales". En nuestro país no se cuenta con información suficiente acerca de las condiciones que regulan su presencia, distribución, abundancia y los valores de sus tasas demográficas, por lo que en este estudio se analizarán en forma multidisciplinaria las poblaciones de pastos marinos del litoral del Golfo de México. El presente estudio es el primero de estas características y permitirá plantear los programas necesarios para monitorear estos ecosistemas y generar los planes de manejo costero que se decida llevar a cabo por los las autoridades correspondientes.

Objetivo General

Evaluar el estado salud, conservación, vulnerabilidad y áreas potenciales al efecto del hidrocarburo en los ecosistemas de pastos marinos y manglares del litoral del Golfo de México

Objetivos Particulares

Conocer la composición florística, distribución y abundancia de las comunidades de pastos marinos en la costa del Golfo de México.

Establecer la línea base preliminar del estado de salud, conservación y vulnerabilidad de los ecosistemas de pastos marinos y manglares.¹

Tabla 1: Coordenadas de los Sitios muestreados en el Estado de Veracruz.

Zona	Área de Estudio	Coordenadas
	Isla de En medio 1	N 19° 6' 17,7"
		W 95°56'23.0"
2	Isla de En medio 2	N 19° 6′ 19′′
lezn.		W 95°56′36.9′′
arad.	Isla Verde	N 19° 13′ 0′′
al Ve		W 96° 4´ 00´´
Sistema Arrecifal Veracruzano	Isla Sacrificios	N 19° 10′ 00′′
a Ar		W 96° 4´ 60´´
stem	Gallega	N 19° 11′ 60′′
জ		W 96° 7′ 60′′
	Galleguilla	N 19° 13′ 60′′
		W 96° 7´ 0´´
Se	Isla Lobos 1	N 21° 28′ 30.7′′
a 6		W 97° 13´ 35.7´´
e Isl	Isla Lobos 2	N 21° 27′ 30.7′′
ued		W 97° 13´ 22.9´´
Arrecífes de Tuxpan e Isla Lobos	Arrecife deTuxpan	N 21° 01′ 48.54′′
Arrecife		W 97° 11′ 54.54′′

¹ Véase Informe de la Revisión Bibliográfica de Pastos Marinos y Manglares, entregado en Octubre del 2011.

Tabla 2: Coordenadas de los sitios de Muestreo en el estado de Campeche.

Zona	Área de Estudio	Coordenadas
	Peten-Neyac	N 20°10′19.9′′
		W90°30′35.7′′
	Paso Nuevo	N20°13′39.7′′
		W90°31′19.32′′
e e	Nitúm	N20°09′15.6′′
Campeche		W90°29′40.7′′
Cam	Vakú	N20°04′24.1′′
		W90°34′′ 39.5′′
	Rio Verde	N19° 59′26.74′
		W90°30′47.6′′
	El Seco	N19° 56′ 29.92′′
		W90° 30′51.48′′

Tabla 3: Coordenadas de los Sitios de Muestreo en el estado de Yucatán.

Zona	Área de Estudio	Coordenadas		
	Chekuzan (Dzil)	N21° 33′45.5′′		
		W88°24′30.1′′		
	Balaptaché	N21° 35′25.2′′		
		W088°35′30.1′′		
	Bolohú	N21° 34′ 12.9′′		
		W088° 18′19.8′′		
	El Cerro	N 21° 34′ 35″		
_		W088°16′50.6′′		
Yucatán	Holbache	N 20° 24′ 2.0′′		
yu Y		W90° 29′31.8′′		
	Isla Arena	N 20° 40′ 23.1′′		
		W90° 27′ 13.9′′		
	Ria Celestún	N 20° 50′ 48.24′′		
		W 90° 24′ 29.66′′		
	Bocana	N20° 52′ 02.36′′		
		W90° 24′ 40.02′′		
	Maya	N 20° 41′ 06.2′′		
		W90° 28′ 23.3′′		

Metodología

Distribución de Pastos Marinos con la DT-X Digital Echosounder System.

Con base en el análisis bibliográfico y en el conocimiento que los autores tienen de la presencia de las especies de pastos marinos en el Golfo de México, se seleccionaron como zonas de investigación las localidades que se presentan en las Tablas 1, 2 y 3.



Figura 6: Distribución de los Sitios de Muestreo a lo largo de la zona costera del Golfo de México

En cada una de las zonas se realizó un registro con la DT-X Digital Echosounder System. El beam de la Ecosonda se coloca en la borda de la embarcación junto con el GPS y se conectan a la Ecosonda y a la computadora para el registro continuo mediante el software Vissual acquasition. (Figuras 7 y 8). Todos los registros están geo-referenciados de manera que las áreas estudiadas pueden ser monitoreadas periódicamente.



Figura 7: Acoplamiento del beam de la ecosonda "DT-X Digital Echosounder System " y el GPS.

La embarcación se desplaza a 10 km/hr como máximo para que la lectura no se distorsione. El registro de la presencia de las poblaciones de pastos marinosmediante el uso de la Ecosonda, permitirá conocer la extensión de las poblaciones de pastos marinos, su altura y densidad.



Figura 8: Beam de la DT-X Digital Echosounder System en funcionamiento.

Para el registro de la vegetación con la Ecosonda, se realizaron perfiles de forma radial, paralela y/o transversal en las áreas de estudio con pastos marinos. La extensión de las secciones estuvo en función del área cubierta por los pastos en los diferentes sitios (Mapas impresos).



Figura 9: Equipo de análisis de datos de la DT-X Digital Echosounder System, con el sofware EcoSAV.

El registro genera Ecogramas (Figura 9), que muestran la presencia, cobertura y altura de los pastos marinos. Estos Ecogramas posteriormente se procesaron en el laboratorio con el software EcoSAV de la Ecosonda para obtener los datos numéricos de la altura y cobertura de los pastos marinos.

Métodos de análisis

Identificación de la vegetación en los ecogramas:

Para determinar la presencia de las plantas se ajustan las medidas características de la señal del eco para cada ping en el Software Visual Acquisition de la Ecosonda Hidroacústica DT-X. Como resultado de estas mediciones, a cada ping se le asigna una de las siguientes características: sin clasificar, fuera del agua, ruidoso, muy profundo, descubierto o con planta. Las características son extraídas de cada ping y se utiliza para determinar su clasificación. Los pings se numeran secuencialmente y se identifican claramente en el ecograma.

Conceptos básicos para el reconocimiento de la presencia de vegetación

A través de un algoritmo se reconoce la presencia o ausencia de las plantas acuáticas y se calculan los parámetros de: altura, cobertura, y profundidad de la parte inferior de esta, esto en base a las características de la señal (Figura 7).

En la Figura 10 se puede reconocer visualmente las características representadas por la traza del eco (plantas, rocas u otros objetos) y la profundidad del fondo medida, altura de planta y la cobertura a lo largo del transecto de registro, mostrada en la sección del ecograma.

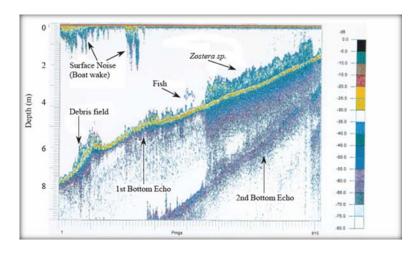


Figura 10: Ejemplo de ecograma de un ambiente acuático con presencia de pastos marinos, imagen obtenida de User Guia, EcoSAV 1

Reconociendo el fondo con vegetación acuática:

La computadora de la Ecosonda tiene varias pantallas que de forma simultánea permite visualizar distintas características del ecograma. En la Figura 11, la parte

del osciloscopio de la pantalla muestra el voltaje medido en el ping # 2776. La envolvente de la señal de eco cerca de la superficie, es causada por el efecto de superficie en el transductor, el cual disminuye rápidamente con la distancia. Entonces se observa una "zona tranquila" (señal baja del eco) 0.2 a 0.9 metros de profundidad. El eco de la vegetación en los 0.9 metros de profundidad, provoca un aumento gradual de la señal de eco. La señal de fondo, junto con las plantas, es mucho más amplia y tiene múltiples formas. El mayor pico de 2.5 metros de profundidad corresponde con el eco de fondo.

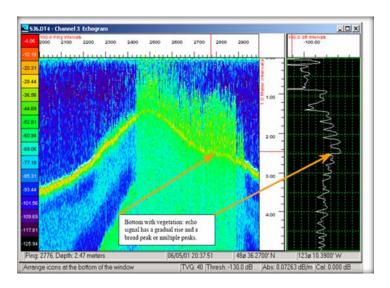


Figura 11: Ejemplo de Ecograma con grafica que presenta el voltaje de retorno del ping # 2776, imagen obtenida de User Guia, EcoSAV 1

Cálculo de las características acústicas de la envolvente del eco:

Los pings individuales se procesan mediante el cálculo de las principales características de la envolvente de eco en relación con la ubicación de las funciones, como son la parte superior de la cubierta vegetal y el fondo del mar. Estas características claves se muestran en la Figura 12 (tipo de letra negro). Estos incluyen el campo cercano, el punto por encima del valor del umbral de ruido (asociado con la parte superior de la cubierta vegetal), el mayor aumento de la tensión al cuadrado (asociado con la parte inferior), y la señal de final del borde inferior. Ajustes importantes que serán utilizados en el método de clasificación de los pings incluyen el umbral de detección de la altura de la planta y la profundidad de la planta máxima (tipo de letra azul).

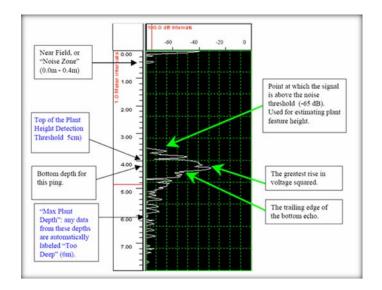


Figura 12: Características principales de la señal de eco, imagen obtenida de User Guia, EcoSAV 1.

Clasificación de un Ping con "planta" o "sin planta":

Las características principales de la señal de ecos discutidos en esta sección se presentan en la Figura 12.

Se utilizan tres criterios para declarar un ping como "no clasificados" o "sin plantas". Para identificar un fondo sin vegetación, se distinguen las formas de la envolvente de eco asociados con la parte inferior. Tres criterios se relacionan con fondos marinos que carecen de vegetación:

- una zona ultra silenciosa por encima del fondo, donde la tensión medida es muy baja (valor por defecto: ≤ -130 db),
- una corta distancia entre el inicio de la zona tranquila y la parte inferior (del fondo) y
- una base delgada.

Cualquiera de estos tres criterios, deben cumplirse para que el ping sea clasificado como "sin vegetación".

Para el resto de los pings no clasificados como en la forma anterior (aquellos no clasificados como "ruidoso", "fuera del agua, "muy profundos" o "sin vegetación"), se utiliza dos criterios para el análisis de un ping en el ciclo de 8 – 10 y declarar cuales representan la presencia de "plantas". En primer lugar, el ping debe tener una "gran amplitud" en la función que representa la presencia de planta, segundo lugar, el ping debe tener un fondo grueso o debe cumplir que:

- a) La distancia desde la parte superior del umbral de ruido (Figura 12) hasta la profundidad máxima en la que se pueden tener plantas debe ser mayor que el umbral de altura de la planta.
- b) Uno de los siguientes debe ser verdad:
- El eco del fondo debe ser "grueso", es decir, mayor que el umbral de espesor inferior
- La función que indica la presencia de la planta debe ser "grueso", esto es, mayor que el umbral de altura de la planta

Si las condiciones a) y b) se cumplen, el ping se clasifica como "planta". Ambas condiciones son necesarias, porque a) o b) por sí solas son insuficientes para detectar de manera confiable la vegetación. Estas dos condiciones han demostrado ser indicadores confiables.

Calculo de la altura de la planta para un Ping individual:

La altura de la planta en cada de ping corresponde a la distancia entre la profundidad del fondo y la parte superior determinada como la cubierta vegetal, que se define como el punto en que la señal sobrepase el límite de ruido para una serie de incrementos consecutivos de profundidad (por defecto -65 dB).

Determinación de los parámetros para caracterizar la presencia de vegetación Para la determinación de la información geo-referenciada sobre la presencia de plantas o ausencia, la cobertura, la altura y la profundidad del fondo, los pings se agrupan en no menos de 8, cada grupo de pings se denomina ciclo, la señal de DGPS se coloca en el ciclo en el momento exacto de la recepción de la señal medida proporcionando la máxima precisión en la geo-referenciación. Por esta razón puede haber una ligera variación en el tamaño del ciclo.

Se reúnen los datos de todos los pings en ciclos y se conjuntan los datos de todos los ciclos. Los datos básicos que se generan en cada ciclo son: (1) Altura media de la planta, (2) Porcentaje de la cobertura vegetal, (3) Profundidad del fondo, (4) Latitud y Longitud.

En la Figura 13se muestra la representación gráfica de cómo se resumen los datos de cada ping en ciclos y como se calculan los datos de todos los ciclos.

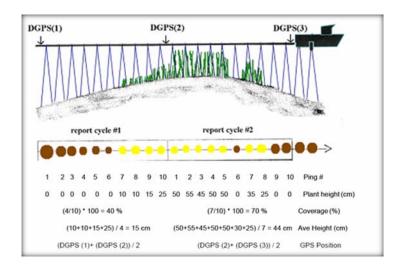


Figura 13: Representación gráfica del cálculo de las principales características de la planta por ciclo. Imagen obtenida de User Guia, EcoSAV 1

Cada eco que se muestra en la Figura 13corresponde a un solo ping. La serie de círculos representan el área muestreada por la sonda y el color indica los pings que fueron clasificados como sin vegetación (oscuro) o con vegetación (claros). La altura de la planta se representa en la fila "plant height". Las siguientes tres filas (Coverage, Ave Height y GPS) presentan los cálculos matemáticos para obtener los parámetros de cobertura, altura media, y posición GPS.

- La cobertura de la planta se calcula como el número de pings en cada ciclo que fueron clasificados con presencia de plantas, dividido por el número de pings de buena calidad en un ciclo,
- La altura promedio de las plantas se calcula con el promedio de los pings que fueron clasificados con la presencia de "Planta",
- La Posición del GPS se calcula como el punto medio entre los dos puntos DGPS en ambos extremos del ciclo.

Biomasa de Pastos Marinos

Además de los datos obtenidos directamente con la Ecosonda DT-X Biosonic, se colectó la biomasa de los pastos marinos y algas presentes en los puntos seleccionados a lo largo del recorrido de la Ecosonda. La obtención de la biomasa se efectuó con un nucleador de acero inoxidable, de 21 cm de diámetro y 42 cm de altura, lo que da un área de 0.3464 m². Las hojas de los pastos marinos son cuidadosamente introducidas en el nucleador cuya parte inferior esta acerrada para facilitar la introducción en el sustrato y cortar los rizomas enterrados. En cada zona o transecto se colectaron muestras de biomasa con 3 réplicas por punto de colecta. El número de puntos de colecta estuvo en función de la longitud de los transectos.

En el laboratorio se separan las partes subterráneas (rizomas y raíces) de las partes aéreas (haces y hojas) de los pastos y se secan en un horno a temperatura de 80°C por 48 horas, para posteriormente obtener su peso seco.

Resultados

En la siguiente Tabla 4, se muestras las localidades muestreadas y estaciones de monitoreo durante el trabajo de campo.

Tabla 4: Localidades monitoreadas por pastos marinos en el Golfo de México.

LOCALIDAD	Veracruz - Islas	Tuxpan- Tamiahua	Campech e-Costa	Campeche -Terminos	Yucatán- San Felipe	Yucatan- Celestún
	Isla de Enmedio 1	Isla Lobos 1	Peten Neyac	Cayo Arena	Dzil	Hobonche
	Isla de Enmedio 2	Isla Lobos 2	Paso Nuevo	San Julian	Balaptapche	Isla Arena
	Isla Verde	Arrecife Tuxpan	Nitum	Ensenada	Lialia	Bocana
ES	Sacrificio s		Vaku	Bocaina	Bolohu	Ría Celestún
ESTACIONES	Galleguill a		Rio Verde	Punta Bocana	ЕІ Сегго	Herradura
ST.	Gallega		Elseco	Las Pilas	San Felipe	
ŭ				Las Pilas 2		
				Isla Pájaros		
				Punta Molón		
				Banco Arena		
				El Cayo		
				El Ranchito		

Presencia de pastos marinos

Se presentan los mapas de los recorridos efectuados en cada sitio de muestreo y algunos ecogramas seleccionados de cada sitio, obtenidos con la ecosonda Biosonic.

Veracruz - Islas

Se detectó la presencia de pastos marinos en los arrecifes Gallega, Isla Verde, Isla de en medio, Isla Sacrificios y Galleguilla que forman parte del Sistema Arrecifal Veracruzano.

En la Figura 14 se muestran los derroteros de dos ecogramas con vegetación y sin vegetación representativos de esta región.



Figura 14: Localización de los ecogramas en Gallega y Anegada de Adentro

En el ecograma correspondiente al arrecife conocido como "Anegada de adentro" no se observanlas reflexiones de ecos que indiquen presencia de pasto, lo cual fue constatado en situ (Figura 15).

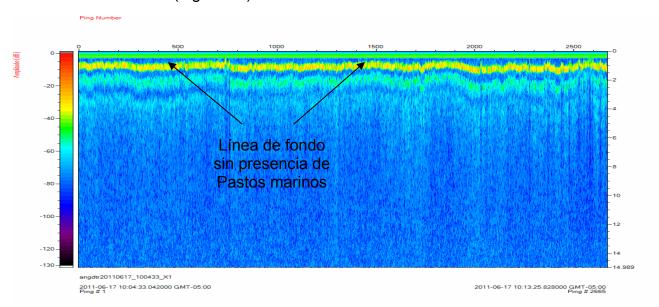


Figura 15: Ecograma que muestra el registro de las reflexiones de los ecos sobre el arrecife "Anegada de adentro" en el estado de Veracruz.

En la Figura 16 se observan varias secciones en el ecograma con el efecto producido por la presencia de pastos marinos, que en este caso corresponde a la especie *Thalassia testudinum* en el arrecife "Gallega". Estos efectos se

alleg

observanen varios ecogramas obtenidos en los arrecifes Isla Verde, Isla de en medio, Isla Sacrificios.

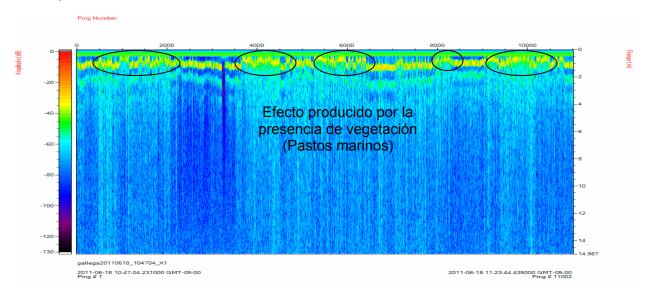


Figura 16: Ejemplo de ecograma con presencia de vegetación característico de la zona de arrecifal de Veracruz, en particular de arrecife "Gallega".

Tuxpan – Tamiahua, Veracruz.

En la zona arrecifal de Tuxpan Veracruz, se efectuaron registros en los arrecifes Isla Lobos, Isla En medio, la Blanquilla, Tanhuijo, Enmedio y Tuxpan(Figuras 17 y 18)

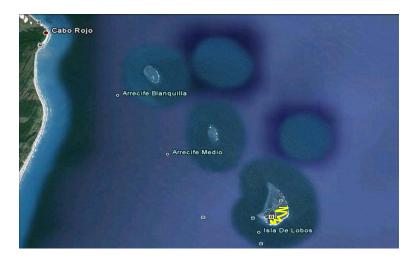


Figura 17: Localización de los Ecogramas en Isla Lobos



Figura 18: Localización de los ecogramas en Arrecife de Tuxpan.

Los ecogramas muestran la presencia de *Thalassia testudinum* solo en Isla Lobos y Tuxpan. En los ecogramas se observan los efectos reflectivos producidos por los ecos al registrar la presencia de vegetación, como se explico anteriormente.

En los ecogramas tanto de la zona arrecifal de Veracruz como de Tuxpan, la profundidad dentro de los arrecifes es muy somera y las secciones en las que se registraron los ecos producidos por presencia de vegetación, son aún más someros con profundidades de menos de un metro. Además los ecos presentan una amplitud entre -65 y -40 dB y un rango de 0.2 a0.4 m en promedio, que corresponden a la altura de la planta, a diferencia de cuando el fondo se encuentra sin cobertura vegetal donde la amplitud es mayor a los -40 dB y el rango es menor (Figuras 19 y 20).

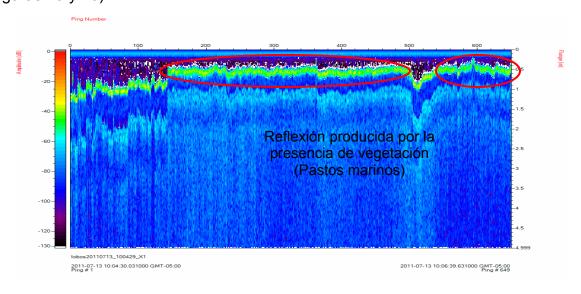


Figura 19: Ejemplo de los ecogramas registrados en las inmediaciones de la Isla Lobos, localizada dentro de la zona arrecifal de Tuxpan, Veracruz.

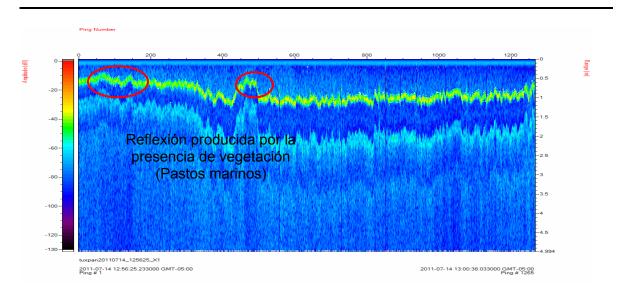


Figura 20: Ejemplo de los Ecogramas registrados sobre el arrecife Nombrado "Tuxpan" dentro de la zona arrecifal del mismo nombre en el estado de Veracruz, México

Campeche

Los registros con la Ecosonda se efectuaron en la costa del Area Natural Protegida "Los Petenes". Se realizaron transectos perpendiculares a la costa, cuya extensión dependía de la presencia de vegetación. La mayoría de los transectos fueron de15 a 20 km. (Figura 21)



Figura 21: Localización de los ecogramas de la Costa de Campeche.

En los ecogramas de todas las secciones se registraron las reflexiones de los ecos producidos por la presencia de *T. testudinum* y *S. filiforme*. En todas las secciones los ecos que alcanzaron un rango de 0.9 a1.0 m, corresponden con la altura de la planta (Figura 19).

Estos rangos o alturas de las planta se registraron en las secciones con profundidades mayores de 2.5 m y hasta casi los 5 m, después de esta profundidad los ecos se relacionan con un fondo sin vegetación. En la parte somera y hasta aproximadamente 2.5 m de profundidad, también se observaron ecos producidos por vegetación, pero de menor altura (Figura 22).

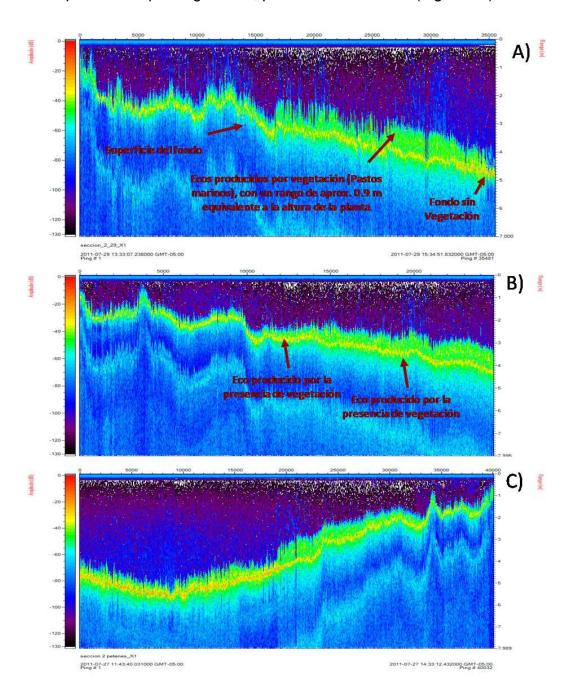


Figura 22: Ejemplos de los ecogramas registrados en el área de la Reserva de la Biosfera "Los Petenes" en el estado de Campeche, México.

Yucatán – San Felipe

Se efectuaron registros frente a las costas de la Reserva de la Biosfera "Ría Lagartos" en el estado de Yucatán (Figura 23).



Figura 23: Localización de los ecogramas en San Felipe Yucatán.

Los ecogramas mostraron que las profundidades máximas medidas son de aproximadamente 4 metros, y se observó que los ecos relacionados con vegetación se ubican dentro del rango de profundidades de 0.5 hasta 3.5 m (Figura 24).

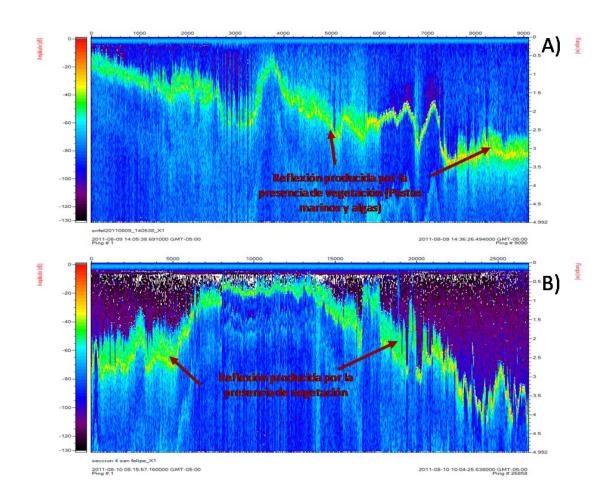


Figura 24: Ejemplo de los ecogramas sondeado frente a las costas de la localidad de "San Felipe" en el estado de Yucatán, México

Yucatán – Celestún

En la Figura 25 se presentan las secciones realizadas en la localidad de Celestún, Yucatán. Los ecogramas mostraron zona de vegetación que alcanzaron alturas de aproximadamente 0.9 a1.0 m, de acuerdo al rango de las amplitudes entre -40 y -60 dB. Estos rangos o altura de las plantas se registraron en algunas secciones con profundidades mayores de 2.5 m y hasta casi los 5 m, consecuentemente en las áreas someras la vegetación fue de menor altura(Figura 26 A).



Figura 25: Localización de los ecogramas de Celestún, Yucatán.

En la parte norte de la península de Yucatán los ecogramas mostraron vegetación escaso o ausente, sobre todo en profundidades mayores a dos metros. (Figura 26B).

Seccion 1

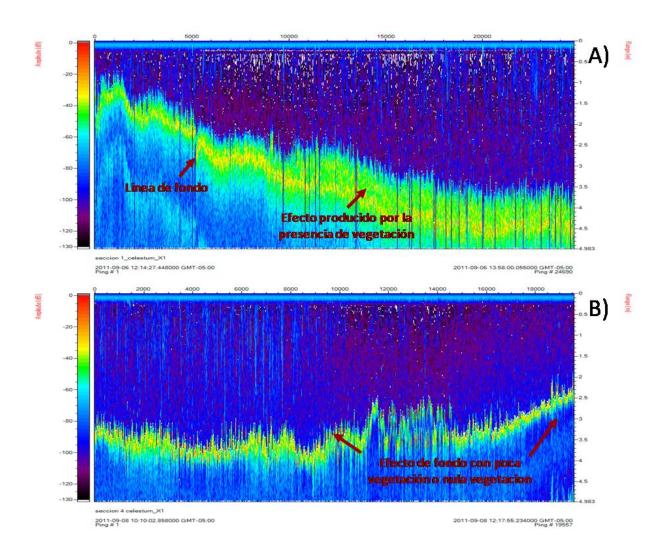


Figura 26: Ejemplo de los ecogramas sondeado frente a las costas de Celestún en el estado de Yucatán, México

Laguna de Términos

En la Figura 27 se indican 2 áreas registradas en Laguna de Términos. En los ecogramas de esas áreas, los ecos indican que los pastos marinos crecen en profundidades muy someras menores a 1.5 m y no crecen a mayor profundidad (Figura 28B). Fue notable la gran discontinuidad en la presencia de vegetación, debido a que los pastos marinos forman numerosas poblaciones pequeñas distribuidas en forma dispersa(Figura 28A).



Figura 27: Localización de los ecogramas de la Laguna de Términos, Campeche

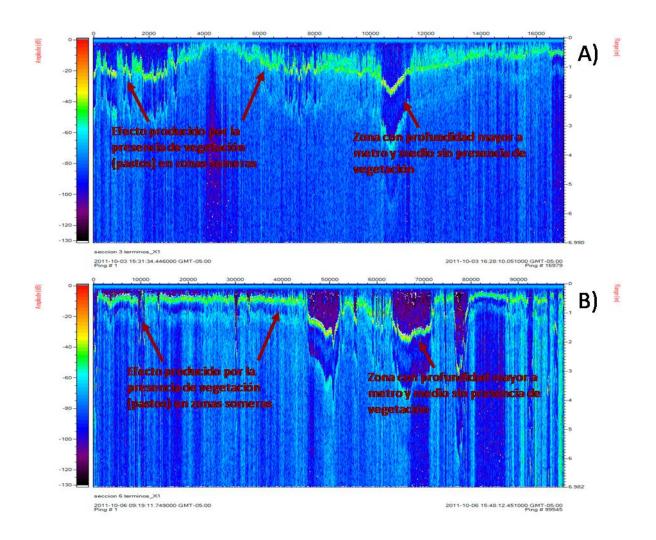


Figura 28: Ejemplo de los ecogramas sondeado en la laguna de Términos, Campeche, México

Caracterización de la altura de vegetación y Porcentaje de cobertura

El promedio de altura de las plantas es mayor en las áreas de los Petenes con un promedio de 1 m, en San Felipe, Yucatán es de 70 cm y en Celestún 80 cm. (Tabla 5). Aunque la localidad se denomine Celestún, corresponde a la zona de los Petenes en su límite con el estado de Yucatán.

Con respecto a la cobertura, la localidad con mayor cobertura de pastos marinos es la zona de Los Petenes, con 58.88% seguida por las de Celestún y San Felipe en Yucatán con 34.6% y 31.2% respectivamente, En la Laguna de Términos los pastos tienen una cobertura de16.5%.

Tabla 5: Estimación de altura media de planta, profundidad y cobertura por localidad

Localidad	Sitio	Altura Planta media [cm]	Profundidad [m]	Porcentaje cobertura media en ecogramas [%]	Criterio de estimación
Tuxpan - Tamiahua	Isla lobos	5 - 30	0.5 - 1	12.8	valores estimados de acuerdo a los datos del
	Tuxpan	5 - 25	0.5 - 1	9.26	procesamiento con
Campeche	Costa	10 - 40	1 - 2	58.88	ecosav
		40 - 100	2 - 5.5		
		0.5 - 30	5.5 - 6		
Yucatán	San Felipe	20 - 70	0.5 - 3.5	31.22	
Veracruz	Anegada	Sin pre	Sin presencia de vegetación		
Islas	de adentro				
	Gallega	5 - 30	0.5 - 1.5	14.8	valores estimados de
	Galleguilla	5 - 30	0.5 - 1.5	18.6	acuerdo a lo observado
,	Isla de en medio	5 - 25	0.7 - 2	7.44	en las imágenes de los ecogramas
	Sacrificios	5 - 30	0.5 - 2	13.44	
	Isla Verde	5- 30	0.5 - 1.5	11.45	
Yucatán	Celestún	20 - 40	0.5 - 1	34.66	valores estimados de
		40 - 80	2 -5		acuerdo a los datos del
Campeche	Términos	0.5 - 50	0.5 - 1.5	16.51	procesamiento con Ecosav

En la Tabla 6 se presentan los valores de altura promedio, altura mínima y máxima de la vegetación, profundidad a la que se desarrollan las plantas, la cobertura media y la superficie que ocupan.

Podemos concluir que la mayor extensión ocupada por pastos marinos se localiza en la Reserva de la Biosfera Los Petenes, Campeche, con aproximadamente 763,435 km² y la menor en el arrecife Tuxpan con 0.353 km². Cabe señalar que no se encontró vegetación de pastos marinos en los arrecifes Anegada de Adentro del Sistema Arrecifal Veracruzano, ni en los arrecifes de En medio y Tanhuijo del Sistema Arrecifal de Tuxpan y Lobos. No confundir los arrecifes llamados de En medio en Tuxpan con el del Sistema Arrecifal Veracruzano que tiene el mismo nombre.

Tabla 6: Datos de altura promedio, minima y máxima de los pastos marinos, % de cobertura y superficie que ocupan (en m2 y km2) en cada localidad, así como profundidad promedio.

Zona	Sitio	Rango Altura planta (cm)	Profundidad (m)	% cobertura media	Comentario	Alt prom planta (cm)	Alt min planta (cm)	Alt max planta (cm)	% de cobertura	Sup (m²)	Sup (km²)
	Isla lobos	may-30	0.5 - 1	25.87		10.9	5	67	51.9	596241	0.596
Arrecifes	En medio		Sin Vegetación								
Tuxpan	Tanhuijo		Sin Vegetación								
	Tuxpan	may-25	0.5 - 1	9.26	Valores estimados de	19.4	5	70	30.4	352623	0.353
	oct-40 01-feb a	los datos analizados									
R. de la Bios. Petenes		40 - 100	2 - 5.5	58.88		39.9	9	100	60.2	763434652	763.435
		0.5 - 30	5.5 - 6								
R. Bios. Ria Lagartos	San Felipe	20 - 70	0.5 - 3.5	31.22		25.1	9	94	42.2	64750723	64.751
	Anegada de adentro	Sin pr	esencia de vege	tación							
	Gallega	may-30	0.5 - 1.5	14.8		32.9	13	50	33.86640997	11627.33226	0.011627332
Zona Arrecifal	Gallega 2	may-30	0.5 - 1.5	18.6	Valores	34.5	28	48	*	332667.155	0.332667155
Veracruzana *	Isla de en medio	may-25	0.7 - 2	7.44	estimados de los	36	24	104	28.72551948	1472994.742	1.472994742
	Sacrificios	may-30	0.5 - 2	13.44	Ecogramas	34.6	25	52	31.52181058	179259.8761	0.179259876
	Isla Verde	may-30	0.5 - 1.5	11.45		33.7	25	53	22.49334105	315447.6793	0.315447679

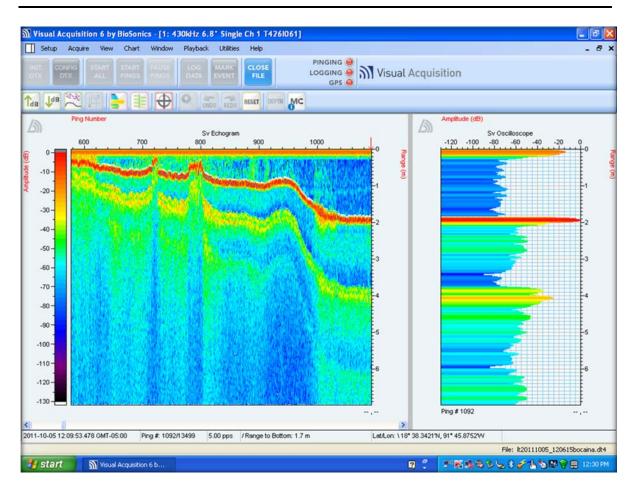


Figura 29: En el Ecograma It1, se muestra la profundidad (0.4 a 1.60 m) a la que crecen las poblaciones de *Thalassia testudinum*, en Isla Pájaros, Laguna de Términos, Campeche.

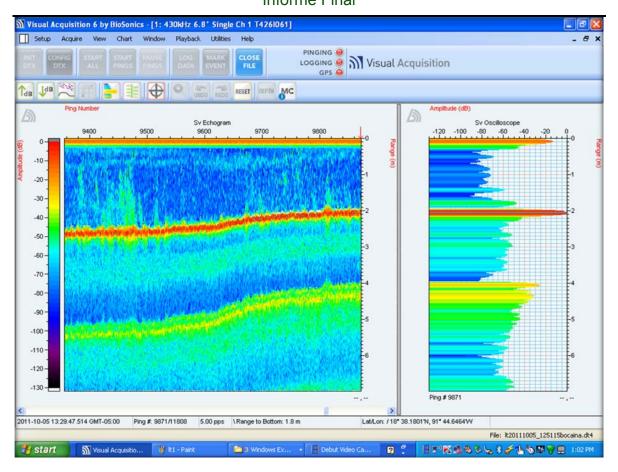


Figura 30: En el Ecograma It2, se muestran la profundidad (2 a 2.5m) a la que se desarrollan las poblaciones de *Caulerpa spy Halodule wrightii* en la Laguna de Términos, Campeche.

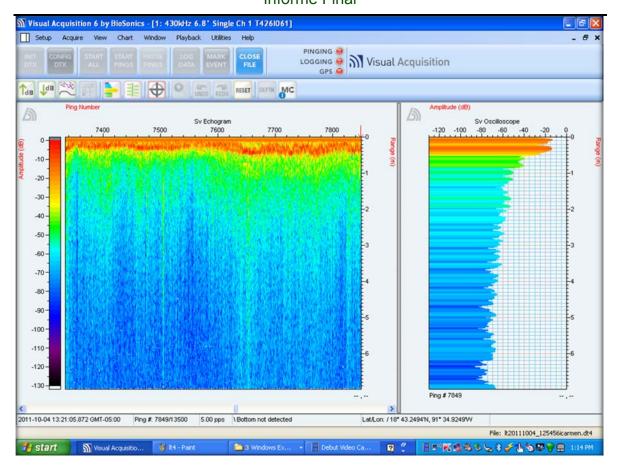


Figura 31: Ecograma It3, indica la preesencia de poblaciones de *Halodule wrightii* y *Syringodium filiforme*.

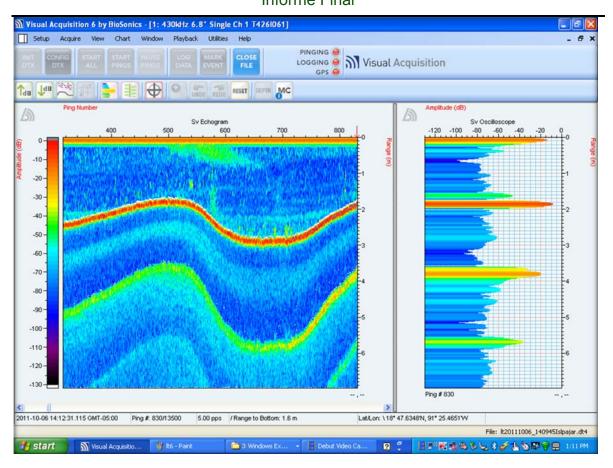


Figura 32: Ecograma It4, mostrando la presencia de poblaciones de *Thalassia testudinum* y *Syringodium filiforme.*

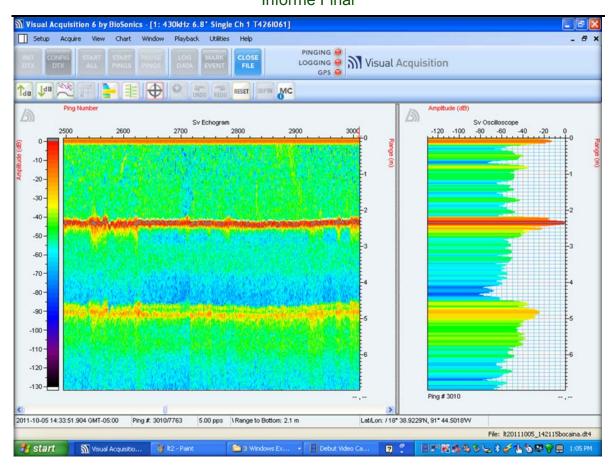


Figura 33: El Ecograma It5, muestra la profundidad (2.0 a 2.30 m) a la que se encuentra la vegetación de *Caulerpa sp*la cuál cubre una extensa zona en la Laguna de Términos, Campeche.

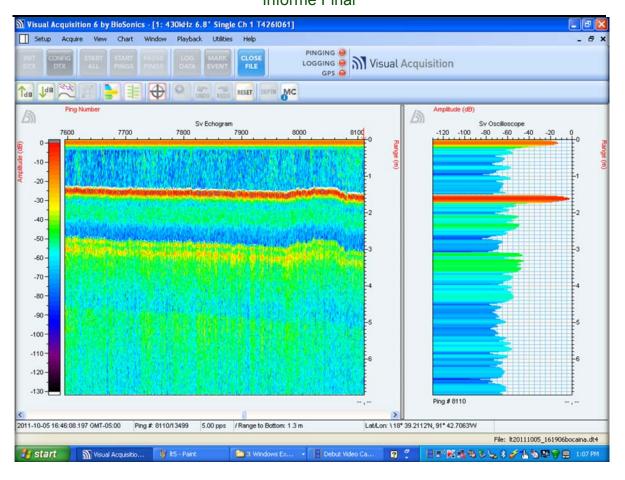


Figura 34: El Ecograma It6, muestra poblaciones de Thalassia testudinum y Halodule wrightii

Biomasa

Veracruz

En las Tablas 7 y 8 se presentan los valores de biomasa registrados el los arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano así como en Tuxpán e Isla Lobos. Fue notoria la escases o ausencia de poblaciones de *Halodule wrightii* y *S. filiforme*, lo cual no significa que no estén presentes pero requiere de un muestreo más intensivo y periódico y de un análisis de los factores ambientales y biogeoguímicos.

Tabla 7: Biomasa Total, Aérea y Subterránea de *Thalassia testudinum* en el Sistema Arrecifal Veracruzano.

Área de estudio	Biomasas (g/m²)		Biomasa Total (g/m²)
	Aérea	Subterránea	-
Isla de			
Enmedio 1	975.750.577	159.160.893	2.567.359.507
Isla de			
Enmedio 2	641.839.877	114.896.074	1.790.800.616
Isla Verde	716.897.614	141.454.965	2.131.447.267
Sacrificios	128.849.115	194.861.432	3.237.105.466
Galleguilla	747.690.531	61.778.291	1.365.473.441
Gallega	545.612.009	929.561.201	147.517.321

Tabla 8: Biomasa Total, Aérea y Subterránea de *Thalassia testudinum* en los arrecifes de Tuxpan e Isla Lobos

Área de estudio	Biomasas (g/m²)		Biomasa Total (g/m²)
	Aérea	Subterránea	
Isla Lobos 1	112.586.605	185.046.189	2.976.327.945
Isla Lobos 2	12.634.719	287.047.729	4.133.949.192
Arrecife			
Tuxpan	702.463.433	177.251.732	2.474.980.754

En las Figura 35 se presentan los valores de la Biomasa Total de *T. testudinum* para todos los sitios muestreados en el Sistema Arrecifal Veracruzano. Se observa que las barras de error no muestran diferencias a simple vista. Sin embargo, se efectúo un análisis de varianza, a dichos valores de las biomasas aéreas y subterráneas. No se encontraron diferencias significativas entre ellas, ni en la biomasa aérea ni en la subterránea (p = 0.05 F=2.18). Sin embargo el análisis de la varianza de la biomasa total (aérea y subterránea) entre estas poblaciones, si mostró diferencias significativas (p= 0.05 F=3.91).

Al aplicar la prueba de Tukey se encuentra que existen diferencias significativas (α = 0.05) entre las biomasas totales de las poblaciones de *T. testudinum* de Isla Sacrificios y las de Gallega y Galleguilla. Las diferencias en biomasa total entre las poblaciones de los arrecifes de Isla de En medio, Verde y Sacrificios no son significativamente diferentes.

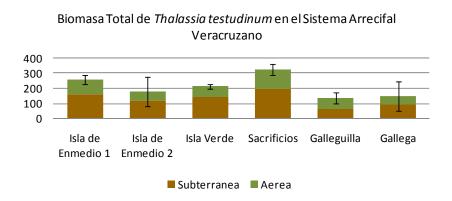


Figura 35: Biomasas Aérea y Subterránea de *Thalassia testudinum* en el Sistema Arrecifal Veracruzano.

En cuanto a los porcentajes que ocupan las biomasas aéreas y las subterráneas, se puede observar que la biomasa subterránea es más abundante, entendiéndose que en ella se encuentran los rizomas y raíces de los pastos, y en la biomasa aérea se encuentran las estructuras foliares, así como flores y frutos, si estos se encontraran en la muestra.

Porcentajes de Biomasa Aerea y Subterranea de



Figura 36: Porcentajes de las Biomasas aérea y subterránea de *Thalassia testudinum* en todas las estaciones del Sistema Arrecifal Veracruzano.

En cuanto a los datos de los Arrecifes de Tuxpan e Isla Lobos, se puede observar en la Figura 37 que las barras de error podrían dar una diferencia entre cada una de las estaciones, tomando en cuenta que el arrecife de Isla Lobos tiene dos estaciones, puesto que existen dos manchones de *T. testudinum* en el lugar, divididos por un canal hecho artificialmente por la marina.

Se realizó un análisis de varianza para estos datos encontrándose que existen diferencias significativas entre las estaciones, tanto en la biomasa aérea como en la subterránea (p=0.05 F=20.6).

Informe Final

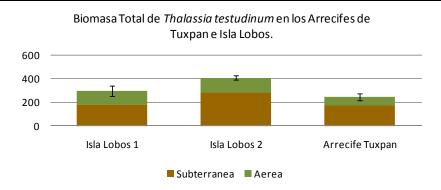


Figura 37: Biomasa Aérea y Subterránea de *Thalassia testudinum* en los arrecifes de Tuxpan e Isla Lobos.

Sin embargo al realizar la prueba de Tukey se encontró que las mayores diferencias significativas (α =0.05) se encuentran entre la estación de Isla Lobos 2 con Isla Lobos 1, e Isla Lobos 2 con Arrecife de Tuxpan, no encontrándose esta misma diferencia entre Isla Lobos 1 con el Arrecife de Tuxpan.

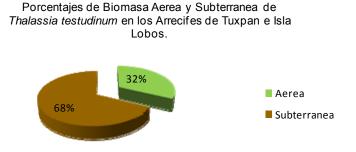


Figura 38: Porcentajes de biomasa aérea y subterránea en las tres estaciones de los arrecifes de Tuxpan e Isla Lobos

En cuanto a los porcentajes de Biomasas Aéreas y Subterráneas, se puede observar que el porcentaje de rizomas y rizoides en los Arrecifes de Tuxpan e Isla Lobos es ligeramente mayor que en el porcentaje observado para el Sistema Arrecifal Veracruzano.

Campeche

Para la biomasa de Campeche hay que mencionar que debido a la extensión de los pastos marinos, se realizó el muestreo en transectos, que empezaron en la orilla pegada a la costa (Dentro), y se continuo hasta estar aproximadamente a mitad del manchón (Medio) y casi al final del manchón de pastos marinos (Fuera), tal y como se muestra en la Figura 47.

En cuanto a los puntos denominados "Dentro", la especie *T. testudinum* es dominante. Las biomasas de cada punto se presentan en la Tabla 9. Cabe señalar que en estos puntos no se encontraron las especies de *H. wrightii* y *S. filiforme*, sin embargo esta última especie si se encuentra en los puntos muestreados en Medio y Fuera.

Tabla 9: Datos de la biomasa total, la biomasa aérea y la subterránea de *Thalassia testudinum* en las estaciones Dentro en Campeche.

Área de Estudio	В	iomasas (g/m²)	
2500010	Subterránea	Aérea	Total
Peten- Neyac	113,01963	58,3862587	171,405889
Paso Nuevo	139,43418	56,9428406	196,377021
Nitum	109,555427	60,7678984	170,323326
Vaku (3)	239,030023	141,070054	380,100077
Rio Verde	142,6097	49,1483834	191,758083

En la Figura 39 se encuentran las biomasas totales de *T. testudinum* para los puntos denominados "Dentro". Se puede observar que las barras de error no muestran alguna diferencia entre las biomasas, sin embargo al realizarse el análisis de varianza se encontró una diferencia significativa en la biomasa total (p=0.02, F=4.12), y la biomasa aérea (p=0.0003, F=10,92), no así en la biomasa subterránea.

Al aplicar la prueba de Tukey para encontrar en que estaciones están las diferencias en la biomasa, no se encontraron diferencias significativas (α =0.05) entre estaciones, por lo que se infiere que se está cayendo en el error tipo α , por lo que se recomienda aumentar el número de muestras por especie.

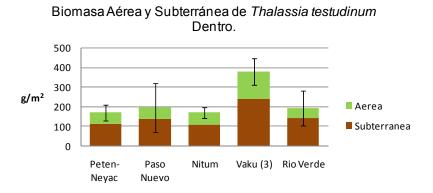


Figura 39: Biomasa de Thalassia testudinum en las estaciones muestreadas Dentro, en el estado de Campeche.

Las biomasas representadas en las Tabla 10 y 11, corresponden a los datos de los puntos denominados "Medio". En estos puntos se encontraron *S. filiforme* y *T. testudinum*, aunque esta última únicamente se encontró en uno de los núcleos para las estaciones de Vaku y Río Verde.

Tabla 10: Datos de la biomasa total, aérea y subterránea de *Thalassia testudinum*en los puntos en Medio en la costa de Campeche.

Áreade	В	iomasas (g/m2)	
Estudio	Subterránea	Aérea	Total
Peten- Neyac	219,616051	104,14261	323,758661
Paso Nuevo	150,115473	66,6859122	216,801386
Nitum	112,225751	57,0871824	169,312933
Vaku	41,0652425	32,9821016	74,0473441
Rio Verde	116,916859	100,245381	217,16224
El Seco	72,2671286	34,5458045	106,812933

Tabla 11: Datos de la biomasa total, aérea y subterránea de *Syringodium filiformee*n Medio en la costa de Campeche.

Área de Estudio	Biomasas (g/m2)				
	Subterránea Aérea Total				
Vaku	24,1050808	9,74307159	33,8481524		
Rio Verde	13,6403002	6,85623557	20,4965358		

Informe Final

En la Figura 40, se presentan las graficas de las biomasas de *T. testudinum*, "Medio", observándose que las barras de error no muestran diferencias entre los puntos. Para comprobar esta observación, se realizó el análisis estadístico que dio como resultado que no se encuentran diferencias significativas en la biomasa total (p=0,15, F=1,8), así como tampoco se encontraron diferencias significativas en las biomasas aéreas (p=0,36, F=1,16) y subterráneas (p=0,12, F=2,00).

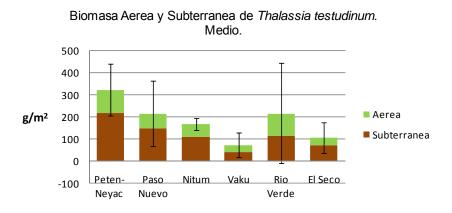


Figura 40: Biomasa aérea y subterránea de Thalassia testudinum en Medio en el estado de Campeche.

En cuanto a las biomasas de *S. filiforme*, no se realizó ningún tipo de estadístico, ya que como se mencionó anteriormente solo se tiene una muestra para la estación de Vaku, y una en Río Verde (Figura 41).

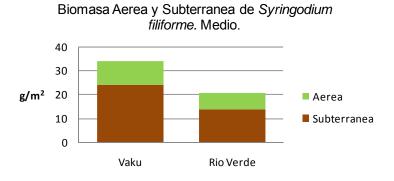


Figura 41: Biomasa de *Syringodium filiforme* en las estaciones de Vaku y Rio Verde en las estaciones en Medio en la costa del estado de Campeche.

En la Figura 42, se puede observar el porcentaje que ocupa cada especie en las estaciones, observando un dominio de la especie *T. testudinum*, sobre *S. filiforme*.

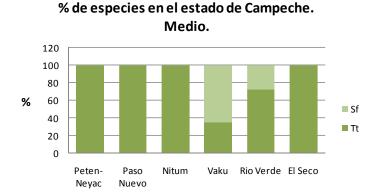


Figura 42: Porcentajes que ocupan las biomasas de las especies de *Thalassia testudinum* (Tt) y Syringodium filiforme (Sf) en las estaciones en Medio.

En los puntos ubicados en la parte denominada "Fuera" se encontraron las especies de *T. testudinum* y *S. filiforme*, tal y como se muestra en las Tablas 12 y 13. Cabe señalar que *S. filiforme* esta presente en todas las estaciones.

Tabla 12: Datos de la biomasa total, aérea y subterránea de *Thalassia testudinum.* Fuera en la costa del estado de Campeche.

Área de Estudio	Biomasas(g/m²)				
	Subterránea	Aérea	Total		
Peten- Neyac	155,600462	67,551963	223,152425		
Paso Nuevo	27,4971132	18,5479215	46,0450346		
Nitum	65,8198614	21,5790993	87,3989607		
Vaku	23,8163972	9,09353349	32,9099307		
Rio Verde	77,006351	25,6928406	102,699192		
El Seco	27,8579677	6,78406467	34,6420323		

Tabla 13: Datos de la biomasa total, aérea y subterránea de *Syringodium filiforme*. Fuera en el estado de Campeche.

Área de Estudio	Biomasas(g/m²)				
	Subterránea	Aérea	Total		
Peten- Neyac	5,48498845	3,39203233	8,87702079		
Paso Nuevo	17,9705543	9,59872979	27,5692841		
Nitum	19,3418014	17,1045035	36,4463048		
Vaku	26,198037	73,397806	99,595843		
Rio Verde	7,72228637	4,76327945	12,4855658		
El Seco	14,7950346	32,5490762	47,3441109		

En la Figura 43, se encuentran representadas gráficamente las biomasas de T. testudinumen los sitios denominados "Fuera", se puede observar que las barras de error no conceden alguna diferencia entre las biomasas de las estaciones. Para corroborar esta observación, se realizó un análisis de varianza que arrojo resultados donde sí se muestran diferencias significativas tanto para la biomasa total (p=0,008, F=4,45), como para las biomasas aéreas (p=0,0006, F=7,35) y subterráneas (p=0,04, F=2,77). Sin embargo, tal y como sucedió en el análisis anterior, al realizar la prueba de Tukey, no se encontraron dichas diferencias (α =0.05)

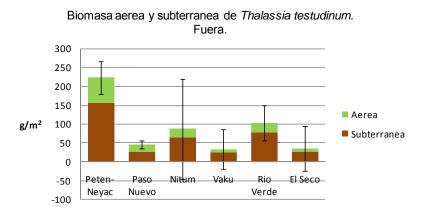


Figura 43: Biomasa aérea y subterránea de *Thalassia testudinum*en las estaciones muestreadas Fuera en la costa de Campeche.

En cuanto a las biomasas de *S. filiforme* que se encuentran graficadas en la Figura 44, se puede observar que las barras de error no muestran diferencias entre las biomasas de las estaciones, aun cuando es la estación Vaku con una mayor biomasa, se podría inferir que existen diferencias entre esta estación y la estación de Peten-Neyac, la cual muestra los valores más bajos de biomasa.

Informe Final

Se realizó un análisis de varianza para comprobar las observaciones anteriores, el análisis arrojo resultados en donde sí se encuentran diferencias significativas en la biomasa total (p=0.02, F=3.4), así como en la biomasa aérea (p=0.01, F=4.1); lo cual contrasta con el resultado de no encontrarse estas mismas diferencias para la biomasa subterránea (p=0,2, F=1,57).

Al realizar la prueba de Tukey, si se encontraron diferencias significativas entre las estaciones de Vaku y Peten-Neyac para la biomasa de Syringodium filiforme $(\alpha = 0.05)$.

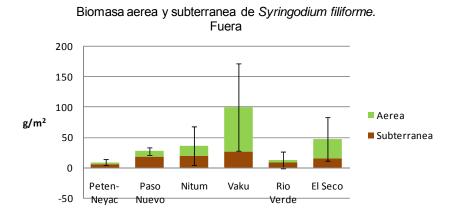
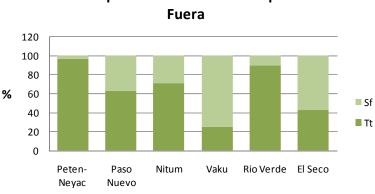


Figura 44: Biomasas aérea y subterránea de Syringodium filiformeal final de los manchones en la costa del estado de Campeche.

En la Figura 45, se muestran los porcentajes que ocupan las especies presentes en cada estación, siendo notorio el dominio de T. testudinum en la mayoría de ellas, no siendo así para las estaciones de Vaku y El Seco, donde la especie dominante es S. filiforme.



% de especies del estado deCampeche.

Figura 45: Porcentajes que ocupan las biomasas de las especies Thalassia testudinum (Tt) y Syringodium filiforme (Sf) Fuera.

Cabe señalar en este punto, que en las estaciones denominadas "Dentro" no se muestreo en la estación de El Seco, ya que en este lugar se encuentra la descarga directa de la población de Campeche, por ello la turbidez del agua impedía realizar el muestreo, también se observaron que las temperaturas en todo este transecto fueron de las más altas (29-32 °C). Se observó también, la cercanía de esta estación con un muelle y una zona turística y de esparcimiento.

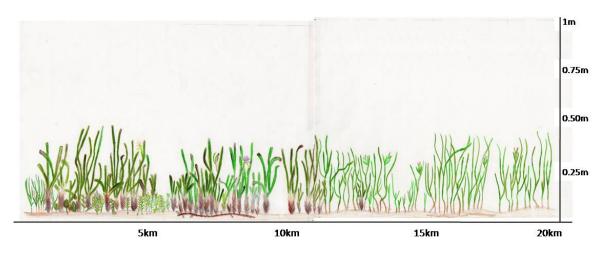


Figura 46: Ejemplo de Perfil de Vegetación Acuática en la Costa de Campeche.



Figura 47: Esquema ejemplificando los transectos hechos para el estado de Campeche (A) y el estado de Yucatán (B). Dentro (Orilla), Medio, y Fuera.

Yucatán

En el estado de Yucatán se realizó un muestreo por transecto, aún que en este caso únicamente se realizaron los muestreos solo Dentro y Fuera del manchón de pastos marinos (Figura 47), ya que en esta zona se encontraba un fenómeno de

marea roja que impidió hacer el muestreo en tres puntos del transecto. Las biomasas que se muestran en las Tablas 14, 15 y 16, son las referentes a las especies de *T. testudinum*, *S. filiforme* y *H. wrigthii*.

Cabe señalar que en la estación Balaptaché solo se tiene una muestra ya que la mayor parte de la superficie (95% dato observado en campo) estaba cubierto por algas del genero *Caulerpa sp.* Así mismo, puede observarse que el total de las estaciones son 10, sin embargo no en todas las estaciones se encontraron las tres especies, como es el caso de la estación de Herradura, donde no se encontró la especie de *T. testudinum*, así como las estaciones Isla Arena y Ría Celestún donde no se encontró la especie *S. filiforme*, y en las estaciones de San Felipe, El Cerro y Balaptaché donde no se encontró la especie *H. wrightii*.

Es importante mencionar que en esta zona, en la parte que denominamos Dentro, se encuentra también la estación Bocana, sin embargo, en esta estación no se encontró la presencia de pastos marinos, por lo que no se realizó un muestreo en esta zona.

Tabla 14: Datos de biomasa total, aérea y subterránea de *Thalassia testudinum*Dentro en la costa en el estado de Yucatán.

Área de Estudio	Biomasas(g/m2)					
	Subterránea	Aérea	Total			
Lialia	28,09853734	18,860662	46,9591994			
Dzil	12,19688222	11,0421478	23,23903			
El Cerro	60,55138568	30,2155504	98,7297921			
San Felipe	62,9330254	31,947652	94,8806774			
Bolohú	50,80831409	28,6518476	79,4601617			
Balaptaché	23,67205543	20,2078522	43,8799076			
Holbache	114,126251	83,3333333	197,459584			
Isla Arena	26,17397998	30,3117783	56,4857583			
Ria Celestún	9,719014627	5,77367206	15,4926867			

Tabla 15: Datos de biomasa total, aérea y subterránea de *Syringodium filiforme*Dentro en la costa en el estado de Yucatán.

Área de Estudio	Biomasas(g/m2)				
	Subterránea	Aérea	Total		
Lialia	21,74749808	15,3964588	37,1439569		
Dzil	10,8256351	4,83545035	15,6610855		
El Cerro	14,43418014	11,7638568	26,198037		
San Felipe	19,24557352	12,7020785	31,947652		
Bolohú	25,25981524	11,9803695	37,2401848		
Balaptaché	33,77598152	16,1662818	49,9422633		
Herradura	1,058506543	0,96227868	2,02078522		

Tabla 16: Datos de biomasa total, aérea y subterránea de *Halodule wrightii.* Dentro en la costa en el estado de Yucatán.

Área de Estudio	Biomasas (g/m2)					
	Subterránea	Aérea	Total			
Lialia	16,83987683	7,31331794	24,1531948			
Dzil	14,07332564	10,0317552	24,1050808			
Bolohú	4,618937644	5,26847575	9,88741339			
Isla Arena	4,81139338	4,04157044	8,85296382			
Ria Celestún	9,526558891	7,21709007	16,743649			
Herradura	12,70207852	4,13779831	16,8398768			

En la Figura 48 se muestran las biomasas de *T. testudinum* en las estaciones Dentro, se puede observar que las barras de error muestran una diferencia entre la estación de Holbache y las demás.

Se realizó un análisis de varianza para comprobar estas observaciones, los resultados que arrojó el análisis muestran una diferencia significativa entre las biomasas totales (p=0,0001, F=7,9), aérea (p=0,002, F=4,6) y subterránea (p=0,0001, F=7,4).

Al realizar la prueba de Tukey, se comprobó que la estación de Holbache es la que muestra las diferencias significativas (α =0,05) con las estaciones de Ría Celestun, Dzil, Lialia, Isla Arena, y Bolohú.

Como se mencionó anteriormente, la estación de Balaptaché solo contiene una muestra, es por ello que al realizar la prueba de Tukey también se encontró una

Informe Final

diferencia entre esta estación y Holbaché, sin embargo es importante destacar que la muestra no es significativa.

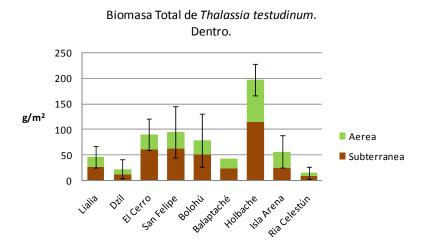


Figura 48: Biomasa aérea y subterránea de *Thalassia testudinum*en la parte llamada Dentro en el estado de Yucatán.

En las biomasas mostradas gráficamente en la Figura 49, sobre la especie *S. filiforme* Dentro se puede observar que las barras de error no muestran diferencias entre las estaciones. Para hacer una comprobación de estas observaciones se realizó un análisis de varianza en donde no se encontraron diferencias significativas en las biomasas totales, aéreas, y subterráneas.

Es importante destacar que la estación de Balaptaché está sub-muestreada, como se mencionó anteriormente, por la abundancia de algas en el lugar.

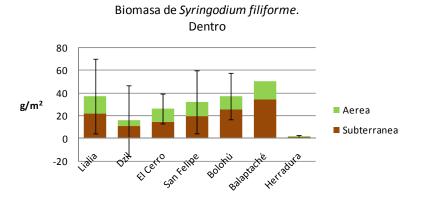


Figura 49: Biomasa aérea y subterránea de *Syringodium filiforme*en la parte Dentro en la costa del estado de Yucatán.

Informe Final

En cuanto a las biomasas de *H. wrightii* para las estaciones Dentro, se puede observar en la Figura 50, que las barras de error no muestran una diferencia entre estaciones. Al realizar el análisis de varianza se confirmó esta observación, ya que no se encontraron diferencias significativas en las biomasa total, y las biomasas aéreas y subterráneas de *H. wrightii*.

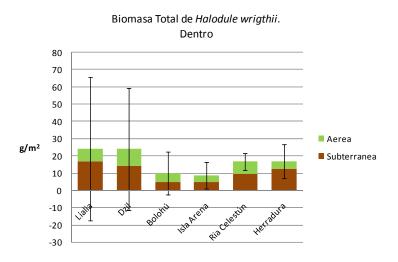


Figura 50: Biomasa aérea y subterránea de *Halodule wrightii*en la parte de Dentro en la costa de Yucatán.

En la Figura 51, se muestran los porcentajes que ocupa pada especie en las estaciones Dentro. Se puede observar la dominancia de *T. testudinum* sobre las otras especies, excepto en la estación de la Herradura, donde está ausente, y donde la especie dominante es *H. wrightii*.

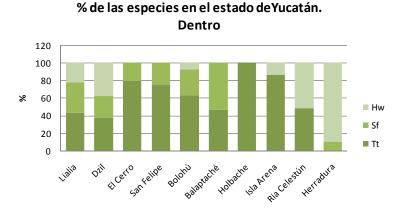


Figura 51: Porcentaje que ocupan las biomasas de las tres especies de pastos marinos encontradas en las estaciones Dentro. (*Thalassia testudinum*=Tt, *Syringodium filiforme*= Sf, y *Halodule wrightii*= Hw)

Los datos mostrados en las Tablas 17, 18 y 19 son las biomasas de las estaciones muestreadas en lo que se llamó Fuera, en esta parte del transecto también se encontraron las tres especies, *T. testudinum*, *S. filiforme*, y *H. wrightii*.

Es importante mencionar que no en todas las estaciones se encontraron las tres especies, como son las estaciones Dzil, San Felipe y Bolohú donde no se encuentra la especie *H. wrightii*.

Se puede observar que en esta parte del transecto no se tiene la estación Herradura, ya que aun cuando se encontró la presencia del pasto *H. wrightii* la distribución de este en el punto era muy dispersa, por lo que no se podía realizar un muestreo representativo en esta zona.

Tabla 17: Datos de Biomasa de *Thalassia testudinum*Fuera en Yucatán.

Área de Estudio	Biomasas(g/m2)				
	Subterránea	Aérea	Total		
Lialia	13,6643572	10,200154	23,8645112		
Dzil	17,5134719	7,60200154	25,1154734		
San Felipe	11,2586605	11,8360277	23,0946882		
Bolohú	6,35103926	4,71516551	11,0662048		
Balaptaché	3,39203233	6,20669746	9,59872979		
Holbaché	119,803695	41,9553503	161,759045		
Isla Arena	0,86605081	6,06235566	6,92840647		
Bocana	21,5550423	25,6928406	47,247883		

Tabla 18: Datos de biomasa de Syringodium filiformeFuera en Yucatán

Área de Estudio	Biomasas (g/m2)				
	Subterránea	Aérea	Total		
Lialia	25,8852964	8,94919169	34,8344881		
Dzil	43,3987683	19,8229407	63,221709		
El Cerro	64,3764434	19,3418014	83,7182448		
San Felipe	38,9722864	33,1986143	72,1709007		
Bolohú	58,3140878	28,2909931	86,6050808		
Balaptaché	30,528291	16,9601617	47,4884527		
Isla Arena	1,53964588	3,5604311	5,10007698		
Bocana	0,86605081	1,05850654	1,92455735		

Tabla 19: Datos de biomasa de Halodula wrightiiFuera en Yucatán

Área de Estudio	Biomasas (g/m2)				
	Subterránea	Aérea	Total		
Lialia	6,73595073	6,35103926	13,08699		
El Cerro	0,57736721	0,2886836	0,86605081		
Balaptaché	4,18591224	4,76327945	8,94919169		
Isla Arena	4,71516551	6,63972286	11,3548884		
Bocana	7,69822941	11,9322556	19,630485		

Como se observa en la Figura 52, de las biomasas totales de *T. testudinum*en la parte de Fuera, la estación de Holbache presenta la mayor biomasa tanto en aérea como en subterránea, por lo que se puede interpretar que esta estación es diferente. Al realizar el análisis de varianza para estas biomasas, se observó que aun cuando las biomasas aéreas (p=0,14, F= 1,8) no presentaron diferencias significativas, en la biomasa total (p=7,0873E-05, F=9,70) y en la subterránea (p=5,9226E-07, F=19,46) si se encontraron estas diferencias significativas.

Por lo anterior se realizó la prueba de Tukey (α =0,05) donde se encontró que la estación de Holbache presenta una diferencia significativa con la estación de Isla Arena.

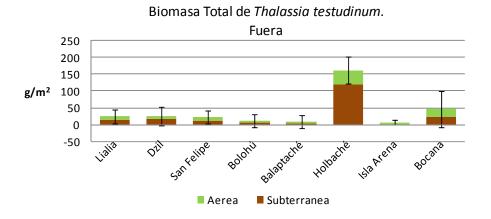


Figura 52: Biomasas de *Thalassia testudinum* en la parteFuera en el estado de Yucatán.

En cuanto a las biomasas de *S. filiforme* en la parte de Fuera, presentadas en la Figura 53, se puede observar que las barras de error son muy amplias, lo cual no indica diferencias entre las estaciones. Se realizó un análisis de varianza donde se encontraron diferencias significativas entre la biomasa total (p=0,02, F=3,08) de las estaciones, así como en las biomasa aéreas (p=0,02, F=3,33) y subterráneas (p=0,04, F=2,76).

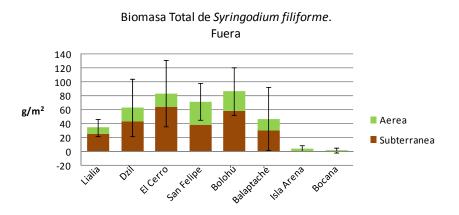


Figura 53: Biomasas de Syringodium filiformeen la parte de Fuera en la costa de Yucatán.

La Figura 54 representa las biomasas de *H. wrightii* en las estaciones Fuera, donde las barras de error no permiten observar alguna diferencia. Al realizar el análisis de varianza se encontró que no hay diferencias significativas en la biomasa total (p=0,44, F=1,01), ni en las biomasas aéreas (p=0,27, F=1,46) y subterráneas (p=0,62, F=0,67).

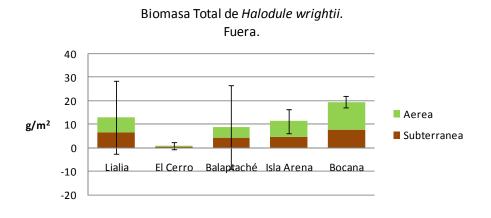


Figura 54: Biomasas de Halodule wrightiien la parte denominada Fuera en la costa de Yucatán.

La Figura 55 muestra los porcentajes que ocuparon las tres especies en las estaciones Fuera. A diferencia de las estaciones Dentro, es la especie *S. filiforme* la dominante en este transecto, excepto en la estación Holbaché. Igualmente

podemos observar la ausencia total de la especie *H. wrightii* en las estaciones Dzil, San Felipe y Bolohú, y se observa el menor porcentaje de esta especie en la estación El Cerro.

% de especies del estado de Yucatán. Fuera. 120 100 80 40 20 0 Hw Sf Tt

Figura 55: Porcentajes de biomasas de las tres especies encontradas en las estaciones Fuera. (*Thalassia testudinum*=Tt, *Syringodium filiforme*= Sf, y *Halodule wrightii*= Hw).

Campeche 2: Laguna de Términos.

Para la Laguna de Términos se muestrearon 12 puntos, sin embargo las estaciones de Cayo Arena, San Julián y Ensenada se muestrearon a manera de transecto con tres puntos (dentro, medio y fuera) para Cayo Arena y dos puntos en las restantes estaciones; sin definirse la distancia exacta desde la línea de costa, hacia adentro de la laguna.

Debido a que no existió ninguna consistencia entre transectos como en el primer sito de Campeche y el estado de Yucatán, cada transecto de estos puntos de muestreo se tomo como uno diferente, por lo que en total se tienen 16 puntos.

Cada punto fue tomado en cuenta, y se ordenaron los datos convenientemente por especie, aun que no se encontraron las tres especies en las 16 estaciones.

De esas 16 estaciones, Punta Molon y Cayo se muestrearon por especie, por lo que se tienen 9 núcleos por punto.

No se encontró *T. testudinum* en la estación de Punta Bocaina, sin embargo sí está presente en las estaciones restantes (Figura 56). En cuanto a las biomasas totales que se presentan en la gráfica, se observa una diferencia en la estación de Bocaina. Con el análisis mediante Anova, se encontraron diferencias significativas (p=1,2679E-06, F=6,87122652), y en la prueba de Tukey se encontró que en Isla Pajaros presenta diferencias significativas con respecto a Cayo Arena (Fuera y Medio), Ensenada Fuera, San Julián Fuera, y Punta Molon. En la localidad Bocaina se observan diferencias significativas con respecto a Cayo Arena (Fuera y

Medio), Ensenada (Fuera y Dentro), San Julián (Fuera y Dentro), Las Pilas 2 y Punta Molon.

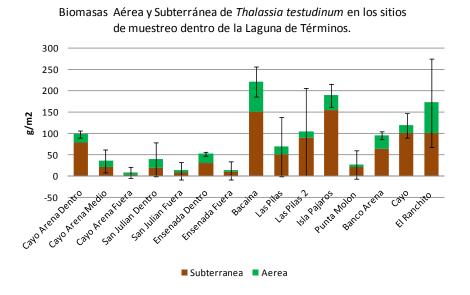


Figura 56: Biomasas de la especie *Thalassia testudinum* encontrada en las estaciones dentro de la Laguna de Términos en el estado de Campeche.

La especie *S, filiforme* se presento únicamente en 7 puntos; Cayo Arena Medio y Fuera, San Julián Dentro y Fuera, y Ensenada Dentro y Fuera, y Cayo (Figura 57). En el análisis de varianza no se encontraron diferencias significativas en la biomasa total de esta especie, y se confirmó al aplicar la prueba de Tukey.

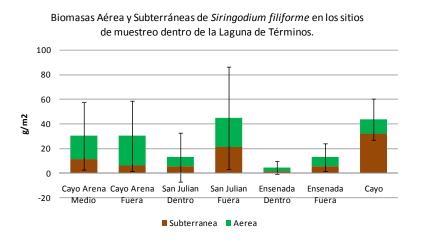


Figura 57: Biomasas de *Syringodium filiforme*, especie encontrada en las estaciones de muestreo en la Laguna de Términos en el estado de Campeche.

En las estaciones de Cayo Arena Dentro, Isla Pájaros, Banco Arena y El Ranchito, no se encontró la especie *H. wrightii*, no obstante esta especie está presente en las estaciones restantes (Figura 58). Al realizarse el Anova para los datos de biomasa, ya que gráficamente no se pueden distinguir las diferencias entre estaciones; sin embargo al aplicar el análisis de varianza se mostró que existe una diferencia significativa (p=0,00062895, y F=4,36994768). Y al efectuar la prueba de Tukey, se halló que la estación del Cayo es la que presenta diferencias con respecto a las estaciones de Cayo Arena (Dentro y Medio), Ensenada Fuera, San Julián (Dentro y Fuera), Bocaina, y Las Pilas 2.

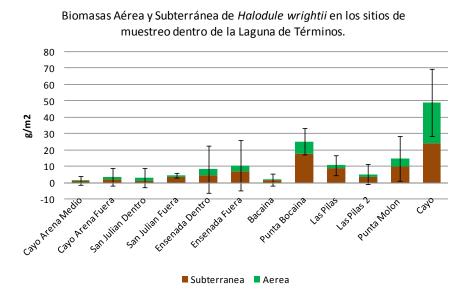


Figura 58: Biomasas de la especie *Halodule wrightii* en la Laguna de Terminos, en el estado de Campeche.

Conclusiones

El análisis de los ecogramas realizados con ecosonda, permitieron tener un bosquejo amplio de la distribución, tamaño y cobertura de la vegetación del fondo marino en particular de los pastos marinos en las diferentes localidades ubicadas a lo largo de las costas del Golfo de México.

La profundidad donde la vegetación tiene una altura promedio más alta (hasta un metro) es a profundidades de 2 y 6 metros, localizada en los Petenes, así como también la cobertura la cual varía de 20% hasta un 100%.

Los sitios con mayor cobertura de pastos se localiza en la zona de Los Petenes y particularmente en la parte del transecto denominado como Campeche-Costa, seguida de Celestún y San Felipe en Yucatán.

La zona donde no se encontraron pastos fue en las Islas Anegada de adentro y Galleguilla del Sistema Arrecifal Veracruzano; Tanhuijo, y las 2 denominadas de En medio del sistema Arrecifal de Tuxpan, Veracruz.

CARACTERIZACIÓNSEDIMENTOLÓGICA DE LOS SITIOS ASOCIADOS A PASTOS MARINOS.

Responsable. Dr. Zoilo Antonio Márquez García

Introducción

El Golfo de México, es una cuenca oceánica semi-cerrada tiene un área aproximada de 2 millones de km², un volumen de agua de 20 millones de km³ y su dimensión Este-Oeste es alrededor de 1,600km. En su parte occidental tiene una extensión Norte-Sur de 1,300km y entre Yucatán y Florida mide aproximadamente 900km.

Su cuenca principal, con una profundidad promedio hasta de 3,000m, se extiende como un callejón sin salida desde el Canal de Yucatán, primero hacia el Norte y el Noroeste, luego hacia el Oeste y finalmente hacia el Sur. En el Sureste, a través del Canal de Yucatán y sobre un umbral de 2,000m de largo, con una profundidad aproximada de 800m, se comunica con el Mar Caribe y con el Atlántico por medio del estrecho de Florida.

La cuenca está rodeada por tres áreas principales de plataforma continental: La Florida, al Occidente; la de Texas-Luisiana, al Noroeste y la de Campeche y Yucatán, al Sur.

El Golfo de México presenta gran variedad de rasgos fisiográficos relacionados con su historia geológica comprendida desde el Jurásico hasta el Reciente

Las variaciones sedimentológicas que se presentan en los fondos marinos principalmente se da por cambios energéticos en las corrientes marinas de fondo, por oleaje, así como en las zonas costeras por los aportes de sedimentos fluviales, todos estos factores son modificados a su vez por los cambios climáticos durante el transcurso del año.

En el Golfo de México, las variaciones climáticas son muy extremosas, sobre todo en la época de huracanes que no solo afectan las condiciones oceanográficas del Golfo, sino, también, las condiciones hidrológicas de los sistemas fluviales de la vertiente del Golfo.

A continuación se describen estudios de los últimos 20 años de los aspectos más sobresalientes de la zona de estudio desde el punto vista sedimentológico, correspondiente a la plataforma y talud continental en el oeste, este y sur del Golfo de México.

La integración de la información sedimentología desde el punto de vista textural se presentan en la siguiente figura, donde las características texturales de los sedimentos en el sur del Golfo de México, donde se presenta la distribución de los

diferentes tamaños de sedimentos y su relación con las diferentes fuentes de origen y su variación en los primeros centímetros de la columna.

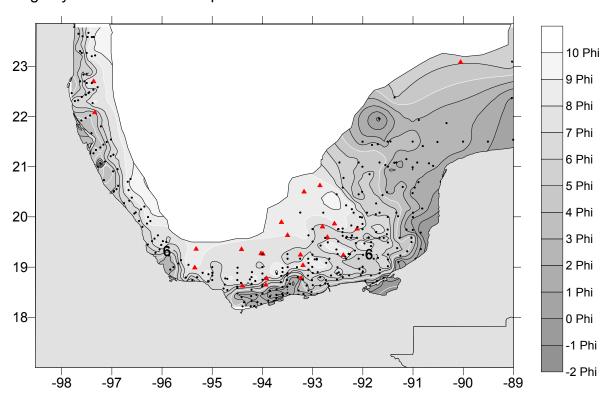


Figura 59: Distribución de sedimentos marinos del Golfo de México, modificado de Aguayo Camargo et.al. (2001), Lecuanda y Ramos-López (1985a), Lecuanda y Ramos-López (1985b), Campos Castán (1986a), Silva Gamboa y Campos Castán (1986), Campos Castán (1986b), Campo

Los tamaños finos de lodos están representados por los valores de 4 a 10 phi, arenas de -1 a 4 phi.

Antecedentes

La zona de estudio en su parte marina presenta, un área de transición sedimentológica entre las provincias deltaica (al Oeste) y carbonatada (al Este) del Golfo de México donde las principales fuentes de sedimentos son el sistema fluvial Grijalva-Usumacinta y la plataforma carbonatada de Yucatán, además de la importante descarga de la Laguna de Términos sobre la plataforma continental (Gutiérrez-Estrada y Castro del Río, 1988; Vázquez *et al.*, 2000; PEP-UNAM, 2003).

Rosales-Hoz *et.al.* (1999) describen los sedimentos encontrados en la plataforma continental de la porción suroccidental de la Bahía de Campeche y su relación con las descargas del Sistema Grijalva Usumacinta,

Rosales-Hoz, et.al. (1994) reporta la concentración de algunos metales traza contenidos en las aguas de la plataforma continental del sureste del Golfo de

México. En este trabajo se evaluó la influencia de los Ríos Grijalva Usumacinta encontrando que la dirección de los sedimentos aportados por los ríos para esta época del año es predominantemente es hacia el norte.

Carranza-Edwards, et. al. (1993) estudia y reporta los sedimentos suspendidos en la porción sureste del Golfo de México. En el trabajo se distinguen claramente las provincias carbonatada, terrígena y de transición; así como la concentración más importante de sedimentos suspendidos en las proximidades de la desembocadura del Sistema Grijalva Usumacinta.

Lecuanda et.al. (1999) presenta resultados de las 116 muestras de sedimentos colectado por debajo de 250 m de profundidad recolectados en la plataforma continental de la Bahía de Campeche, Si bien el estudio es con fines técnicos enfocado hacia la utilización de diferentes parámetros sedimentológicos para ser usados en la representación sedimentológica cartográfica. Se presentan los resultados del tamaño promedio de los sedimentos de la plataforma continental en la cual se ubican varias de las estaciones de muestreo localizadas en el área de estudio.

López García P.A. (1998) reporta los resultados practicados a los datos de 116 muestras de sedimentos de la plataforma continental de la Bahía de Campeche y zona occidental del Golfo de México. El análisis aquí practicado versó sobre algunas técnicas matemáticas y estadísticas para entender mejor las poblaciones y subpoblaciones que componen a una muestra sedimentológica.

Hidrocarburos en Sedimentos

Las concentraciones más elevadas se determinaron frente al complejo lagunar Carmen-Pajonal-Machona (100 ppm). Esto hace suponer un aporte por parte del complejo lagunar, no obstante en las inmediaciones se desarrollan actividades de exploración petrolera. Dada la distribución horizontal de los hidrocarburos totales en sedimentos superficiales, se refleja una clara influencia de la dinámica local, cuando los rasgos de dicha distribución se asocian a los movimientos del agua en la zona.

La serie de tiempo demuestra un decremento de los hidrocarburos respecto a los años 80's, motivado principalmente por el mayor control de los recortes de perforación, la disminución de derrames, la implementación de medidas de control en las plataformas marinas, mayor vigilancia de las autoridades ambientales correspondientes y de la Secretaría de Marina, entre otras acciones. A partir de 1987 la concentración analizada en los sedimentos marinos de la Sonda de Campeche se encuentra por debajo del límite establecido por la UNESCO para sedimentos no contaminados (70mg/kg).

Se han realizado estudios que relacionan la comunidad bentónica con la presencia de hidrocarburos y la actividad petrolera. Referente a esto, algunos autores han señalado que existen comunidades que se establecen con éxito en zonas de

chapopoteras, siendo los hidrocarburos un factor importante en la distribución y abundancia de algunas especies.

En la región se han realizado diversos estudios para analizar la estructura comunitaria del bentos. Se encontró que el tipo de sedimento y la profundidad son variables relevantes en la distribución de estos grupos.

Objetivos

En la región se han realizado diversos estudios para analizar la estructura comunitaria del bentos. Se encontró que el tipo de sedimento y la profundidad son variables relevantes en la distribución de estos grupos.

Por lo que lo objetivos de este estudio en relación a los pastos marinos son:

- Conocer el tipo de sedimentos asociados a los pastos marinos.
- Conocer las características batimétricas asociados a los pastos marinos

Metodología

Colecta de sedimentos:

Se colectaron sedimentos superficiales en los diferentes sitios de muestreo, en las estaciones correspondientes a la colecta de pastos marinos.

Métodos de laboratorio

A los sedimentos colectados se les realizo:

Análisis granulométrico.

Sedimentos arenosos

El análisis de tamaños o textura de sedimentos se realizo de acuerdo a la escala de tamaños de Wenthworth (1922), utilizando los criterios propuestos por Folk (1974), Carver (1971) y MaC Manus (1988).

Sedimentos lodosos.

El análisis granulométrico de los sedimentos lodosos se llevó a cabo por el método de pipeteo a cada phi, según Folk (1974), Carver (1971), McManus (1988).

Se calcularon los porcentajes de arena, limo y arcilla, para la determinación de la nomenclatura de los sedimentos de acuerdo al triángulo de Shepard (1971) (Figura 60),

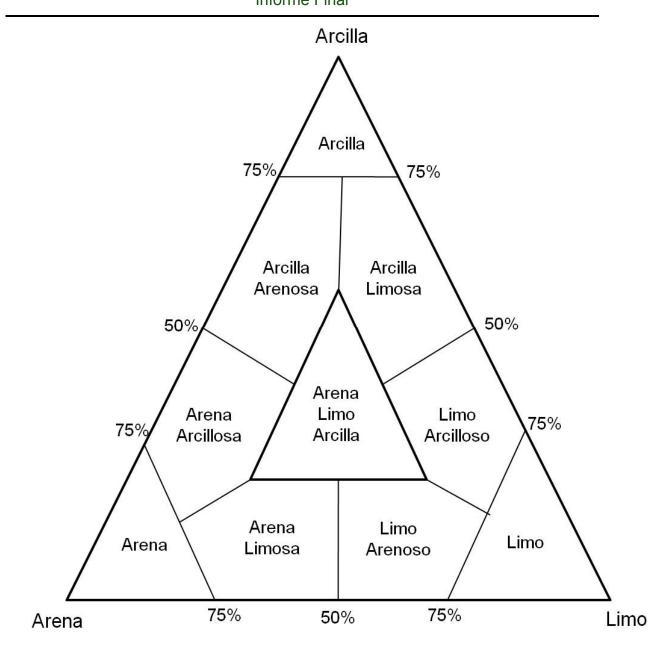


Figura 60: Triangulo de Shepard.

Composición mineral de los sedimentos.

El análisis mineralógico de los sedimentos se realizará en la fracción gruesa de los sedimentos lodosos por el método de "frotis" (Rothwell, 1989) con microscopio estereoscópico. El porcentaje de los minerales se hizo de acuerdo a la Carta de Comparación de Porcentaje para Estimar Proporciones de Componentes Sedimentarios (Rothwell, 1989).

Los sedimentos arenosos calcáreos se identificaran los materiales biogénicos y se usó el triángulo de Lewis (1984), donde se toma en cuenta los porcentajes de clastos biogénicos, siliciclastos y micrita (lodo calcáreo) para definir una nomenclatura de los sedimentos calcáreos. (Figura 61).

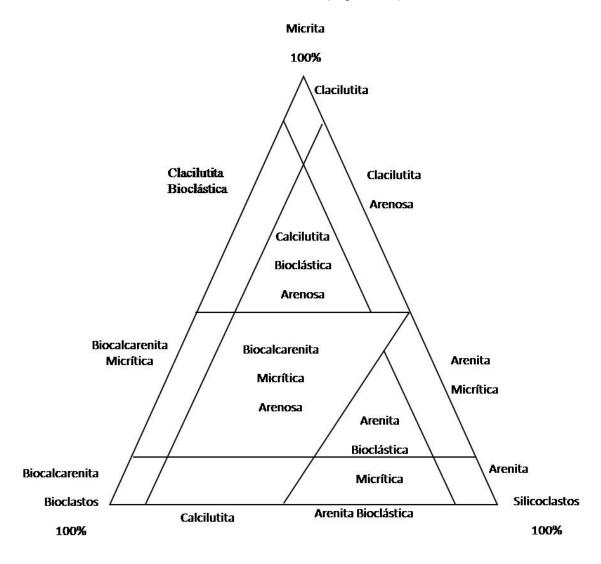


Figura 61: Triángulo de clasificación para sedimentos carbonatados con componentes silicoclásticos (Lewis, 1984).

Resultados

Sedimentos asociados a pastos marinos

Se presentan los resultados de los parámetros granulométricos: Tamaño gráfico promedio (Mz), Desviación estándar gráfica inclusiva (σ), Asimetría gráfica Inclusiva (Ski) y Curtosis (Kg) de los sedimentos arenosos, asó como el porcentaje

Informe Final

de arena, limo y arcilla de los sedimentos lodosos de los sedimentos asociados a los pastos marinos.

Veracruz - Islas

Los resultados granulométricos muestran una composición de arenas medias y gruesas, mal clasificadas, asimétricas hacia los gruesos y leptocúrticos. Es decir que estos parámetros indican condiciones de alta energía, con condiciones muy variables que solo permiten depósito de materiales gruesos en estas islas Arrecifales (Tabla 20 y Figura 62).

Tabla 20: Parámetros granulométricos y nomenclatura de sedimentos de las Islas Arrecifales de Veracruz

Muestra	PARAMETROS			NOMENCLATURA	
widestra	Mz	σØ	Ski	KG	NOWENCLATURA
Isla de Enmedio 2	0,50	1,26	-0,15	0,61	arena gruesa;mal clasificado;asimetrico hacia los gruesos;muy platicurtico
Isla Gallega	-0,13	1,35	0,62	0,84	arena media gruesa;mal clasificado;muy asimetrico hacia los finos;platicurtico
Isla de Enmedio 1	1,30	1,15	-0,38	1,11	arena media;mal clasificado;muy asimetrico hacia los gruesos;mesocurtico (leptocurtico)
Isla Sacrificios	-0,67	0,59	-0,32	1,08	arena media gruesa;moderadamente bien clasificado;muy asimetrico hacia los gruesos;mesocurtico
Isla Galleguilla	-1,17	0,47	0,67	4,71	gravas;bien clasificado;muy asimetrico hacia los finos;extremadamente leptocurtico
Isla Verde	-0,73	0,51	0,25	1,00	arena media gruesa;moderadamente bien clasificado;asimetrico hacia los finos;mesocurtico

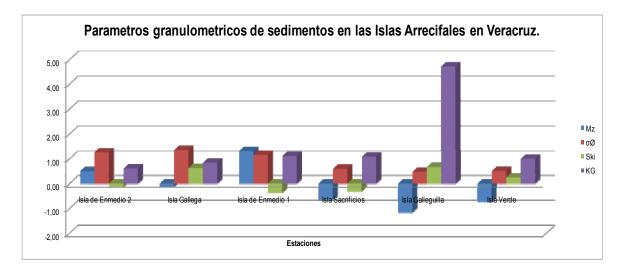


Figura 62: Parámetros granulométricos de los sedimentos de las Islas Arrecifales de Veracruz.

Tuxpan-Tamiahua

En cuanto a los sedimentos de Isla Lobos y Arrecife Tuxpan están constituídos por arenas muy gruesas, moderadamente clasificados, asimétricos hacia finos, de curtosis variables. Indicando el predominio de alta energía de oleaje y corrientes aunque en alguna temporada las condiciones de energía disminuyen permitiendo el depósito de materiales finos (Tabla 21 y Figura 63).

Tabla 21: Parámetros granulométricos y nomenclatura de sedimentos de Tuxpan-Tamiahua.

Muestra	PARAMETROS			NOMENCLATURA	
Widestra	Mz σØ Ski KG	KG	NOWENCLATURA		
Arrecifes Lobo 1	-0,87	0,72	0,43	1,64	Arena muy gruesa; moderadamente clasificados; muy asimetricos hacia los finos; muy leptocurtico.
Arrecifes Tuxpan	-0,37	0,65	0,29	0,91	Arena muy gruesa;moderadamente bien clasificado; Asimetrico hacia finos; mesocúrtico.
Arrecifes Lobos 2	-0,2	1,39	0,75	1,06	Arena muy gruesa;mal clasificado;muy asimetrico hacia finos;mesocúrtico.

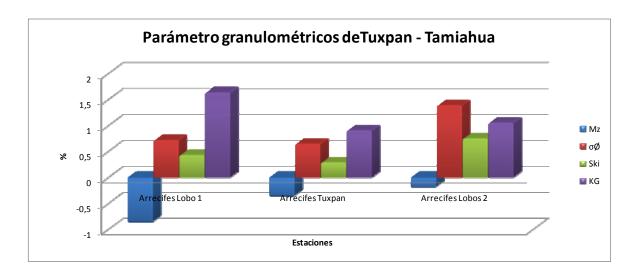


Figura 63: Parámetros granulométricos de sedimentos Tuxpan-Tamiahua.

Campeche-Costa

Esta localidad comprende arenas gruesas, mal clasificada, con asimetría hacia finos de curtosis variable. Denotando una localidad de alta energía por oleaje y corrientes siendo menor la energía a profundidad haciendo presentes materiales más finos (Tabla 22 y Figura 64).

Tabla 22: Parámetros granulométricos y nomenclatura de los sedimentos de la costa de Campeche.

Muestra		PARAMETR	NOMENCLATURA		
iviuestra	Mz	σØ	Ski	KG	NOMENCLATURA
El seco Fuera	0,20	1,14	0,18	0,93	arena gruesa;mal clasificado;asimetrico hacia finos;mesocúrtico.
Nitum Fuera	1,20	1,83	0,34	0,75	Arena media;mal clasificado;muy asimetrico hacia finos;platicurtico.
Paso Nuevo Medio	0,83	1,64	0,21	0,82	arena gruesa;mal clasificado; asimetrico hacia finos;platicúrtico.
El Seco Medio	0,33	1,45	0,35	0,77	arena gruesa;mal clasificado;muy asimetrico hacia finos;platicurtico.
Paso Nuevo Fuera	1,70	1,94	0,10	0,59	arena media;mal clasificado;asimetrico hacia finos;muy platicurtico
Vaku Medio	0,27	1,44	0,31	3,85	arena gruesa;mal clasificado;muy asimetrico hacia finos;extremadamente leptocurtico.
Peten Neyac Medio	0,37	1,42	0,09	0,82	arena gruesa;mal clasificado;simetrico;platicurtico.

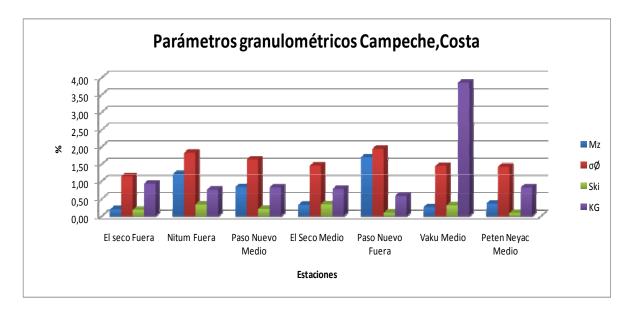


Figura 64: Parámetros granulométricos de Campeche-Costa.

En esta localidad se tiene presentes tres estaciones compuestas por lodos. (Tabla 23 y Figura 65)

Informe Final

Tabla 23: Porcentaje de limo y arcilla de los sedimentos de Campeche-Costa.

MUESTRA	% ARCILLA	% LIMO	%ARENA	TOTAL %	Nomenclatura
Vaku Fuera	37	56	6	100	Limo arcilloso
Nitum Medio	47	45	8	100	Arcilla limosa
Rio Verde Medio	83	7	10	100	arcilla

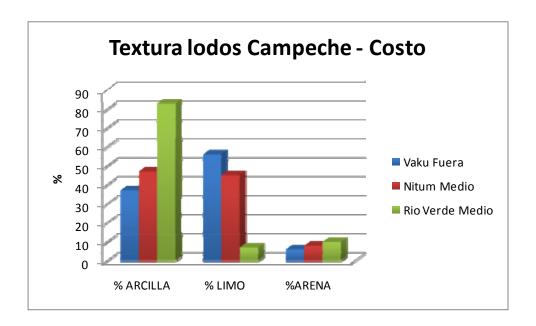


Figura 65: Porcentaje de arena, limo y arcilla en Campeche-Costa

Yucatán-San Felipe y Celestún

En Yucatán se integran dos localidades Celestún y San Felipe donde solo tenemos arena muy fina y media en dos estaciones y e resto de las estaciones está conformada por arcillas limosas, lo que marca condiciones de baja energía en estas dos localidades de Yucatán (Tablas 24 y 25 y Figuras 66 y 67).

Tabla 24: Parámetros granulométricos de los sedimentos de Yucatán.

Muetsra		PARAMETRO	os	NOMENCLATURA	
iviuetsia	Mz	σØ	Ski	KG	
Río Celestun	3,07	1,06	0,33	1,52	arenamuy fina, mal clasificado, muy asimento hacia gruesas
Hobonche Fuera	1,63	1,75	-0,29	0,75	arena media, mal clasificado,asimetrico hacia gruesas,platicúrtico.

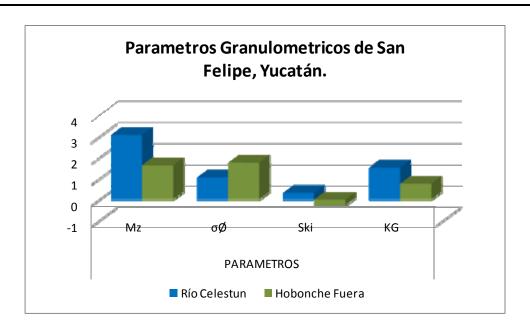


Figura 66: Parámetros granulométricos de San Felipe, Yucatán.

Tabla 25: Porcentaje de arena, limo y arcilla de San Felipe Yucatán

MUESTRA	% ARCILLA	% LIMO	%ARENA	TOTAL %	Nomenclatura
Azil	7	5	88	100	Arena
Azil orilla	64	27	9	100	Arcilla limosa
Lialia	63	28	9	100	Arcilla limosa
Bolohu	64	27	9	100	Arcilla limosa
San felipe T	25	16	59	100	Arena arcillosa
El cerro	8	6	86	100	Arena
Ria Celestun Orilla	50	43	7	100	Arcilla limosa
Hobonche Orilla	58	33	9	100	Arcilla limosa
Hobonche Fuera	39	54	7	100	Limo arcillosa

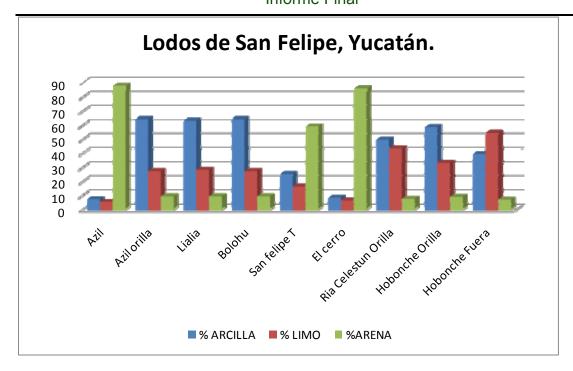


Figura 67: Porcentaje de arena, limo y arcilla de sedimentos de Yucatán.

Términos-Campeche

En el caso de esta localidad predominan las arenas medias, mal clasificadas asimétricas hacia gruesos, platicúrticas. Esto indica energías de oleaje y corrientes moderadas, con condiciones muy variables generalmente en Nortes y lluvias, que producen mala clasificación de los sedimentos con una tendencia hacia los materiales gruesos (Tabla 26 y Figura 68).

Tabla 26: Parámetros granulométricos de los sedimentos de Términos, Campeche.

	PARAMETROS				
Muestra	Mz	σØ	Ski	KG	NOMENCLATURA
Bocana Orilla	1,7	1,33	0,58	0,6	arena media,mal clasificado,muy asimetrico hacia finos,muy platicúrtico
Bocana Fuera	1,53	1,72	-0,66	0,67	arena media, mal clasificado, muy asimetricos hacia gruesos,platicúrticos
Las Pilas Orilla	1,6	1,38	-0,38	1,04	arena media,mal clasificado, muy asimetricos hacia gruesos, mesocúrticos
Ensenada Fuera	0,1	1,72	0,84	0,96	arena gruesa, mal clasificado, muy asimetricos hacia finos, mesocurticos.
Punta melon	1,6	2,15	-0,11	0,64	arena media, muy mal clasificado,asimetrico hacia gruesos, muy platicúrtico.
San Julian Orilla	3,27	0,92	-0,32	0,98	arena muy fina, moderadamente clasificado,muy asimetricos hacia gruesos, mesocúrtico.
Cualerpa	0,27	1,57	0,5	0,7	arena gruesa, mal clasificado,muy asimetrico hacia finos, platicurtico.
Cayo fuera	1,83	2,18	-0,38	0,55	arena media, muy mal clasificado,muy asimetrico hacia gruesos, muy platicúrtico.
Cayo	2,27	1,46	-0,57	1,58	arena fina, mal clasificado, muy asimetrico hacia gruesos, muy leptocúrtico.
Ensenada Orilla	1,67	2,08	-0,2	0,66	arena media, muy mal clasificado,asimetrico hacia gruesos, muy platicúrtico.
El ranchito	1,97	1,5	-0,18	0,75	arena media, mal clasificado, asimetrico hacia gruesos, platicúrtico
Hobonche Fuera	1,63	1,75	-0,29	0,75	arena media, mal clasificado, asimetrico hacia gruesas, platicúrtico.
Isla Arena Orilla	1,93	2,15	-0,48	0,7	arena media, muy mal clasificado, muy asimetrico hacia gruesos, platicurtico
San Julian Fuera	3,3	0,75	0,04	0,79	arena muy fina, moderadamente clasificado, simetrico, platicúrtico.
Punta Molon orilla	1,53	2,12	-0,08	0,51	arena media, muy mal clasificado, simetrico, muy platicúrtico.

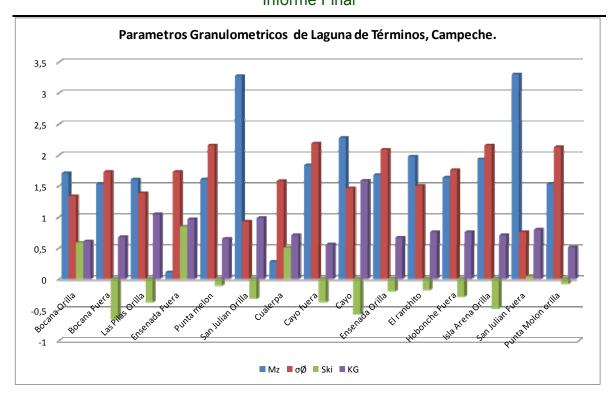


Figura 68: Parámetros granulométricos de los sedimentos de Términos, Campeche.

Dentro de la laguna de Términos, se encuentran algunos lodos principalmente limos arcillosos. En sitios de baja energía (Tabla 27 y Figura 69)

Tabla 27: Porcentaje de arena, limo y arcilla de lodos de Términos.

MUESTRA	% ARCILLA	% LIMO	%ARENA	TOTAL %	Nomenclatura
Cayo Arena	37,631608	55,920687	6,4477049	100	limo arcilloso
Cayo Arena Orilla	25,12	69,901	4,976	100	limo arcilloso
Isla Pajaros	26,924	56,7	6	100	limo arcilloso
Banco Arena	23	72	5	100	limo arcilloso

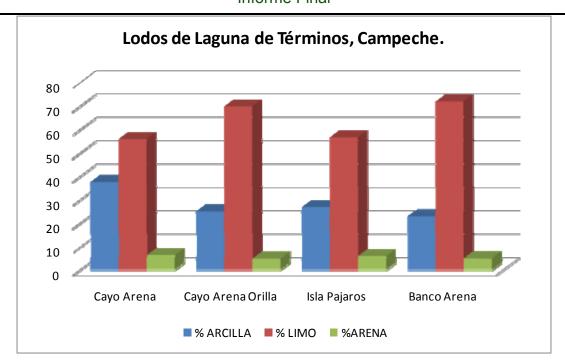


Figura 69: Porcentaje de arena, limo y arcillas de Términos, Campeche.

Conclusiones:

Para sedimentos, la zona de mayor abundancia de pastos (Campeche Costa) se encuentra en arenas gruesas, seguida de lodos en San Felipe y Celestún en Yucatán, mientras las más bajas coberturas se encuentran en arenas muy gruesas de las Islas Arrecifales de Veracruz y en Tuxpan, donde las condiciones de lata energía pueden afectar la presencia de pastos en estas zonas.

MAPAS DE DISTRIBUCIÓNDE PASTOS MARINOS.

Responsable. Maestro Gilberto Hernández Cárdenas

Introducción

El área de distribución de las especies es la base de los estudios biogeográficos y de estudios cuya finalidad sea el análisis del estado de las poblaciones de especies de fauna y flora. Según Zunino y Palestrini (1991) la distribución de una especie es aquella fracción del espacio geográfico donde tal especie está presente e interactúa en forma no efímera con el ecosistema. Interpretando de esta definición podemos decir que cambios en los ecosistemas pueden producir a su vez cambios en la distribución de especies. Estos cambios pueden provenir de acciones humanas directas como es el aporte de nutrientes por el vertido de aguas negras o industriales a las costas sin tratamientos previos, la deforestación en las áreas de captación de cuencas provoca un incremento en las tasas de sedimentación que afectan a los pastos marinos, o por modificación mecánica producto de la pesca, acuacultura, dragados, construcciones costeras. O pueden ocurrir por cambios climáticos que pueden ser producto ó no de la acción de los humanos.

En este trabajo se aportarán elementos que permitan el análisis de la distribución de pastos marinos a lo largo de la costa del Golfo de México que corresponda con el litoral que pertenece a México.

La información sobre la distribución de pastos marinos se encontró que es escasa. Se encuentra los mapas generados por Short (2007) a partir de la recopilación de registros de colectas de PM de todo el planeta, pero no se tienen los datos originales de coordenadas usadas por el autor. Por lo anterior se consultaron las bases de datos mundiales de información sobre la biodiversidad, como Facilitador de Información de la Biodiversidad Global (GBYF por sus siglas en inglés) y se encontraron algunos registros que ubicarlos en mapas muestran ser pocos y dispersos. Así mismo, se consulto a la UNIBIO de la UNAM, y al REMIB de la CONABIO y los registros encontrados se adicionaron a los de GBYF.

En la actualidad el uso de herramientas como los sistemas de geoposicionamiento global, la detección de vegetación sumergida a través de ecosonda en conjunto con el uso de sistemas de información geográfica y de la representación de la información obtenida para usuarios finales en GoogleEarth nos permitirán visualizar la distribución de los pastos marinos por puntos de presencia y ausencia y aportar elementos importantes en la descripción de su distribución.

Metodología

Para realizar el análisis de la distribución de pastos marinos se recopilo información cartográfica, de imágenes de satélite y de sitios de colecta de

especies de pastos marinos. Se hicieron recorridos de campo a las áreas conocidas de distribución de pastos marinos en donde se uso una Ecosonda y DGPS. Así mismo se hizo uso del software de captura de los datos de la ecosonda y para convertir la información obtenida en un archivo ASCII con los datos de ubicación geográfica e información sobre la vegetación sumergida. En la Figura 70 se muestra el diagrama de flujo del proceso para determinar la distribución de pastos marinos. Cabe aclarar que no distingue entre géneros ó especies de pastos sólo se señala la presencia ó ausencia de los mismos.

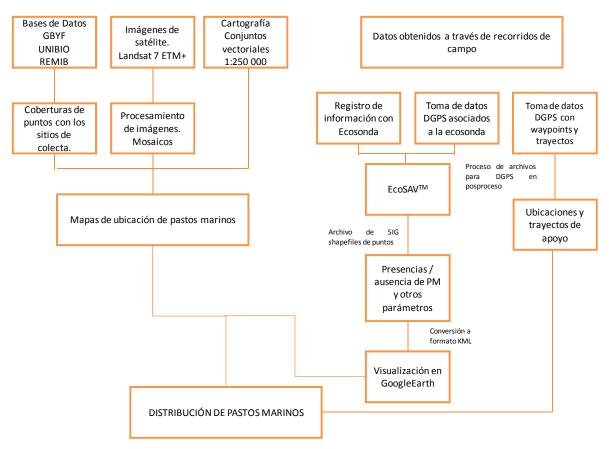


Figura 70: Proceso de datos para detectar la distribución de pastos marinos.

Cartografía de ubicación de PM

Se descargaron 20 imágenes de la página http://www.landsat.orgque corresponden al litoral del golfo de México y parte del Caribe mexicano. Estas imágenes ortorectificadas son del sensor Landsat 7 ETM+. Dichas imágenes fueron preprocesadas en el software Erdas Imagine versión 9.0. El procedimiento fue el de convertir del formato GeoTIFF al formato de imagen de IMG nativo del software usado y se hizo el apilado de capas (LayerStack). Una vez obtenidas las escenas de imágenes se generaron 3 mosaicos con las imágenes Landsat 7 ETM+ que cubren el área del litoral del Golfo de México mexicano.

Cartográficamente se uso la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) para elaborar los mosaicos de imágenes satelitales. Los mosaicos se hicieron corresponder con la zona 14N que abarca los estados de Tamaulipas y Veracruz, la zona 15N con los estados de Tabasco y Campeche y por último la de la zona 16N correspondiente a los estados de Yucatán y Quintana Roo.

Para obtener registros de referencia de la presencia de los Pastos Marinos en el litoral mexicano del Golfo de México se consultaron las bases de datos que proveen información sobre la biodiversidad del planeta y de México. Una de las fuentes consultadas través de Internet fue la а BiodiversityInformationFacility (GBYF http://www.gbif.org), de donde se extrajeron el mayor número de registros, de la Unidad de Informática para la Biodiversidad (UNIBIO; http://unibio.unam.mx) / y de la Red Mundial de Información sobre la Biodiversidad (REMIB) de la CONABIO (http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remib_esp.html). Estas bases de datos se conjuntaron y se cotejo que no hubiera registros duplicados. Así se creó una hoja de cálculo en Excel con todos los registros que se encontraron de pastos marinos. Los datos obtenidos son pocos y muchos carecen de las coordenadas geográficas de su ubicación. Por esta razón se decidió generar dos hojas de Excel una de los pastos marinos con coordenadas geográficas y otra con los registros sin coordenadas. La hoja de Excel con coordenadas geográficas fue procesada en ArcView 3.2 para crear un shapefile de puntos con la ubicación de las especies de pastos marinos. Los registros sin coordenadas fueron georreferenciadas a partir de la información de ubicación de cada colecta con lo cual se creó un shapefile de puntos. Sin embargo, en muchos casos las orientaciones de ubicación fueron poco precisas por lo que el georregistroes incierto.

Los mapas de ubicación se elaboraron en ARCGIS 9.1 usando como capas de información los datos de sitios de colecta de PM y teniendo como imagen de fondo los mosaicos de imágenes satelitales antes descritos. Se hizo uso de los conjuntos vectoriales de INEGI a escala 1:250 000 con las capas de zonas urbanas y de lagos, Integración Territorial (ITER) y una capa de topónimos del país.

Recorridos de campo

Los recorridos de campo y muestreo se realizaron en diversos puntos de las zonas arrecifales de la costa del estado de Veracruz, en la costa del estado de Campeche y en las costas de Yucatán. Los sitios fueron seleccionados de acuerdo a trabajos previos realizados por la Dra. Margarita Gallegos. La ecosonda empleada es la producida por BioSonics modelo DT-X es un sistema hidroacústico que incluye el software de BioSonicsEcoSAV diseñado para procesar información de vegetación sumergida (SAV por sus siglas en inglés). El trazo de los recorridos fue establecido a manera de "Zig-Zag" de manera radial en las zonas de islas y trazando líneas perpendiculares a la costa en el caso de los recorridos hechos en Campeche y Yucatán. Estos últimos se trazaron a manera de transectos cuya longitud varía de acuerdo con los límites de distribución de los pastos marinos. En algunos casos los transectos alcanzaron una longitud de hasta 20km, este es el caso de los "Petenes en Campeche, en otros menos de 4km, como en San Felipe

en Yucatán. El trazo se realizó siguiendo la dirección que el GPS indicaba. El GPS usado es un Magellan Professional Promark III y con este mismo también se tomaron waypoints de presencia(1) y ausencia(0) de los Pastos Marinos y la ruta seguida que incluye los transectos.

El EcoSAV está basado en el sistema de alertas tempranas de vegetación acuática sumergida (SAVEWS). El sistema incluye un GPS con cálculo diferencial (DGPS) para obtener mayor precisión en la posiciones registradas, mismas que son registradas simultáneamente con la ecosonda, y una Laptop de trabajo rudo para registrar y guardar los datos de la ecosonda y del GPS (Figura 1). Los datos obtenidos de las plantas están georreferenciados y se pueden exportar a un formato compatible con la mayoría de los softwares para sistemas de información geográfica (SIG). El algoritmo del EcoSAV reconoce la presencia ó ausencia de plantas bajo el agua y calcula los parámetros de altura de la planta, cobertura, profundidad al fondo basados en las características de la señal del eco. El transductor es el equipo que envía y recibe las señales de sonido, este debe de estar sumergido a una profundidad de 50 cm aproximadamente. La ecosonda convierte la señal recibida en un "ping" que será clasificado como "planta" (plant) ó "descubierto" (bare). Conforme se avanza, la ecosonda va registrando acoplado a la posición del DGPS y entre cada posición se hace por ciclo de 8 a 10 pings. A partir de los pings se calcula la altura promedio de la planta, la cobertura en porcentaje. Una vez hecha la clasificación se caracteriza a la vegetación acuática para generar una salida de información en formato de tabla. La tabla contiene la siguiente información:

Tabla 28: Resumen de datos obtenidos por campo. Definición de las variables de salida.

Variable de Salida	Definición						
Longitud	Longitud (grados decimales; WGS84)						
Latitud	Latitud (grados decimales; WGS84)						
Tiempo	Tiempo medio de Greenwich o tiempo local (dependiendo de la configuración del GPS)						
Día	Día del mes						
Mes	Mes						
Año	Año (cuatro dígitos)						
Ping medio	Numero de ping medio de salida						
Profundidad	Distancia (metros) entre la cara del transductor y la profundidad detectada						
Altura	Altura promedio de la planta (m) por ciclo						
Cobertura	Porcentaje de cobertura de plantas (proporción de los pings de buena calidad en el ciclo declarado como "planta"						
Descubierto	Número de pings en el ciclo los cuales fueron declarados como descubierto						
Planta	Número de pings en el ciclo los cuales fueron declarados como cubiertos por vegetación						
Fuera del agua	Número de pings en el ciclo los cuales fueron declarados como fuera del agua (mala calidad)						
	Número de pings en el ciclo los cuales fueron						
Ruido							
Ruido No clasificados	declarados como ruido (mala calidad) Número de pings en el ciclo los cuales fueron no						
	declarados como ruido (mala calidad)						

El archivo generado con el proceso de EcoSAV tiene la terminación "ODF" y se encuentra en formato ASCII que es posible abrir con Excel. El formato específico de ASCII es delimitado por comas con encabezado. Una vez abierto en Excel es manipulado para generar una sólo capa de información. Esta se convirtió a una capa de puntos en ARCGIS 9.1.

Mapas de Distribución de los Pastos Marinos

Los mapas usados inicialmente para la ubicación de colectas de pastos marinos se retomaron para sobreponer las ubicaciones de pastos detectadas en campo. Sin embargo, las escalas de los mapas y la escala detecciones en campo son muy diferentes. Estas últimas poseen una mayor resolución espacial y detalle, por lo que al sobreponerlas a los mapas de ubicación no se aprecian estas características. Por lo anterior se decidió convertir los archivos de puntos en Shapefiles de ARCGIS al formato KML que puede abrirse en GoogleEarth. Gracias a que la resolución espacial de las imágenes de GoogleEarth es mucho mayor por que hacen uso de imágenes IKONOS, GeoEye, ó RapidEye con resoluciones de un metro ó inclusive menores a un metro es posible percibir el detalle del área donde los puntos fueron registrados. Para tener una mejor percepción de los datos obtenidos en campo se uso el método cartográfico para obtener distribución de especies por lo cual se circunscribieron dentro de polígonos los puntos de presencia y ausencia de vegetación con lo cual se representan la distribución aproximada de los PM. Cabe destacar que en varios de

los casos, como es el del muestreo de la Laguna de Términos en Campeche, la vegetación sumergida no era únicamente pastos marinos, esta se encontró mezclada con la especie de alga marina *Caulerpasp*. El recorrido y poligonal de esta especie se presenta en el mapa de Laguna de Términos ya que es difícil separar las áreas en donde únicamente hay Pastos Marinos.

Una vez visualizados los puntos ó los polígonos en GoogleEarth se salvo como imagen JPG para ser incorporado dentro de los mapas de ubicación de los pastos marinos.

Resultados

Mapas de Ubicación de Áreas de Estaciones

El número de mapas de ubicación fue de 7 (Tabla 29). En estos mapas se muestra el número total de registros georeferenciados, que fue 348, con las especies de pastos marinos que están reportadas de acuerdo con las bases de datos consultadas, estas son: Halodulebeaudettei, Halodulewrightii, Halophiladecipiens, Halophilaengelmanni, Ruppiadidyma, Ruppia marítima, Syringodium filiforme, y Thalassiatestudinum. En los recorridos de campo se registró la presencia de los géneros Halodule, Syringodium y Thalassia, la identificación de las especies se trata en otro apartado de este informe. Los registros tomados con la Ecosonda son almacenados para manipularlos y analizarlos en un sistema de información geográfica (SIG). Esta información se manipulo como puntos obtenidos de la Ecosonda y traducidos por el Ecosav para detectar la presencia de vegetación sumergida obteniendo la información que se presenta en la Tabla 1. Con las coordenadas en grados decimales (gd) con hasta 5 puntos decimales con el Datum WGS84, se generaron capas de información para cada recorrido ó transecto que contiene la información de fondo marino, cobertura de planta y altura de las plantas detectadas con la Ecosonda. Con esta información se crearon 7 coberturas de puntos que corresponden con las 7 salidas al campo realizadas. Así mismo, se obtuvo el trazo del recorrido realizado y posteriormente se creó un polígono trazado en función de las coberturas de puntos para definir el área potencial de distribución de los PM.

Tabla 29: Región que abarca el mapa, tipo de imagen usada, y escala de impresión usada.

Área mostrada	Sensor de imagen usada	Año del mosaico	Escala mapa
Sistema Arrecifal Isla de Lobos, Veracruz	LANDSAT 7 ETM+	2000	1:50 000
Reserva de la Biosfera de los Petenes, Campeche	LANDSAT 7 ETM+	2000	1:150 000
Zona Arrecifal Veracruzana	LANDSAT 7 ETM+	2000	1:50 000
Sistema Arrecifal de Tuxpan, Veracruz	LANDSAT 7 ETM+	2000	1:50 000
San Felipe, Yucatán	LANDSAT 7 ETM+	2000	1:150 000
Reserva de la Biosfera de Celestún, Yucatán	LANDSAT 7 ETM+	2000	1:50 000
Laguna de Términos, Campeche	LANDSAT7ETM+	2001	1:150 000

En las siete salidas al campo realizadas se han hecho un total de 51 recorridos y 28transectos (Tabla 30, Figura 71). La diferencia entre ambas estrategias de muestreo está en la superficie y cantidad de pastos marinos (PM) que se observó, los recorridos se hicieron en distribuciones en parches ó machones, discontinuas y que abarcan superficies relativamente pequeñas y los transectos en donde la distribución de PM abarca grandes áreas, es continua y puede ó no presentarse en parches o manchones. Así en los recorridos se siguieron patrones radiales ó irregulares según se percibiera en el sitio el patrón de distribución de los pastos marinos en áreas como los arrecifes de Veracruz (Sacrificios, Isla Verde, Isla de Enmedio, Gallega, Galleguilla y Tuxpan) y en la Laguna de Términos. Un ejemplo de lo anterior se presenta en la Figura 71 con los recorridos hechos en Tamiahua, Veracruz. En esta figura se subdividió el recorrido en secciones para facilitar su manipulación. En la Tabla 30 se observa claramente que los recorridos realizados tienen una distancia mucho menor que los transectos. Los transectos se hicieron en donde la extensión de los pastos fue muy amplia como en el caso de Los Petenes, Ría Celestún, y San Felipe. Esto es evidente si sumamos los trayectos realizados en estos tres muestreos que dan una longitud de 333 km que corresponden con el 78% del todo el muestreo realizado.

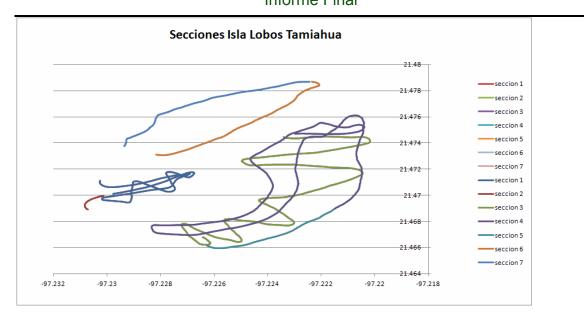


Figura 71: Recorrido realizado en Isla Lobos Tamiahua. Se muestra el trazo del recorrido y las secciones en la que fue subdividido.

El total de distancia recorrida registrando presencia ó ausencia de pastos es de 425 km de la cual 232 km son la zona de Los Petenes en Campeche que corresponde al 54% del total registrado. Así mismo, es en esta zona donde se registro la mayor distribución de PM (Tabla 31). En esta se hicieron transectos de hasta 20km de longitud registrando presencias (Figura 71).

Tabla 30: Lugares que fueron muestreados por recorrido ó transecto y las dimensiones del mismo.

Sitios de recorrido	No. de transectos ó	Longitud máxima (km)	Longitud mínima (km)	Longitud total (km)
	recorridos			
Veracruz - Sacrificios	12	0.83	0.15	7.00
Veracruz – Isla Verde	10	1.00	7.50	18.50
Veracruz – Isla Enmedio	14	1.50	0.50	15.00
Veracruz - Gallega	10	0.44	0.25	4.30
Veracruz - Galleguilla	3	-	-	1.00
Tamiahua -Tuxpan	2	-	-	16.57
Campeche 1: Los Petenes	11	20.00	13.00	232.00
Campeche 2: Laguna de Términos	3	-	-	29.45
Yucatán 1: San Felipe	12	1.25	5.04	61.50
Yucatán 2: Ría Celestún	5	11.00	2.70	39.62

Para analizar el patrón de distribución de los PM de acuerdo al muestreo realizado se graficaron las secciones (Figura 71) en función de la distancia recorrida en el

muestreo contra la cobertura de planta (cover), la profundidad del fondo marino y restando la altura de planta a la variable anterior para obtener la diferencia entre ambas. De esta manera se puede observar, a manera de perfil, la presencia de PM, su altura y cobertura en porcentaje (cover). Esta última se obtiene como se describe en la metodología. Con este gráfico se puede identificar la presencia de parches ó manchones de vegetación y donde no hay presencia, así como la densidad de la cobertura a lo largo del recorrido realizado. En la Figura 72 se presenta un ejemplo de este gráfico en el cual se observan de 3 a 4 grandes manchones de PM, 50m a 150m de largo con variaciones de cobertura de planta de 20% a 100% de cobertura y altura de las plantas de 5cm a 12cm.

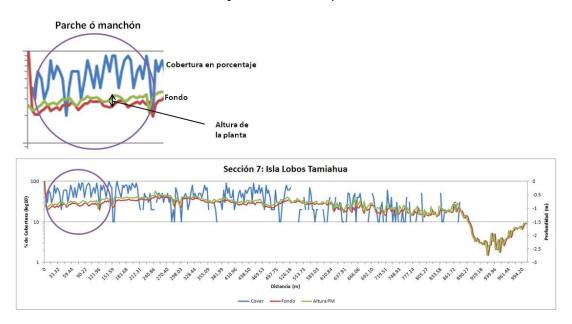


Figura 72: Perfil de la sección 7, de Isla Lobos Tamiahua, (Figura 2) que muestra la profundidad del fondo, altura de la planta y cobertura registrada con la Ecosonda y traducida con el Ecosav.

Los gráficos, como el que se presenta en la Figura 72, son muy útiles para visualizar el tipo de patrón que sigue la distribución de PM, sobre todo cuando se contrasta con los de otros muestreos realizados. Al contrastar el perfil de la sección 7 de Isla de Lobos Tamiahua con el perfil de la sección 11 de Los Petenes (Figura 75) se aprecia que la continuidad, en esta última, de los parches de PM es mucho mayor que con respecto al perfil de la Figura 72. En la Figura 80 hay muy pocos espacios entre parches de PM y la cobertura rara vez es menor a 10%, sobre todo cuando se alcanzan los 6 km (6000m en el gráfico) y la profundidad supera los 2m la cobertura es mayor al 20% y hasta del 100% hasta alcanzar los 14km de recorrido que es 14 veces más que la distancia recorrida en la sección 7 de Tamiahua, que es de 1000m (1km). Por lo anterior se percibe a distribución de PM como prácticamente continua. La altura de los PM alcanza hasta los 85cm de altura, casi 8 veces más que los PM de Tamiahua y la profundidad es de hasta 3.5m. Este patrón es muy distinto del que se presenta en el resto de los muestreos realizados.

Los promedios de altura de los PM entre los recorridos y transectos son muy variables. El promedio máximo es de 40cm en Los Petenes y el promedio mínimo es de 11cm en Isla Lobos (Tabla 32). El porcentaje de cobertura promedio máximo es 47% en Los Petenes y de 22% en Isla Verde.

Áreas de distribución

A partir de los recorridos y transectos realizados se ha obtenido mucha información acerca de la distribución de los pastos marinos (PM) en el litoral del Golfo de México. Lo que ha permitido tener una buena idea de la extensión en la distribución de los PM y nos ha arrojado información relevante para observar los patrones de distribución de las diferentes especies de PM. Para tener un cálculo aproximado de la superficie que abarcan los pastos marinos en los sitios muestreados, se decidió trazar polígonos en el sistema de información geográfica (SIG), tomando como referencia los puntos de presencia y ausencia obtenidos de la Ecosonda. Con ellos se generaron capas de polígonos a partir de los cuales se cuantifico la superficie aproximada sobre la cual se pueden presentar los PM. La variabilidad en la superficie obtenida es notable (Tabla 31) ya que la superficie obtenida de los recorridos de Isla Verde, Sacrificios, Gallega, Galleguilla, Isla de En medio, Lobos, Tuxpany Laguna de Términos suman 12.5 km² lo que representa el 1.2% del total de la superficie obtenida. Los Petenes, Ría Celestún y San Felipe suman una superficie de 1,042.8 km². La superficie total es de 1,055.0 km²distribuidos en las siete salidas al campo (Figura 73 y 74).

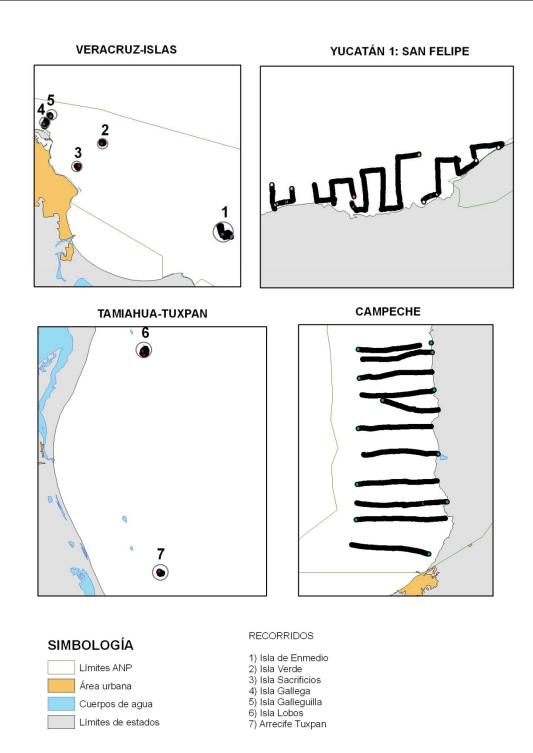


Figura 73: Ubicación de las áreas de recorridos y transectos.

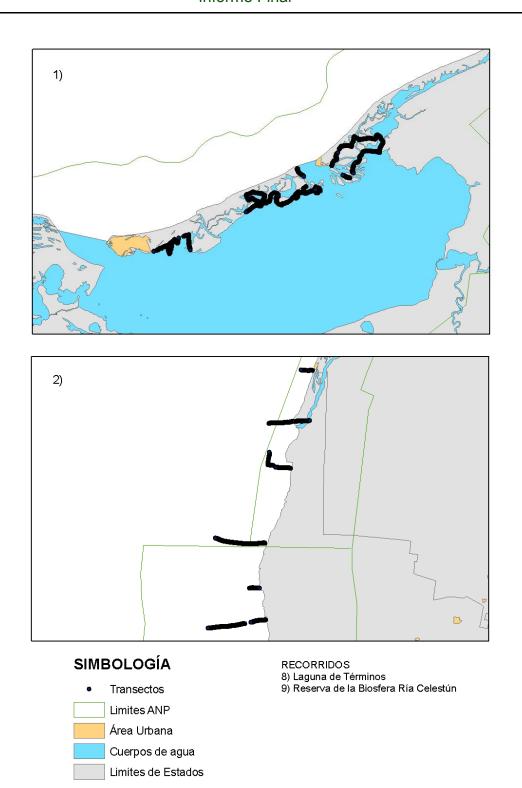


Figura 74: Ubicación de las áreas de recorridos y transectos.

Tabla 31: Superficie total muestreada a partir de los recorridos y transectos realizados con la Ecosonda Biosonic

Recorrido / transecto	Superficie (m²)	Superfici e (km²)
Isla Verde, Veracruz	315,448	0.315
Sacrificios, Veracruz	179,260	0.179
Gallega, Veracruz	246,549	0.247
Isla de Enmedio,	1,472,995	1.473
Veracruz		
Galleguilla, Veracruz	11,627	0.012
Gallega, Veracruz	86,118	0.086
Lobos, Veracruz	189,849	0.190
Lobos, Veracruz	43,010	0.043
Lobos, Veracruz	363,382	0.363
Tuxpan, Veracruz	352,623	0.353
Los Petenes, Campeche	763,434,65	763.435
	2	
San Felipe, Yucatán	64,750,723	64.751
Ría Celestún	214,636,92	214.637
	3	
Laguna de Términos	9,255,113	9.255
Total=		1,055.338

Tabla 32: Promedios de altura de la planta registrados con la Ecosonda Biosonic y porcentaje total de cobertura de vegetación cubierto en los recorridos y transectos.

Área de estudio	Promedio altura (cm)	Mínimo (cm)	Máxi mo (cm)	% de cobertura
Gallega	22	11	77	34
Isla de Enmedio	14	9	92	29
Isla Verde	22	11	131	22
Sacrificios	20	11	77	32
Isla Lobos	11	5	67	52
Tuxpan	19	5	70	30
Los Petenes	40	9	100	60
San Felipe	25	9	94	42
Ría Celestún	36	9	120	47
Laguna de Términos	23	9	175	46

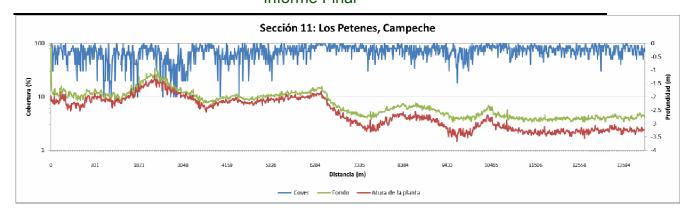


Figura 75: Perfil de la distribución de pastos marinos a lo largo de un transecto que corresponde con la sección 11 de Los Petenes.

NUTRIENTES EN AGUA Y SEDIMENTOS Y BIOMASA FITOPLANCTÓNICA EN COMUNIDADES DE PASTOS DEL GOLFO DE MÉXICO.

Responsable. Dr. José Francisco Gutiérrez Mendieta

Introducción

La mayoría de las comunidades de pastos están limitadas por nutrientes. Los pastos marinos toman los nutrientes disueltos a través de las hojas y las raíces, estando la ruta dominante determinada por la especie de nutriente de que se trate así como su concentración (Alongi, 1998). Si las concentraciones de nutrientes son altas en la columna de agua, entonces dominará la captación a través de las hojas. Por el contrario, si los niveles de nutrientes son bajos, la captación se llevar a cabo mediante las raíces.

Short (1987), estableció que los pastos que crecen en sedimentos terrígenos y en zonas templadas están limitados por nitrógeno ya que el fósforo está fácilmente disponible en este tipo de ambientes. Sin embargo, en ambientes carbonatados, en donde el fósforo está fuertemente unido al Fe en oxihidróxidos de hierro y en los trópicos en donde los niveles de fósforo son bajos, entonces aparentemente están limitados por fósforo (Duarte et al 1995).

La evidencia recabada por diversos autores (Erftemeijer y Middelbug, 1993; Erftemeijer, 1994; Erftemeijer et al, 1994) parece confirmar la afirmación de la limitación por fósforo para pastos tropicales y subtropicales, especialmente en sedimentos carbonatados. Estos estudios sugieren que la limitación por fósforo para pastos marinos en ambientes tropicales estará en función del tamaño de grano de los sedimentos, con el fósforo volviéndose limitante conforme el tamaño de grano disminuye (y aumenta la adsorción). Alternativamente, la adsorción de fósforo al hierro en oxihidróxidos en sedimentos carbonatados puede resultar en una limitación por hierro. Duarte et al (1995), encontraron que la fertilización con hierro en comunidades mixtas de pastos con hierro soluble, estimulaba el crecimiento de *Thalassiatestudinum* e incrementaba la concentración de clorofila en tejidos de *T. testudinum* y *Syringodium filiforme*. Este hecho fue atribuido a la naturalmente baja concentración de hierro disuelto en los tejidos vegetales, sedimentos carbonatados y en las aguas quesobre yacen a las comunidades de pastos.

Hasta hace unos años se consideraba que los pastos captaban nutrientes únicamente a través de las raíces, sin embargo Hemminga et al, (1991), sugieren que la captación a través de las hojas esta subestimada, ya que en experimentos encontró que bajo condiciones experimentales "casi naturales", la captación de

amonio por *Zostera marina* contribuyó entre un 68 y un 92% del total del nitrógeno captado. Otros estudios en comunidades de *Zostera marina* en Europa sugieren la captación vía las hojas. En virtud de que estas comunidades tienen una alta relación biomasa superficial/biomasa subterránea, otras comunidades con una proporción mayor biomasa de raíces y rizomas puede comportarse de manera diferente.

La concentración relativa de fósforo en el agua y los sedimentos determinan si las hojas o las raíces de los pastos son los sitios principales de captación de nutrientes. Estudios recientes muestran que, al menos para *Zostera*, la mayor parte del fósforo asimilado durante el crecimiento y el metabolismo es incorporado en las hojas, con menores concentraciones retenidas en los rizomas y raíces, solo una pequeña fracción es liberada a la columna de agua (Alongi, 1998).

Los pastos marinos obtienen principalmente el Nitrógeno (N) y el Fósforo (P) en forma inorgánica del agua intersticial presente en los sedimentos (especialmente como amonio, NH4 $^{+}$) y de la columna de agua (principalmente nitratos, NO $_{3}^{-}$ y fosfato PO $_{4}^{3-}$) (Romero et al., 2006). Las concentraciones de nutrientes en los sedimentos están frecuentemente entre 10 y 100 veces más elevadas que en la columna de agua (Sand-Jensen y Borum, 1991). Los niveles de fosfatos en ambientes de pastos marinos se encuentran típicamente en un intervalo de 0.1 a 1.7 μ M en la columna de agua, con concentraciones más elevadas en los sedimentos (0.3 a 20 μ M PO4 $^{-3}$) (Touchette y Burkholder, 2000). Por su parte las concentraciones de amonio varían de 0 a 3.2 μ M en la columna de agua y de 1 a 180 μ M NH $_{4}^{+}$) (Touchette y Burkholder, 2000), dependiendo de las características de los sedimentos (especialmente el contenido de materia orgánica) y la composición de la comunidad.

Diversos estudios han mostrado el efecto del enriquecimiento de nutrientes en las interacciones competitivas así como cambios en la composición de la comunidad de pastos marinos (Hemminga y Duarte, 2008). En ambientesmulti-específicos el efecto de la disponibilidad de nutrientes en el crecimiento de especies individuales puede tener impacto en la composición de la comunidad, incluyendo aspectos tales como la dominancia o exclusión de especies (Fourgurean *et al.* 1995).

Por lo anterior en el presente trabajo se presenta una caracterización de la columna de agua (nutrientes y clorofila a) y del ambiente sedimentario en el que se presentan las comunidades de pastos en términos de las concentraciones de nutrientes intersticiales (amonio y fosfatos) en sitios con y sin pastos.

Metodología

En cada estación se colectaron núcleos de sedimentos de 20-30 cm de longitud, los cuales se mantuvieronen refrigeración, tapados de manera hermética en ambos extremos y en posición vertical, tratando de modificar lo menos posible la

estructura de los mismos y trasladados al laboratorio.

En el laboratorio, los núcleos se segmentaron horizontalmente en dos fracciones (<10 cm y 10-20 cm), dependiendo de las características aparentes (secciones) de los núcleos. Previo a su procesamiento se tomaron fotografías y se hicieron descripciones detalladas de los mismos. A lo largo de todo el procesamiento, con el fin de evitar la oxidación de los sedimentos así como del agua intersticial y que se alteren sus características químicas, se mantuvieron bajo un ambiente libre de oxígeno mediante bolsas plásticas en las que se mantuvo un flujo constante de nitrógeno (N_2). El procesamiento se realizó lo más rápido posible.

Las fracciones de sedimentos se colocaron en tubos de centrífuga, se purgaron con nitrógeno, se cerraron herméticamente. Posteriormente se centrifugaron a 5,000 rpm por 30 minutos. Posterior a la centrifugación, se extrajo y filtró el agua intersticial mediante jeringas equipadas con filtros en línea (GF/F) y se procesaron para cuantificar los nutrientes (NH₄ $^+$ y PO₄ $^{3-}$) de acuerdo a las técnicas propuestas por Strickland y Parsons (1972).

Paralelamente, en cada estación y punto de muestreo se tomaron muestras de agua con el fin de cuantificar las concentraciones de nutrientes y biomasa fitoplanctónica (Clorofila a), que fueron evaluados de acuerdo con Strickland y Parsons (1972) y SCOR-UNESCO, 1980, respectivamente.

Análisis estadísticos. Se realizó un análisis estadístico descriptivode los datos y se comprobó la normalidad de los mismos con la prueba modificada de Levene. Con base en los resultados se realizaron, en su caso Análisis de Varianza paramétrica o no paramétrica (Kruskal-Wallis)con el fin de determinar diferencias significativas en las concentraciones de nutrientes (amonio y fósforo reactivo soluble) entre los distintos sitios de muestreo, así como con la presencia de una dos o tres especies de pastos de algas. Adicionalmente, se hicieron pruebas de t-student y Mann-Whitney para determinar diferencias significativas en las concentraciones de nutrientes para los distintos estratos del sedimento (<10 y >10 cm).

Resultadosy Discusión

En la Tabla 33, se presentan las concentraciones de nutrientes registradas en los diferentes sitios de muestreo, así como el promedio general. La Tabla 34 presenta los promedios por sitios de muestreo agrupados por estado.

Biomasa fitoplanctónica (Clora).

El promedio general de la biomasa fitoplanctónica (Clora) fue de 1.61 μ g/l. El promedio de los sitios analizados en los tres estados es de 2.87, 1.46 y 1.11 μ g/l para Veracruz, Campeche y Yucatán respectivamente, siendo las concentraciones en Veracruz significativamente diferentes (p<0.05; Tabla 35) de los otros dos

estados (Figura 76). Las concentraciones de clorofila son bajas y dentro de los rangos normales para este tipo de ambientes y similares a los reportados por diversos autores (Ojeda et al, 2010).

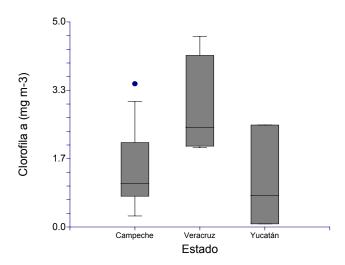


Figura 76: Diagramas de caja y bigote que muestra la distribución de las concentraciones de clorofila a, por cada uno de los estados muestreado.

Nutrientes en agua.

En el caso de los Silicatos, tienen un promedio general de 3.57 μ M. El estado de Campeche presenta la mayor concentración promedio con 3.67 μ M, mientras que Veracruz y Yucatán presentan promedios de 3.31 y 3.27 μ M respectivamente, existiendo diferencias significativas entre los tres estados (Figura 77; Tabla 35). Las concentraciones de silicatos son bajas y reflejan la escasa influencia dulceacuícola presente en las diversas zonas muestreadas.

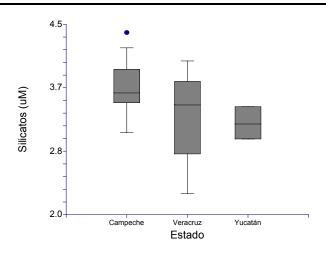


Figura 77: Diagrama de caja y bigote que muestra la variación de las concentraciones de silicatos por estado.

En el caso de los nitritos, las concentraciones son bajas ya que su promedio es de 0.09 μ M con valores mínimos entre **no detectables** y 0.20 μ M, siendo las concentraciones entre los tres estados significativamente diferentes (Figura78; Tabla 35). Los nitratos por su parte tienen una concentración promedio de 4.75 μ M, siendo los sitios ubicados en Yucatán los que presentan una mayor concentración (6.37 μ M), seguidos por Veracruz y Campeche con 4.68 y 4.5 μ M respectivamente, sin existir diferencias entre los tres estados (Figura 79; Tabla 35). Las concentraciones se encuentran en el rango de los valores reportados para zonas costeras similares (Aranda-Cicerol et al., 2006).

La concentración de amonio fue la más elevada de las tres formas nitrogenadas de nutrientes, ya que su concentración promedio fue de 11.20 μM , con un máximo y mínimo de 42.27 y 2.29 μM respectivamente. Por estado, las concentraciones en Campeche y Yucatán son muy similares con 12.18 y 11.94 μM respectivamente, mientras que en Veracruz se presentan las menores concentraciones con 5.24 μM , sin embargo no existen diferencias estadísticas entre los tres estados (Figura 80; Tabla 35). En el caso del amonio, los valores registrados son superiores a los reportados en estudios similares, sin embargo pocos estudios han medido las concentraciones directamente arriba de las praderas de pastos y en zonas someras del Golfo de México como el presente estudio.

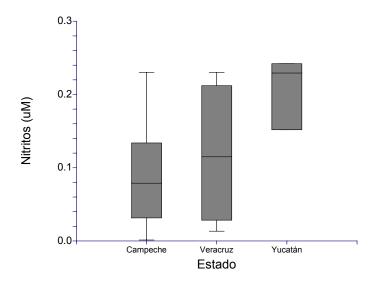


Figura 78: Diagrama de caja y bigote que muestra la variación de las concentraciones de nitritos por estados.

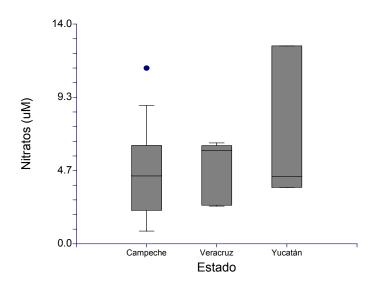


Figura 79: Diagrama de caja y bigote que muestra la variación de las concentraciones de nitratos por estado.

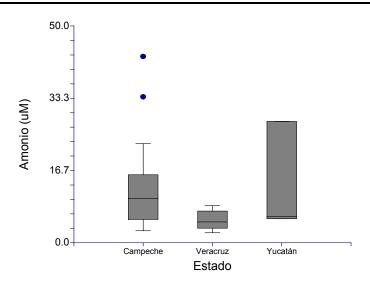


Figura 80: Diagrama de caja y bigote que muestra la variación de las concentraciones de amonio por estado.

Por último, las concentraciones de ortofosfatos tienen una concentración promedio de $0.62~\mu$ Mcon un máximo y mínimo de $3.70~y~0.03~\mu$ Mrespectivamente. Al igual que en el caso de amonio y nitratos, no existieron diferencias entre los sitios de muestreo en los tres estados (Figura 81; Tabla 35). Al igual que con la mayoría de los nutrientes registrados en este estudio, las concentraciones se encuentran en el rango de los valores reportados para zonas costeras similares (Aranda-Cicerol *et al.*, 2006).

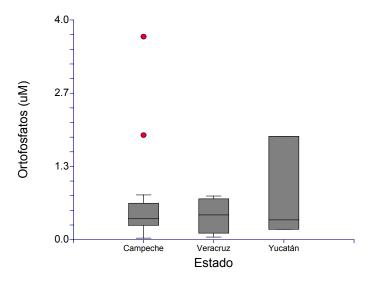


Figura 81: Diagrama de caja y bigote que muestra la variación de las concentraciones de ortofosfatos por estado.

La Tabla 36 muestra una comparación de las concentraciones de nutrientes en columna de agua en zonas con presencia de comunidades de pastos marinos reportadas por diversos autores, en ella se puede apreciar que con excepción del amonio, las concentraciones registradas en el presente estudio se encuentran en un intervalo similar, sin embargo, estos resultados son preliminares y se requiere de un mayor número de muestreos y sitios con el fin de poder hacer mayores generalizaciones.

Tabla 33: Concentraciones promedio, máximo y mínimo de nutrientes y biomasa fitoplanctónica por sitio de muestreo en comunidades de pastos marinos del Golfo de México.

	Clorofila a	Silicatos	Nitritos	Nitratos	Amonio	Ortofosfatos
Estado	μ g /L	μΜ	μM	μM	μM	μΜ
Campeche						
Promedio	1.46	3.67	0.07	4.50	12.18	0.63
Máximo	3.49	4.39	0.19	11.19	42.97	3.70
Mínimo	0.27	3.08	0.00	0.81	2.76	0.03
Veracruz Promedio Máximo Mínimo	2.87 4.65 1.94	3.31 4.02 2.28	0.10 0.19 0.01	4.68 6.43 2.40	5.24 8.55 2.29	0.44 0.79 0.05
Yucatán						
Promedio	1.11	3.27	0.16	6.37	11.94	0.66
Máximo	2.49	3.48	0.20	12.61	27.99	1.88
Mínimo	0.15	5.99	0.20	7.18	11.08	0.38

Tabla 34: Resumen de los análisis estadísticos realizados.

Parámetro	Tipo de prueba	G.L.	Valor de P
Clorofila a	Paramétrica	2	0.03*
Silicatos	Paramétrica	2	0.03*
Nitritos	Paramétrica	2	0.03*
Nitratos	Paramétrica	2	0.41
Amonio	No paramétrica	2	0.10
Ortofosfatos	No paramétrica	2	0.98

^{* =} Estadísticamente significativa (α = 0.05).

Nutrientes en agua intersticial.

Las concentraciones promedio de amonio en los primeros centímetros de profundidad de los sedimentos fueron mayores en Tuxpan (2831 μ M) y menores en Campeche con 982 μ M, mientras que entre 10 y 20 cm fueron en la Laguna de Términos (3556 μ M), y los menores se presentaron en Celestún con 222 μ M.

Estas concentraciones de N se encuentran muy por arriba del valor de limitación del crecimiento (100 μ My 500 μ M) sugerida por Dennison *et al.* (1987) y Williams y Ruckelshaus (1993) respectivamente para praderas de *Haloduleuninervis*, *Zostera capricorni* y *Cymodoceaserrulata*. De la misma manera, las concentraciones defósforo reactivo soluble (FRS) registradas en este estudio son mayoresa las establecidas por Fourqueran *et al.* (1992) lascuales sugieren limitación por P. El valor de la relación N:P en el agua intersticial mostró una alta variabilidad (C.V. 400%) sin embargo el valor de la mediana (86 μ M) sugiere limitación por P pero esto es tentativo y requiere posterior verificación.

En el caso del (FRS) las concentraciones en la parte superior de los sedimentos las mayores concentraciones se presentaron en Celestún con 96.02 μ M, mientras que las menores se presentaron en Campeche con 7.14 μ M. En la parte inferior de los sedimentos la Laguna de Términos presento las mayores concentraciones con 116.74 μ M, mientras que las menores se presentaron en Campeche con 5.99 μ M.

A pesar de estas variaciones entre sitiossólo la Laguna de Términos presentó diferencias significativas en la concentración de amonio y FRS (Tabla 36, Figura 82). En lo que respecta a las diferentes profundidades, las concentraciones de amonio y FRS son diferentes entre la capa superficial con la profunda en Celestún, así como en las concentraciones de amonio en San Felipe (Tabla 36; Figura 84).

En la Tabla 38, se presenta la comparación de los resultados obtenidos en el presente estudio con los reportados por diversos autores. En general los valores registrados en este estudio son más altos que los reportados (>1000), sin embargo en el rango normal de acuerdo con Romero et al (2007). Es importante mencionar que la mayoría de los estudios se han efectuado en latitudes templadas, así como en hábitats en donde dominan especies diferentes (*Cymodoceaserrulata*, *Zoostera marina*, *Z. capricorni*, *Enhaulusacoroides*) a las registradas en el presente estudio (*Thalassiatestudinum*, *Syringodium filiforme*) (Touchette y Burkholder, 2000).

Short et al (1993), en praderas de *Syringodium filiforme*, registraron que las concentraciones de amonio fueron cuatro veces menores durante el máximo de la temporada de crecimiento; asimismo, detectaron que los niveles de amonio fueron más altos y variables en los primeros 5 cm de los sedimentos mientras que en los estratos de 5-10 y 10-15 cm las concentraciones de amonio fueron bajas en el verano y altas en el invierno. En el caso de las concentraciones de fosfatos, éstas no mostraron un patrón consistente. Estos cambios estacionales en el contenido de nutrientes intersticiales (además de la biomasa y tamaño de las hojas y la composición de nitrógeno del tejido), estuvieron significativamente correlacionados con un modelo basado en los cambios anuales de la luz, y más del 60% de esta variación era atribuible al patrón de anual de luz.

Informe Final

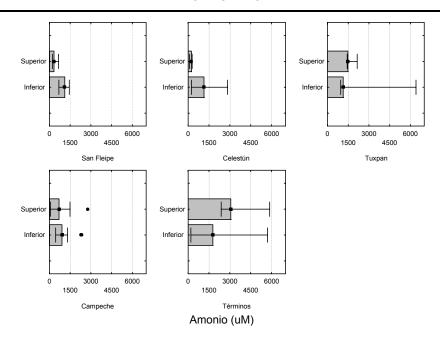


Figura 82: Concentraciones de amonio en agua intersticial en la parte superior (<10 cm) e inferior (> 10 cm) en comunidades de pastos marinos del Golfo de México.

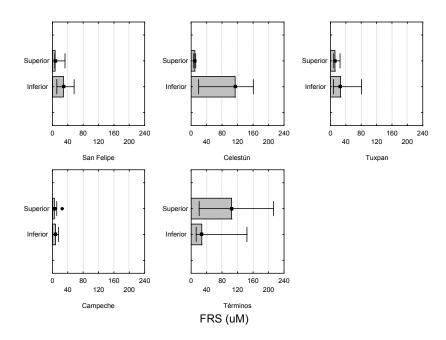


Figura 83: Concentraciones de fósforo reactivo soluble (FRS) en agua intersticial en la parte superior (<10 cm) e inferior (> 10 cm) en comunidades de pastos marinos del Golfo de México

Informe Final

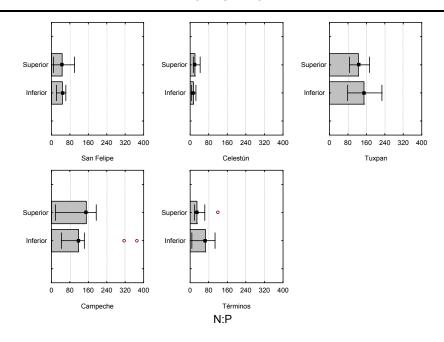


Figura 84: Relación N:P en agua intersticial en la parte superior (<10 cm) e inferior (> 10 cm) en comunidades de pastos marinos del Golfo de México

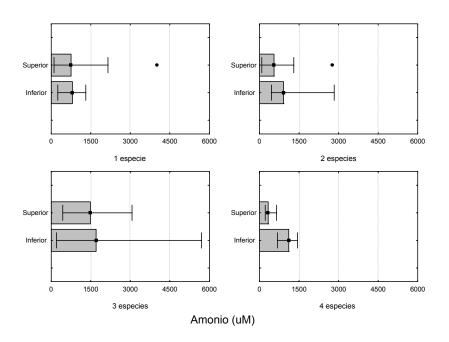


Figura 85: Concentraciones de amonio en agua intersticial en la parte superior (<10 cm) e inferior (> 10 cm) en función de la composición de la comunidades por una, dos, y tres especies de pastos y tres especies más macroalgas (4 especies) en comunidades de pasto

Informe Final

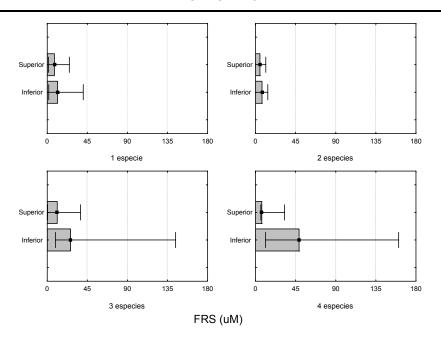


Figura 86: Concentraciones de amonio en agua intersticial en la parte superior (<10 cm) e inferior (> 10 cm) en función de la composición de la comunidades por una, dos, y tres especies de pastos y tres especies más macroalgas (4 especies) en comunidades de pasto

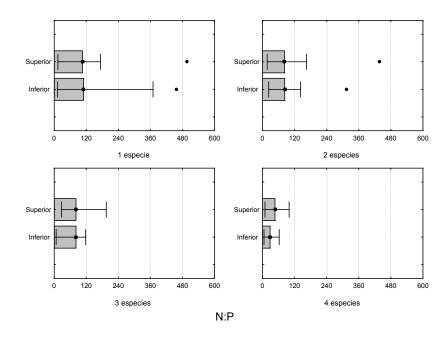


Figura 87: Concentraciones de amonio en agua intersticial en la parte superior (<10 cm) e inferior (> 10 cm) en función de la composición de la comunidades por una, dos, y tres especies de pastos y tres especies más macroalgas (4 especies) en comunidades de pasto

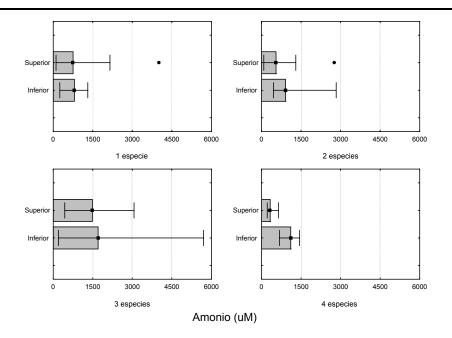


Figura 88: Concentraciones de amonio en agua intersticial en la parte superior (<10 cm) e inferior (> 10 cm) en función de la composición de la comunidades por una, dos, y tres especies de pastos y tres especies mas macroalgas (4 especies) en comunidades de pasto

Tabla 35: Concentraciones promedio, máximo y mínimo de nutrientes en agua intersticial de diferentes localidades del Golfo de México.

			Amonio	FRS
Localidad		Estrato		
			(μM)	(µM)
San Felipe	Promedio	Inferior	1084	31.32
	CV%	IIII EIIOI	29.41	67.87
	Promedio	Superior	399.7	13.48
	CV%	Superior	43.84	82.61
Celestún	Promedio	Inferior	1397	96.02
	CV%	IIIIeiloi	79.39	63.15
	Promedio	Cupariar	222.3	9.55
	CV%	Superior	39.87	27.37
Tuxpan	Promedio	Inferior	2832	35.35
	CV%	IIII EIIOI	109.4	94.98
	Promedio	Superior	1687	14.97
	CV%	Superior	23.89	58.32
Campeche	Promedio	Inferior	982	7.14
	CV%	IIIIeiloi	54.82	67.58
	Promedio	Superior	925.	5.99
	CV%	Superior	75.78	93.76

Tabla 36: Resumen de análisis estadísticos realizados a los distintos estratos de los distintos sitios

Sitio	Parámetro	Tipo de prueba	Tipo de prueba G.L.	
Camanasha	Amonio	Paramétrica	1	0.48
Campeche	FRS	Paramétrica	1	0.69
Celestún	Amonio	No Paramétrica	1	0.03
	FRS	No Paramétrica	1	0.02
San Felipe	Amonio	Paramétrica	2	0.00
	FRS	Paramétrica	2	0.17
Términos	Amonio	Paramétrica	1	0.64
	FRS	Paramétrica	1	0.21
Tuxpan	Amonio	Paramétrica	1	0.35
	FRS	Paramétrica	1	0.36

Tabla 37: Resumen de análisis estadísticos realizados separados por sitios y números de especies de pastos presentes de muestreo

Parámetro	Categoría	Tipo de Prueba	G. L.	Valor de P	Grupo(s) distinto (s)
Amonio	Sitio	No paramétrica	4	0.0000	Términos
FRS	31110	No paramétrica	4	0.0000	Términos
Amonio	No Do osposios	Paramétrica	3	0.0168	3 especies
FRS	No. De especies	Paramétrica	3	0.4074	-

^{*} La prueba de supuestos es la de Levene

Tabla 38: Concentraciones promedio de nutrientes reportadas en comunidades de pastos marinos.

Nutriente	Columna de agua	Agua intersticial	Referencia
	μΜ	μM	
NH ₄ ⁺	3.1	86	Hemminga y
			Duarte, 1998
NO ₃ -	2.7	12	Hemminga y
			Duarte, 1998
PO ₄ ³⁻	0.35	3.4	Hemminga y
			Duarte, 1998
NH ₄ ⁺	1.7	60	Hemminga, 1998
PO ₄ ³⁻	0.35	6.5	Hemminga, 1998
NH ₄ ⁺	Baja a variable	1-1000	Romero et al, 2007
NO ₃ -	0.0-5.0	Escaso	Romero et al, 2007
PO ₄ ³⁻	0.0-0.4	Hasta 20.0	Romero et al, 2007
NH ₄ ⁺	11.2	1274.12	Este estudio
PO ₄ ³⁻	0.62	19.31.	Este estudio

Conclusiones

Los resultados que se presentan en el presente reporte muestran una primera aproximación a las concentraciones de nutrientes tanto en agua como en sedimentos en ambientes de pastos marinos del Golfo de México. Los muestreos efectuados hasta el momento se realizaron en diferentes sitios y épocas climáticas, así como en diferentes épocas de crecimiento de estas comunidades.

Las concentraciones promedio registradas hasta el momento son superiores a las registradas en la literatura, sin embargo la mayoría de estos estudios se han efectuado en diferentes latitudes y composiciones específicas distintas, lo cual limita por el momento la comparación de los mismos. Sin embargo, es de esperarse que con un mayor número de muestreos en los mismos sitios, así como en diferentes épocas de crecimiento de los pastos a lo largo del año, será posible establecer patrones generales y por lo tanto una mejor caracterización de las concentraciones de nutrientes en agua y sedimentos en comunidades de pastos en México, ya que hasta el momento para nuestro país no se cuenta con datos de nutrientes en agua intersticial en comunidades de pastos marinos.

ECOLOGÍA BACTERIANA EN LECHOS DE PASTOS MARINOS

Responsable. Dra. Rocío Torres Alvarado.

Introducción

Los pastos marinos representan un componente clave de los ecosistemas costeros a nivel mundial. Los pastos marinos proporcionan un hábitat complejo para diversos macroorganismos (Nakaoka, 2005), protegen la línea de costa, contribuyen a mitigar la eutrofización (Kaiser *et al.*, 2005) y son capaces de fijar cantidades significativas de CO₂ atmosférico dentro de material celular, contribuyendo a disminuir sus niveles y actuar como un sumidero de carbono (Guy, 2010). La capacidad de los lechos de pastos marinos de servir como un sumidero de carbono depende básicamente de la cantidad de materia orgánica acumulada en el sedimento y de la actividad de la micro biota bentónica (Larkum *et al.*, 2006). La micro biota bentónica está compuesta por miembros de los dominios *Bacteria*, *Archaea*, Hongos, protistas y virus.

Las comunidades de pastos marinos están en contacto directo con la comunidad bacteriana bentónica de los sedimentos que habitan, en donde la zona de la rizósfera crea una red de raíces y rizomas que afecta los procesos biogeoquímicos bentónicos y éstos a su vez repercuten en la dinámica de las comunidades de pastos marinos (Danovaro, 1996).

Antecedentes

Se ha reconocido la importancia de las comunidades de pastos marinos en los ecosistemas costeros y estuarinos, donde actúan como productores primarios y proporcionan un enlace entre los ciclos de los nutrientes de la columna de agua y el sedimento; también son estabilizadores de los sedimentos y ofrecen un hábitat de protección para diversos invertebrados y peces. Asimismo se ha analizado la declinación reciente en su distribución a nivel mundial, como consecuencia de la eutrofización, contaminación y por destrucción del hábitat derivado del desarrollo costero (Orth & Moore, 1983; Fonseca et al., 1992; Duffy, 2006); sin embargo poco se ha estudiado sobre la importancia de la comunidad microbiana y su relación con la estructura y función de los pastos (Küsel et al., 1999).

La comunidad microbiana juega un papel fundamental en los sedimentos asociados a la presencia de pastos marinos, ya que es la responsable de la oxidación del carbono orgánico y del reciclamiento de los nutrientes tanto por procesos aerobios como anaerobios, habiéndose reportado una elevada actividad bacteriana en sedimentos colonizados por pastos marinos en comparación con sedimentos sin vegetación (Hansen *et al.*, 2000).

Debido a que las raíces de los pastos se encuentran en sedimentos anóxicos, altamente reducidos, las bacterias anaerobias son las más importantes y dentro de

éstas los sulfatos reductores constituyen el grupo dominante. En los medios marinos la sulfato reducción es la responsable de la mineralización del 50% o más de la materia orgánica (Jørgensen, 1982; Welsh, 2000; Canfield *et al.*, 2005). Diversos estudios han demostrado que la sulfato reducción puede ser estimulada por el aporte de carbono orgánico que se deposita a partir del perifiton localizado en las hojas de los pastos marinos, así como de la exudación de ácidos orgánicos derivados de las raíces (Holmer & Nielsen, 1997; Küsel *et al.*, 1999; Jensen *et al.*, 2007). Únicamente en sedimentos con *Thalassia hemprichii* la sulfato reducción no se ha visto estimulada al aumentar el aporte orgánico (Holmer *et al.*, 2001). Aunado a lo anterior se ha establecido que la variación diurna del proceso de sulfato reducción en lechos de pastos marinos tropicales es un proceso relacionado con la temperatura y la intensidad luminosa que promueven la excreción de fotosintetatos (Moriarty *et al.*, 1986; Blackburn *et al.*, 1994).

Los estudios que relacionan la actividad sulfato reductora con la estructura y función de los patos marinos se ha investigado poco en sedimentos carbonatados (García-Martínez *et al.*, 2009) y en México estos trabajos son inexistentes. Con base en lo anterior el objetivo del presente trabajo es analizar la abundancia de las bacterias sulfato reductor en sedimentos asociados a la presencia de vegetación, estableciendo su proporción con respecto a la abundancia total dela micro biota y su relación con el contenido de carbono orgánico y la estructura de las comunidades de pastos marinos.

Métodos

Trabajo de campo.

Las muestras para los análisis microbiológicos se colectaron con un nucleador constituido por un tubo de acrílico de 20 cm de longitud y 4.5 cm de diámetro interno. Las muestras se colectaron en sedimentos asociados a lechos de pastos marinos, así como en una zona sin presencia de pastos que se utilizó como control. Las muestras se conservaron a baja temperatura (≈ 4°C) hasta su procesamiento en el laboratorio.

Trabajo de laboratorio.

Cada uno de los núcleos colectados, con una columna de sedimento aproximadamente de 20 cm de longitud, se dividieron en dos estratos bajo una atmósfera de nitrógeno: 0-10 cm (superficie) y 10-20 cm (fondo). El sedimento se homogenizó y se procedió a la inoculación para el análisis de la abundancia de la micro biotasulfato reductora.

El estudio de las bacteriassulfato reductoras(BSR) se efectuó a través de su enumeración con la técnica del Número Más Probable (NMP), utilizando el medio selectivo de Ravot *et al.* (1995). Se trabajó con diluciones de la muestra (10⁻¹ a 10⁻¹⁰), con tres tubos por dilución y empleando los controles respectivos (sin sustrato). Los medios anóxicos se prepararon con la técnica modificada de Hungate (1969). El sustrato analizadofueacetato para las muestras de Tuxpan y Veracruz; para las demás muestras se empleo lactato, ya que es un sustrato más

generalizado al ser el principal producto que se libera durante la fermentación de la materia orgánica. El crecimiento en los tubos de cultivo se determinó mediante la producción del ácido sulfhídrico (Cord-Ruwisch, 1985) después de 14 días de incubación a 32°C.

A la par de la cuantificación de la micro biotasulfato reductora se determinó en las muestras de sedimento el contenido de sólidos fijos totales (fracción inorgánica), sólidos volátiles totales (fracción orgánica) y carbonatos, mientras que en el agua intersticial se evaluó la concentración de ácido sulfhídrico (APHA, 1989; Cord-Ruwisch, 1985). La finalidad de dichos análisis fue tener información adicional sobre el hábitat de las BSR. Es importante mencionar que dichas evaluaciones no estaban comprometidas en el proyecto.

Adicionalmente se llevará a cabo el conteo de las células bacterianas totales en las muestras de sedimento utilizando la técnica de Epstein y Rossel (1995) siguiendo las modificaciones propuestas por Zhang et al. (2008). Las muestras de sedimento fijadas con formaldehido (4% concentración final) serán diluidas con agua marina sintética y esterilizada (1:20), posteriormente serán sometidas a una agitación en un sonicador con hielo (4 pulsos, cada uno con 20 s de sonicación y 10 s de descanso). El sobrenadante será colectado y se teñirá con el fluorocromo 4,6-diamino-2-fenilindol (DAPI) y filtrado a través de filtros de policarbonato negros de 0.22 µm. Las células bacterianas serán numeradas con un microscopio fluorescente.

Resultados y Discusión

En la Tabla 39 se presentan los intervalos de los niveles de lasBSRcuantificados en el presente estudio en los lechos de pastos marinos para las diferentes regiones del Golfo de México. Con base en éstos se observó que la variación es mayor, en comparación con otros estudios, para el grupo fisiológico que emplea lactato; en el caso de las BSR acetoclásticas la variación fue semejante a la reportada por diversos autores.

Informe Final

Tabla 39: Abundancia de las bacterias sulfato reductoras (BSR) en sedimentos costeros.

Abundancia	Zona	Características	Referencia	
Células/g				
BSR- UTILIZADORAS DE LACTATO				
8.6x10⁵-1.9x10 ⁷	Santa Rosa Sound, Florida	Sedimento poco impactado por la contaminación, con un lecho de pasto marino dominado por Halodule wrightii con Thalassia testudinum	Küsel <i>et al.</i> , 1999	
7.0-9.0x10 ⁷	Santa Rosa Sound, Florida	Lechos de <i>Thalassia</i> testudinum	Smith et al., 2004	
2.4x10 ⁷ -1.6x10 ¹²	Campeche	Lechos de <i>Thala</i> ss <i>ia</i> y <i>Syringodium</i>	Este studio	
1.5x10 ⁸ -1.3x10 ¹¹	Yucatán	Lechos de <i>Thalassia</i> , <i>Syringodiumy Halodule</i>	Este studio	
BSR- UTILIZADORAS DE ACETATO				
4.9x10 ⁶ -1.1x10 ⁸	Santa Rosa Sound, Florida	Sedimento poco impactado por la contaminación, con un lecho de pasto marino dominado por Halodule wrightii con Thalassia testudinum	Küsel <i>et al.</i> , 1999	
7.0-9.0x10 ⁷	Santa Rosa Sound, Florida	Lechos de Thalassiatestudinum	Smith <i>et al.</i> , 2004	
2.8x10 ⁵ - 5x10 ⁸	Veracruz	Lechos de <i>Thalassia</i> testudinum	Este estudio	

En relación a la distribución de la abundancia sulfato reductora, losniveles más bajosse registraron en el estado de Veracruz, seguido por Yucatán y Campeche (Figura 89).

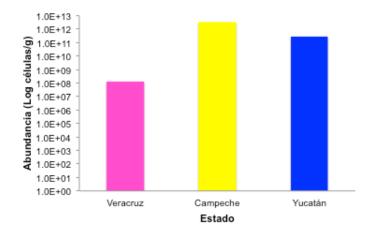


Figura 89: Abundancia de las bacterias sulfato reductoras en sedimentos asociados a pastos marinos para diferentes zonas del Golfo de México.

En lo que respecta al comportamiento por localidad en Veracruz las BSR fueron el 67.6% del total en Tuxpan y el 31.4% en la zona de arrecifes del Puerto de Veracruz. Las zonas de pastos de Tamiahua y Antón Lizardo registraron las abundancias más bajas (Figura 90).

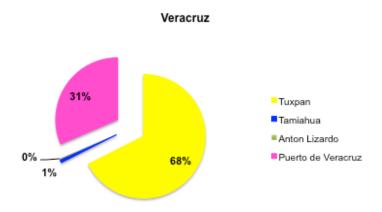


Figura 90: Abundancia de las bacterias sulfato reductoras en sedimentos asociados a pastos marinos paralas diferentes localidades del estado de Veracruz.

A pesar de que la máxima abundancia sulfato reductora se cuantificó en las localidades de Tuxpan y en los arrecifes del Puerto de Veracruz, la cantidad de ácido sulfhídrico en éstas fue menor en comparación con Antón Lizardo y Tamiahua (Figura 91).

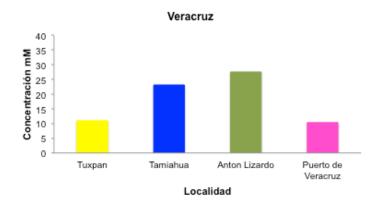


Figura 91

En Campeche la mayor abundancia, con respecto al total, se presentó en Peten Neyac (51.6%), seguido por Nitún y El Seco (ambos con un 19.4%), la Laguna de Términos (5.7%) e Isla Arena (3.9%). En el resto de las localidades las BSR representaron menos del 0.01% del total (Figura 92). Aunado a lo anterior, en las localidades donde se cuantificóla mayor abundancia de la biota sulfato reductora, la concentración de ácido sulfhídrico también fue alta (Figura 93).

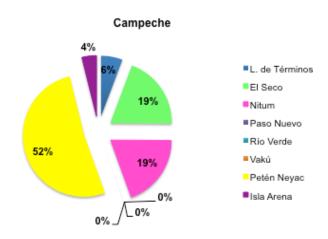


Figura 92: Abundancia de las bacterias sulfato reductoras en sedimentos asociados a pastos marinos paralas diferentes localidades del estado de Campeche.

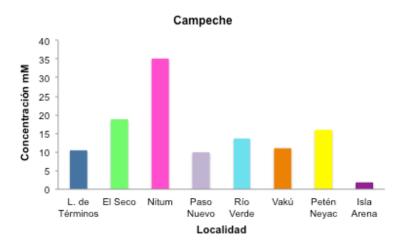


Figura 93: Concentración promedio de ácido sulfhídrico en el agua intersticialde sedimentos asociados a pastos marinos paralas diferentes localidades del estado de Campeche.

En Yucatán las localidades de San Felipe y Bocana tuvieron los niveles más altos de la micro biotasulfato reductora, representando el 47.2% y el 42.7% del total,

respectivamente. Aunado a lo anterior en Bocana también se determinó la mayor concentración de ácido sulfhídrico (Figura 95).

Es importante mencionar que los niveles de ácido sulfhídrico evaluados en Yucatán fueron bajos en comparación con los determinados en las zonas de Campeche y Veracruz.

Cuantitativamente la sulfato reducción es el mecanismo más importante en la mineralización anaerobia de la materia orgánica en sedimentos costeros asociados a lechos de pastos marinos. La abundancia y actividad de la microbiota responsable de dicho proceso se ha relacionado con la temperatura, la intensidad luminosa y con la biomasa tanto de las hojas como de la rizósfera de los pastos.

Con respecto a la temperatura se ha determinado que en condiciones cálidas se favorece el crecimiento microbiano, mientras que la luz contribuye a la liberación de exudados orgánicos durante el proceso de la fotosíntesis. La biomasa vegetal contribuye de dos diferentes maneras para la sulfato reducción, ya que la biomasa situada sobre el sedimento (principalmente hojas) incrementa la abundancia de BSR porque aporta materia orgánica; por el contrario, se ha establecido una relación negativa entre la abundancia de las BSR y la biomasa de la rizósfera, ya que ésta favorece la introducción de oxígeno al sedimento que limita el crecimiento microbiano anaerobio (Blaabjerg *et al.*, 1998; Holmer *et al.*, 2003; Smith *et al.*, 2004).

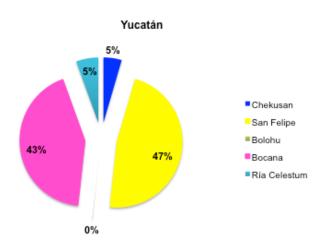


Figura 94: Abundancia de las bacterias sulfato reductoras en sedimentos asociados a pastos marinos paralas diferentes localidades del estado de Yucatán.

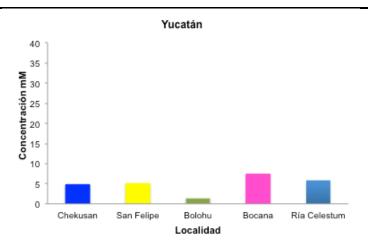


Figura 95: Concentración promedio de ácido sulfhídrico en el agua intersticialde sedimentos asociados a pastos marinos paralas diferentes localidades del estado de Yucatán.

Con respecto a la distribución vertical de las BSR, ésta no fue uniforme para las diferentes regiones, ya que en Yucatán y Veracruz la micro biotasulfato reductora fue más abundante en el estrato del fondo (10-20 cm) en comparación con Campeche donde dominó en los diez primeros centímetros (Figura 96).

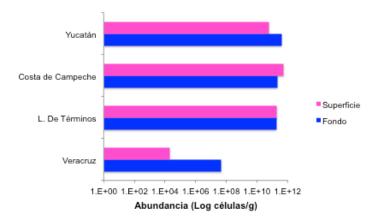


Figura 96: Distribución vertical de las bacterias sulfato reductoras en sedimentos asociados a pastos marinos para diferentes zonas del Golfo de México.

Al respecto se ha reportado que el 85% del proceso de sulfato reducción se presenta en los primeros 5 cm del sedimento; sin embargo, este comportamiento es altamente variable debido a la presencia de raíces que pueden alcanzar mayor profundidad y crear micro hábitats donde se difunde el oxígeno que limita los procesos anaerobios (Welsh *et al.*, 1996).

Aunque no se ha evaluado aún la abundancia bacteriana total en los sedimentos de lechos de pastos marinos en el presente estudio, en la Tabla 40 se presentan los resultados de los obtenidos en otros trabajos.

Tabla 40: Abundancia bacteriana total en sedimentos costeros.

Abundancia bacteriana x 10 ⁹ /cm ³	Zona	Características	Referencia
1.57	Bahía Port Es, Islas Baleares, España	Lecho el pasto marino del Mediterráneo (<i>Posidonia oceánica</i>)	García-Martínez et al. (2009)
0.08 - 0.39	Bahía Victoria, Hong Kong	Bahía subtropical contaminada con aguas de desecho	Zhang <i>et al.</i> (2008)
0.31-1.85	Bahía de Massachusetts, Estados Unidos	Sedimentos arenosos en una planicie mareal	Epstein & Rossel (1995)

CARBONO ORGÁNICO Y MATERIA ORGÁNICA EN SEDIMENTOS ASOCIADOS A PRADERAS DE PASTOS MARINOS EN ÁREAS DEL GOLFO DE MÉXICO.

Responsable. Dra. Laura Georgina Calva Benitez

Introducción

Entre los sistemas costeros destacan las zonas estuarinas, que tienen importancia ecológica ya que sustentan una gran abundancia y distribución de especies (Knowltonet al. 1992), tales ecosistemas son altamente productivos y constituyen reservorios importantes de materia orgánica, la cual se deposita principalmente en la fase sedimentaria (Alongi, 1998). Esta matriz es un factor fundamental en el ambientes costeros ya que generalmente control de los concentraciones considerables de elementos traza y nutrientes. Las reacciones geoguímicas que se llevan a cabo en los sedimentos, el intercambio y la difusión de iones disueltos o adsorbidos, compuestos y gases a través de la interfase agua-sedimento afectan los ciclos de varios elementos químicos, particularmente carbono, nitrógeno, fósforo y azufre (Kennish, 1986). Asimismo, es sabido que la composición granulométrica y la cantidad de materia orgánica es fundamental, porque constituyen el substrato para los diversos microorganismos que participan en los procesos biogeoquímicos de remineralización, igualmente es sabido que la cantidad y composición bioquímica de ésta, modifica la distribución de los organismos bentónicos y nectónicos. De igual forma, influyen en la distribución y en el establecimiento de la vegetación acuática (Albertelliet al. 1999). De ahí el que la cobertura y distribución de ésta, están determinadas por la salinidad, la temperatura, la luz, el tipo de sedimento, la cantidad de materia orgánica disuelta y particulada y la fuerza del viento (Herzka & Dunton, 1997; Livingston et al. 1998; Peterson &Heck 1999: Bostroem&Bonsdorff, 2000). El análisis de la textura de sedimentos y su contenido de carbono orgánico es esencial en los estudios tanto del hábitat de los pastos marinos y las comunidades bentónicasasí como de la adsorción de los contaminantes.

Antecedentes

En México, los estudios de *T. testudinum* son escasos y se han enfocado principalmente en aspectos ecológicos como la determinación de su biomasa y densidad (Gutiérrez *et al.* 2000; Vargas *et al.* 2009), su relación con la presencia de macroalgas (Lobban & Harrison, 1997; Kopecky&Dunton, 2006) y con la meiofauna (De Troch*et al.* 2006). Algunos trabajos han analizado su distribución en relación con las características hidrológicas y los impactos negativos que tienen las actividades turísticas en estas praderas (Herrera *et al.* 2009). En Venezuela, Díaz &Liñero (2007) estudiaron la distribución y abundancia de las praderas de pastos marinos así como la granulometría general de los sedimentos superficiales, no obstante, en las costas mexicanas se tiene sólo el estudio de Calva & Torres

(2011) sobre la relación entre eltipo de sedimento superficial y su contenido de carbono orgánico asociados a la presencia de *T. testudinum*en áreas costeras de Campeche, Yucatán y Quintana Roo, sin embargo, a la fecha, no se cuenta con análisis de ello efectuados a diferente profundidad del sedimento y asociados a rizomas y hojas de pasto marino. Asimismo, dichos estudios incluyeronla cuantificación de materia orgánica en sedimentos (Baron*et al.* 1993; De Troch*et al.* (2006); Díaz &Liñero 2007) pero, no evaluaron el carbono orgánico en sedimentos.

Objetivos

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue el de realizar un estudio sobre la relación de las comunidades de pastos marinos con el contenido de materia y carbono orgánicoen sedimentos de diferentes estratos(superficial, medio y fondo) en algunos ambientes costeros del Golfo de México.

Metodología

a. Estrategia de muestreo

Se recolectaron los sedimentos con un nucleador de PVC de 5 cm de diámetro y 40 cm de longitud, se eligió una submuestra de sedimento superficial, otra de en medio y otra de sedimento del fondo, cada una de ellasse colocó en frascos de vidrio de 250 ml previamente lavados con extrán y enjuagados con agua desionizada. Las muestras se preservaron a baja temperatura (4°C) hasta su procesamiento en el laboratorio. Cabe mencionar que la submuestraprocede del mismo nucleadordel que se colectaronlos pastos marinos, fauna bentónica y bacterias quimiosínteticas.

b. Métodos de laboratorio

En el laboratorio se procedió a fraccionar los núcleos de sedimento de tal forma que se obtuvieron tres estratos (superior, medio y fondo), cuando el núcleo fue menor a 15 cm de longitud sólo se fraccionó en dos (superficie y fondo). Los sedimentos se colocaron en una estufa durante 48hr a40 °C.

El porcentaje de C.O. se determinó mediante la técnica propuesta por Gaudette et al. (1974) en la que en primer término los sedimentos se tamizaron en una malla de 0.0625 mm, en seguida se realizó una oxidación con dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado posteriormente se hizo una titulación con sulfato ferroso. Las muestras se procesaron por duplicado y con dos blancos en cada corrida. Respecto a la materia orgánica se cuantificó empleando el factor de van Bemmelen.

Resultados

El promedio de carbono orgánico en núcleos testigo de sedimentos asociados a pastos marinos en localidades de Veracruz fue de 0.95%, con el mayor porcentaje registrado para la isla de Enmedio (1.43%) y el menor para la Isla Gallega

(0.56%). De acuerdo a la proporción de C.O. en Isla de Enmedio e Isla Lobos fue mayor con 22% y 20% respectivamente. Los porcentajes menores se obtuvieron en Isla Gallega (8%) y Galleguilla (9%).

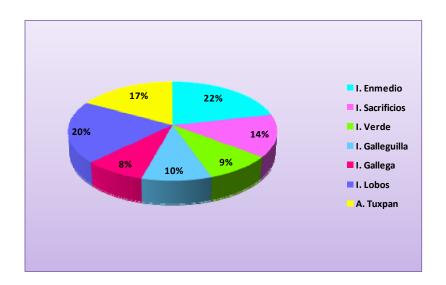


Figura 97: Carbono orgánico en sedimentos de Veracruz.

En relación a la zona costera de Campeche, el promedio de C.O. fue de 3.1% en un intervalo desde 4.50% para Petén Neyachasta un mínimo para la Laguna de Términos con 0.75%.

Ahora bien, en lo referente a las diferentes zonas de colecta (tanto cercanas, medias y alejadas de la costa) el contenido de C.O. en dichas secciones de muestreo, en lo correspondiente al área costera de Campeche se obtuvieron los valores mayores en el área Media 4.56% y los menores en la zona de Afuera 2.85%.

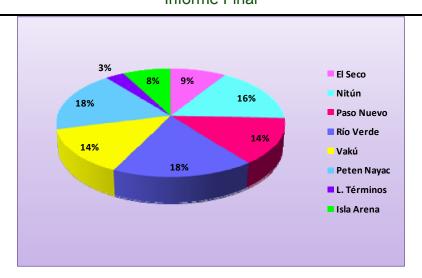


Figura 98: Carbono orgánico en sedimentos de Campeche

Tomando en cuenta a las localidades, el valor proporcional más alto se determinó en Petén Nayac y Río Verde con 18% en cada una en tanto que los menores se presentaron en Isla Arena (8%) y con un mínimo en Laguna de Términos (3%)

En las áreas de Yucatán, el C.O. presentó un porcentaje promedio de 1.36%, estando los valores más altos en la localidad deChekusan (2.65%) mientras que los menores se determinaron en Ría Celestum (0.59%).

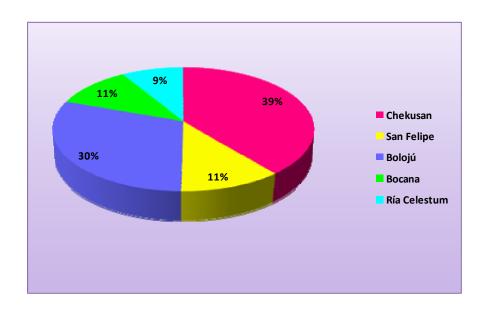


Figura 99: Carbono orgánico en sedimentos de Yucatán.

Se aprecia que la mayor proporción de C.O. la tuvo Chekusan y Bolojú (39% y 30% respectivamente) y las zonas con las menores fueron San Felipe y Bocana (11%) yRía Celestum (9%)

Ahora bien en lo referente a la M.O. en las áreas de Veracruz en la misma matriz analizada se registró un promedio de 1.81%, siendo mayor en la Isla de En medio (2.72%) y mucho menor en Isla Gallega (1.06%). Tomando en cuenta la proporción entre dichas localidades se tuvo que Isla de Enmedio (22%) e Isla Lobos (20%) fueron las que mostraron las mayores proporciones y destaca la menor proporción en Isla Verde con tan solo el 9% e Isla Gallega con 8% ya que en dichas áreas se constató una menor cobertura de pastos marinos además de que estas localidades presentaron predominantemente sedimentos conformados por arenas finas lo que de acuerdo a la teoría de sorcióncoadyuvaría a una mayor adsorción de materia orgánica, no habiendo sido así, aunque también hay que considerar el aspecto de la hidrodinámica en la zona.

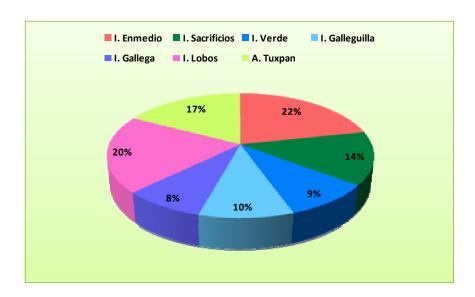


Figura 100: Materia orgánica en sedimentos de Veracruz

En Campeche el porcentaje de M.O. fue considerablemente mayor ya que tuvo un promedio de hasta 8.55% en Petén Neyac y 8.4 en Río Verde (ambas localidades con proporciones de 18% de M.O.) el menor promedio se detectó en la Laguna de Términos (1.43%).

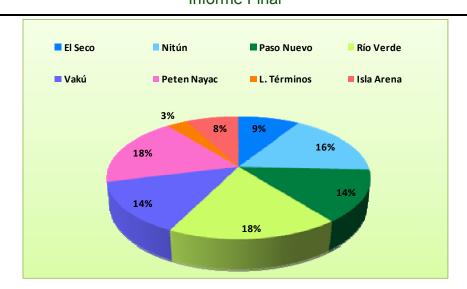


Figura 101: Materia orgánica en sedimentos de Campeche.

Respecto a la M.O. en Yucatán el promedio fue de 2.58%, los mayores porcentajes correspondieron a Chekusan con 5.04% y los más bajos a Ría Celestún (1.12%).

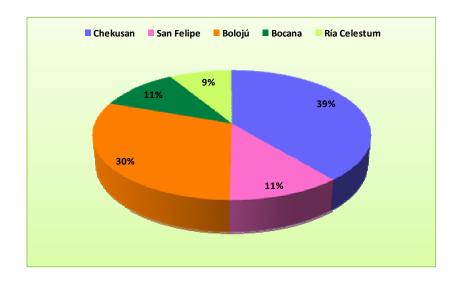


Figura 102: Materia orgánica en sedimentos de Yucatán.

De manera general, tomando en cuenta el promedio de C.O. por Estado de la República Mexicana estudiado, destaca la proporción mayor de 57% en Campeche y el menor valor para Veracruz con 18%, cabe mencionar quelas localidades de Campeche fueronlasquetuvieronuna mayor biomasa y cobertura de pastosmarinos, lo queconfirma el aporte de C.O. derivado de los

pastosmarinosprimordialmente y porendedestaca la importancia de ellos en relación a lascomunidades de organismosquelashabitan.

El promedio de C.O. para Campeche fue de 3.1%, para Yucatán de 1.36% y para Veracruz de tan solo 0.95%.

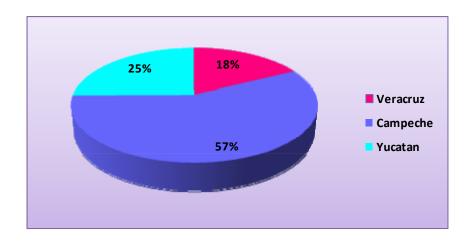


Figura 103: Carbonoorgánico en sedimentospor Estado.

Al efectuarlascorrelaciones entre los diferentestipos de sedimentos se establecióque en Veracruz hubounacorrelaciónpositiva significativa entre los porcentajes de C.O. y los sedimentosconformadospor arenas finas (r=0.62); en el caso de Campeche no se determinócorrelación con ninguna de lasfraccionesanalizadas y en Yucatán se dio correlación entre el C.O. y las arenas medias (r=0.41) peroésta no fuesignificativa.

Respecto a la M.O. en ordendescendienteestuvieron Campeche (5.89%), Yucatán (2.58%) y Veracruz (1.81%).

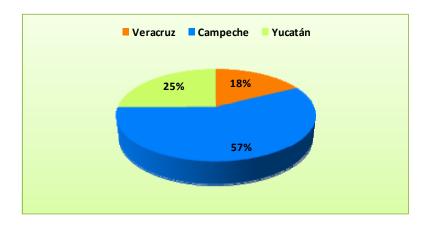


Figura 104: Materiaorgánica en sedimentospor Estado.

De maneraclara se observóqueefectivamente el contenido de C.O. y M.O. prácticamente se triplicó en lasáreascorrespondientes a Campeche en lascuales la biomasa y cobertura de pastosmarinosfue mayor. Además, en lasáreas de Veracruz con los menoresporcentajes de materialesorgánicoslaspraderas de pastos y susbiomasasfueronreducidas, lo que de algunamaneraevidencióunaestrecharelación entre lasfanerógamas marinas y dichoscompuestos.

A continuación se presentan 2 tablascomparativas, la primera(Tabla 41)se refiere a estudiossobre C.O. en sedimentos de sistemascosteroslocalizados en el Golfo de México, cabemencionarquedichosestudiosfueronrealizados con la mismatécnicaempleada en estetrabajopero, de nuevacuenta hay queaclararque se hicieron en sedimentossuperficiales sin embargo, es con lo que se cuenta a la fecha y permitetenerunareferencia y los resultadosobtenidos en esteestudio son similaresa los reportados en dichossistemascosteros.

Pootra parte, Montalvo (2006) refiereporcentajespromedio de C.O. de 2.56% en bahías de Cárdenas y Santa Clara, Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba.

Tabla 41: Carbono orgánico promedio en sedimentos en lagunas costeras del Golfo de México

Sistema lagunar	C.O. %	Referencia
Pueblo Viejo, Tamps.	1.04	Botello y Calva (1998)
Tamiahua, Ver.	1.28	Botello y Calva (1998)
Tampamachoco, Ver.	1.62	Botello y Calva (1998)
Salada, Ver.	1.68	Botello et al. (2001)
El Llano, Ver.	1.70	Botello et al. (2001)
La Mancha, Ver.	3.93	Botello et al. (2001)
Mandinga, Ver.	1.36	Botello et al. (2001)
Alvarado, Ver.	2.55	Botello et al. (1994)
Sontecomapan, Ver.	1.50	Calva y Botello (1999)
Del Carmen, Tab.	1.27	Botello et al. (1994)
Machona, Tab.	1.16	Botello et al. (1994)
Ecosistemas Lagunares	2.96	Calva y Torres (2011)
Ecosistemas Arrecifales	1.14	Calva y Torres (2011)
Alvarado, Ver.	1.87	Calva y Torres (2011)
Ecosistemas Costeros Veracruz	0.95	Este estudio
Ecosistemas Costeros Campeche	3.10	Este estudio
Ecosistemas Costeros Yucatán	1.36	Este estudio

La Tabla 42 muestra un estudiocomparativode M.O. en sedimentosasociados a pastosmarinos en el Caribe mexicano, con los sedimentosanalizados en estetrabajo y de igual forma, se observaquelasáreas de Veracruz analizadas en

estetrabajotuvieroncontenidos de M.O. notablementemenores en comparación con lasotras.

Tabla 42: Materia orgánica promedio en sedimentos asociados a pastos marinos en áreas del Golfo de México.

Sistema lagunar	M.O. %	Referencia
Mahahual, Q. Roo	4	Gutiérrez et al. (2000)
Boca Bacalar Chico, Q. Roo	6.1	Gutiérrez et al. (2000)
Ecosistemas Costeros Veracruz	1.81	Este estudio
Ecosistemas Costeros Campeche	5.89	Este estudio
Ecosistemas Costeros Yucatán	2.58	Este estudio

No obstante, en virtud de que se ha llevado a cabo un solo muestreo, es indispensable el realizar un monitoreo al menosconsiderandotresépocasclimáticasquepermitadaruna conclusión totalmentefundamentada y sobretodo y de acuerdo a los resultadosobtenidosesnecesario el continuar con los estudiostomando en cuenta al menostresdiferentesprofundidades de los núcleos de sedimentos.

DIRECCIÓN de Servicios Sociales EN LA UAMI ASOCIADOS A ESTE PROYECTO

Jorge Israel Villafuerte Esparza. "Caracterización sedimentológica en praderas marinas específicas de *Thalassiatestudinum* en Arrecifes e Islas de Veracruz"

Directora: Dra. Laura G. Calva B.

Concluido (enero 2012)

Juan Manuel Arce Ramos. "Caracterización ambiental de las comunidades bentónicas asociadas a praderas de pastos marinos"

Directores: Dra. Laura G. Calva y M. en C. Romeo García Pacheco.

En proceso,

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA ABUNDANCIA DE MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS EN PRADERAS DE PASTOS MARINOS EN EL GOLFO DE MÉXICO.

Responsable. M. en C. Romeo García Pacheco.

Introducción

Grandes praderas de vegetación acuática sumergida crecen en las aguas someras de las costas marinas y estuarios del Golfo de México y Mar Caribe. La vegetación acuática sumergida constituida principalmente por pastos marinos, provee de un arreglo espacial muy diferente y complejo de aquellas áreas someras sin vegetación. Estas comunidades crecen rápida y densamente, proporcionando alimento y refugio para muchos animales. Los pastos pueden ser consumidos directamente por un número reducido de especies, sin embargo una función más importante es aquella que provee como una fuente de alimento indirecto al proporcionar una gran cantidad de material detrítico que se forma por la descomposición de las hojas. El detrito es utilizado por pequeños moluscos, peces. v pequeños crustáceos como anfípodos, isópodos, y camarones peneidos y carideos entre otros, y es exportado de los pastos para enriquecer las aquas abiertas. Las hojas de los pastos constituyen un substrato para una gran cantidad tanto de epibiontes constituidos por epífitas como por epizoides de hábitos sésiles móviles, los cuales son forrajeados por animales grandes. El sistema de rizomas y raíces estabiliza los sedimentos y la masa de las hojas detiene el efecto de las olas, creando un ambiente más estable. Peces, cangrejos, y otros animales encuentran una gran cantidad de material alimentario entre las hojas.

Las plantas sumergidas constituyen la fuente principal de alimento para la mayoría de las especies de aves acuáticas, peces y mamíferos marinos como manatíes. En la mayoría de los casos, el número y variedad de organismos es mayor en áreas con vegetación que en aquellas desprovistas de éstas. Muchas especies habitan ambos hábitats, pero ciertas especies son residentes típicos de áreas con vegetación. En invierno muchas plantas pierden hojas, y el hábitat desaparece. Los peces, camarones y cangrejos se mueven a aguas profundas, y los moluscos y gusanos anélidos se entierran en los fondos lodosos, y el área se convierte en un continuo junto con las áreas desprovistas de vegetación. En primavera, los rizomas y raíces se dispersan y las semillas germinan para replantar las praderas. Tanto los procesos físicos y químicos afectan potencialmente a la heterogeneidad del hábitat de las comunidades de pastos así como a su fauna y flora asociada (Fonseca y Fischer, 1986).

La vegetación acuática sumergida constituye un hábitat de crianza crítico para un gran número de especies entre las cuales se encuentran aquellas de importancia comercial como los camarones del género Farfantepenaeus (antes Penaeus;

Pérez-Farfante, 1996) y sus especies F. aztecus (camarón café), F. duorarum (camarón rosado) y de Litopenaeus setiferus (camarón blanco) así como el langostino Macrobrachium acanthurus, las jaibas Callinectes sapidus, C. similis, C. exasperatus, y C. rathbunae y el cangrejo moro Mennipe mercenaria. La distribución de éstas especies en los sistemas estuarinos del Golfo de México se han asociado a la heterogeneidad del hábitat dada por la vegetación acuática sumergida de pastos y macroalgas, así como a la salinidad (Sánchez et al., 1996). Estas especies junto con otras de peces y moluscos representan importantes capturas dentro de la pesquería del Golfo de México tanto a escala industrial como en la pesca ribereña en el país.

Se ha observado un decline en la cantidad de la vegetación acuática sumergida a escala mundial. La pérdida de éste importante hábitat puede ocasionar efectos secundarios drásticos sobre las poblaciones que dependen de los pastos marinos ya sea por alimento, refugio o crecimiento. Existe un número de variables que contribuyen con el decline de estas comunidades entre los cuales se encuentran: la descarga y concentración de desperdicios por efecto de la agricultura, desechos urbanos, cambios en temperatura y salinidad, destrucción por redes, enfermedad, y tráfico por botes que repercute en el decline (Fonseca, et al. 1998).

Se denomina bentos al conjunto de organismo tanto vegetales como animales que habitan o se encuentran asociados al fondo en los cuerpos de agua. De acuerdo con su hábitat específico, tales organismos pueden clasificarse en hiperbentos (organismos con buena capacidad de nado que realizan migraciones verticales sobre el sustrato), epibentos (organismos que habitan sobre la superficie del sustrato) y endobentos (organismos que viven enterrados en el sustrato). También pueden ser clasificados en función de su talla, en macrobentos (>500 μ m), meiobentos (<500 μ m y > 63 μ m) y microbentos (<63 μ m).

El bentos está constituido por una gran diversidad de especies pertenecientes a diversos phyla o grandes grupos, entre los cuales se encuentran: Porifera (esponjas), Annelida (gusanos poliquetos), Arthropoda (crustacea), Cnidaria (corales), Echinodermata (estrellas y pepinos de mar) y mollusca (pulpos y calamares) (Duran *et al*, 2010).

Las comunidades bentónicas son muy diversas según la naturaleza del sustrato (roca, arena, limo) y la profundidad. Los organismos bentónicos tienen escasa o ninguna capacidad de natación y, como no se enfrentan con problemas de flotación, pueden desarrollar estructuras esqueléticas gruesas como conchas y alcanzar tamaños considerables.

Los organismos vegetales se fijan directamente en el fondo, mientras que los animales se pueden anclar, enterrar o reptar. Su hábitat suele ser la superficie y los pocos centímetros superiores del material del fondo oceánico formado por arena, rocas o fango.

Los seres que habitan el sistema bentónico abarcan la plataforma costera, la continental, el talud continental, la zona abisal y las grandes fosas oceánicas, se extiende por toda la superficie del fondo de mares, océanos y el resto de los cuerpos de agua continentales, su densidad varía mucho de unas zonas a otras, decreciendo progresivamente su abundancia de acuerdo con la profundidad.

Sobre fondos no rocosos son frecuentes las praderas de fanerógamas marinas (pastos marinos), que forman ambientes especiales con faunas características como el camarón, los nudibranquios, peces como los caballitos de mar, otros de cuerpo deprimido como las rayas, torpedos, lenguados y una variedad de especies nadadoras.

Con respecto a las plantas consideradas como las más evolucionadas, en el mar viven muy pocas fanerógamas que constituyen praderas sobre los fondos costeros bien iluminados. Entre los principales géneros que forman estas praderas están: *Zoostera, Posidonia* y *Thalassia;* este último es el más abundante en América (Cifuentes-Lemus *et al*, 1987).

Objetivo General

Conocer la composición, estructura y distribución espacial del macrobentos asociado a humedales de pastos marinos en el Golfo de México.

Antecedentes

El Golfo de México ha sido ampliamente estudiado en las últimas décadas, se podrían mencionar algunos trabajos desde principios de los años 60's de tipo biológico: Davis (1964), Santoyo y Signoret (1972), Spichack y Formoso (1974), Villalobos y Zamora (1975 y 1977), Klima (1976 y 1977), Sánchez-Gil, et al, (1981), Vazquez-Bader (1988); sobre contaminación: Leipe (1955), Bulanienkov v García (1973 y 1974), Botello y Soto, (1981); en aspectos físicos: Konicker y Boyd (1962), Gutiérrez-Estrada (1977), y en químicos De la Lanza (1976), Gundlach y FinkenIstein (1981) y Macko (1982). Con respecto a trabajos específicos sobre organismos bentónicos podemos mencionar los relacionados con los grandes grupos principales que componen este hábitat, Moluscos: Pérez-Rodríguez (1980) y Piña (1980), en parte de la plataforma continental del sur del Golfo de México y Caribe; Cruz-Ábrego et al. (1984, 1987 y 1991) analizaron la comunidad malacológica de la Sonda de Campeche; Rice y Kornicker (1962) establecieron la composición malacológica del arrecife Alacranes, y Ekdale (1972 y 1974) en los arrecifes del noroeste de Yucatán, Vokes y Vokes (1983) en las costas de la Península de Yucatán; Vazquez-Bader (1996) estudió las comunidades de moluscos, equinodermos y crustáceos en el Suroeste del Golfo de México; Reguero-Reza (1994) determina la estructura de la comunidad de moluscos de las lagunas de Veracruz y Tabasco sobre crustáceos: Ibarra-Manzanares (1979) estudiaron la fauna de crustáceos decápodos de la laguna de Términos, García-Montes (1985) investigo los aspectos biológicos de cangrejos portunidos del Suroeste del Golfo de México, Solís-Weiss et al, (1986) realizaron estudios de la macrofauna béntica asociada a las praderas de Pastos marinos en laguna de

Términos, Campeche; Escobar–Briones et al, (2010) realizaron estudios sobre macrocrustáceos decápodos de fondos carbonatados del sector occidental del banco de Campeche. Ortiz et al, (2004) publicaron la clave gráfica para la identificación de las familias, géneros y especies marinas y estuarinas de anfípodos del Atlántico occidental tropical; Winfield et al, (2007) publican la clave para la identificación de los anfípodos bentónicos del golfo de México y el sector norte del mar Caribe; Poliquetos: Granados-Barba (1994) realizó es estudio sistemático de los poliquetos de la región de las plataformas petroleras del Sur del Golfo de México; Carrera et al, (1997) estudio un genero de poliqueto del Caribe Mexicano; Cruz-Ábrego et al, (1994) estudio los poliquetos asociados a pastos marinos y manglar en la laguna de Términos, Campeche, Equinodermos: Bravo-Tzompantzi et al, (2000) publicaron el documento sobre equinodermos fósiles y recientes del Golfo y Caribe Mexicano, Caso-Muñoz et al, (1994) contribuyeron al conocimiento de la ecología de la comunidad de equinodermos de la Laguna de Términos, Campeche.

Metodología

Se han utilizado diferentes métodos de muestreo para el tipo de sustrato típico de pastos marino con la finalidad de escoger el mejor, pero en efecto no existe ningún método que sea convencional y que se pueda aplicar en el estudio de bentos de pastos marinos, las dragas convencionales de tipo van Veen no cierran de forma adecuada y no pueden penetrar en el sedimento. En la Universidad de Texas es utilizado un nucleador de PVC de 25 cm de diámetro y 1 m de altura para la extracción de sedimento. Desafortunadamente este tipo de muestreo es poco práctico al necesitar de 4 o 5 personas para su operación. En el Laboratorio de Ecosistemas Costeros del Departamento de Hidrobiología en la UAM-I se diseñó un nucleador de manejo mucho más práctico que se describe párrafos abajo.

a. Estrategia de muestreo

Para la recolecta de los organismos bentónicos se decidió aplicar la técnica de muestreo consistente en la utilización de un nucleador de tipo cilíndrica de acero inoxidable, de 21 cm de diámetro y 42 cm de altura (Figura 97), con una capacidad en volumen de 7.3 litros y abarca un área de 346.4 cm², está acerrada en la parte inferior para una mejor penetración en el sedimento, es sellada en la parte superior, destacando con un pequeño orificio de 4 cm de diámetro que es tapado con un trozo de hule para crear un vacio al momento de la extracción y evitar la salida del sedimento, cuenta con 4 agarraderas para facilitar su manejo. Para el proceso de tamizado se utiliza una red cilíndrica con luz de malla de 1 mm.

Para cada punto de muestreo se efectuaron 3 replicas utilizando el nucleador cilíndrico. La técnica de colecta consiste en recostar el nucleador en la pradera de pastos marinos, con la mano se introducen las hojas de los pastos cercanos a la boca del nucleador, se voltea hacia el lado opuesto y se termina de ingresar los pastos; posteriormente se coloca el nucleador en posición vertical y mediante giros se introduce de 30 a 35 cm en el sedimento; posteriormente se coloca el tapón de hule en el orificio superior para crear un vacio y evitar la salida del material, el

nucleador se extrae y es recostado en el sedimento para introducir una red cilíndrica de 1 mm de luz de malla, que se asegura a una de las agarraderas mediante un arnés, el nucleador es llevada a la superficie donde se retira el tapón y el sedimento es colectado en la red cilíndrica (Figura 105); el material es tamizado *in situ* separando la totalidad de los pastos y rizomas; el material restante de sedimentos, conchas y organismos vivos es depositado en bolsas de platico y fijadas para su preservación con alcohol metílico al 90% para su posterior análisis en el laboratorio.

b. Métodos de laboratorio

Los macroinvertebrados bentónicos (mayores a 1 mm) son separados, lavados, re-etiquetados y envasados en frascos, usando como preservador alcohol metílico al 90%. La identificación taxonómica de la macrofauna bentónica se hará empleando los métodos convencionales y el uso de literatura básica y específica para los principales grupos taxonómicos: Anélidos poliquetos (Fauchald, 1977); Moluscos (García Cubas, 1981; Abott, 1974); Crustáceos decápodos (Chace, 1972; Felder, 1973; Williams, 1984; Perez-Farfante, 1970, Pérez-Farfante, 1997; Williams (1984), Abele and Kim (1986); Crustáceos peracáridos (isópodos: Schultz, 1969; Clark y Robertson, 1982; Kensley y Schotte, 1989; anfípodos: Bousfield, 1973; Ledoyer, 1986).

c. Métodos de análisis

Se determinará la abundancia de las especies de macroinvertebrados en términos de peso por captura (gr), densidad (org/m²) y biomasa (gr/m²). Asimismo, el peso promedio de las poblaciones (gr/org) para cada hábitat y su variación espacial.

Los parámetros ecológicos de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados se determinarán: riqueza de especies (D), frecuencia de aparición, porcentaje de la densidad y biomasa por sitio de muestreo. Se obtendrá la distribución de las especies como base en los registros de presencia-ausencia en las estaciones de muestreo.

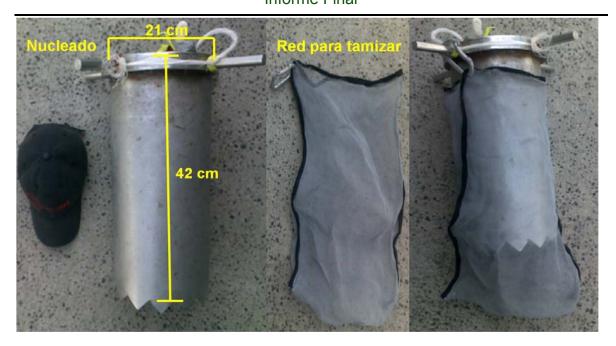


Figura 105: Nucleado y red para tamizar.

Productos

Colección de la fauna macrobentónicos del Golfo de México.

Base de datos actualizada de la fauna macrobentónica de humedales de pastos marinos en el Golfo de México.

Resultados y Discusión

Se muestrearon para organismos bentónicos un total de 45 estaciones en los estados de Campeche y Yucatán correspondientes al 100% del total de estaciones seleccionadas para este estudio.

Se procesaron un total de 135 muestras (núcleos).

Se encontraron en los sedimentos analizados la presencia de los siguientes grandes grupos de organismos: moluscos (gasterópodos y bivalvos); poliquetos; decápodos (anomuros, braquiuros, peneidos, anfípodos e isópodos); equinodermos (asteriodeos, ophiroideos y Holoturidos).

Se realizó una identificación a nivel de Clase taxonómica encontrando 8 grupos (Polychaeta, Asteroidea, Echinoidea, Ophiuroidea, Holothuroidea, Crustacea, Bivalvia y Gastropoda).

Para el presente estudio en total se tomaron 135 muestras (núcleos) en 45 estaciones de 4 localidades en los estados de Campeche y Yucatán (Figura 106, Tabla 43)

Se analizaron 2,186 organismospertenecientes a 4 Phylum y 8 Clases, los cuales fueron contados y pesados (Figura 106 y Tabla 43)

Tabla 43: Sitios de muestreo para organismos bentónicos.

Yucatán			Camp	eche	
San Felip	е	Costa de Campeche		Laguna de Términos	
Sitio	Estación	Sitio	Estación	Sitio	Estación
Checuzan Orilla	27	Peten Neyac Orilla	10	Cayo Arena Orilla	49
Checuzan Fuera	28	Peten Neyac Medio	11	Cayo Arena Medio	50
Balabtabche Orilla	29	Peten Neyac Fuera	12	Cayo Arena Fuera	51
Balabtabche Fuera	30	Paso Nueva Orilla	13	San Julián Orilla	52
Bolohu Orilla	31	Paso Nuevo Medio	14	San Julián Fuera	53
Lialia Orilla	33	Paso Nuevo Fuera	15	Ensenada Orilla	54
Lialia Fuera	34	Nitum Orilla	16	Bocaina 1	56
Cerro Orilla	35	Nitum Medio	17	Las Pilas Orilla	58
San Felipe Orilla	37	Nitum Fuera	18	Las Pilas Fuera	59
San Felipe Fuera	38	Vaku Orilla	19	Isla Pájaros	60
Celestur	1	Vaku Medio	20	Punta Malón	62
Isla Arena Orilla	41	Vaku Fuera	21	Banco Arena	63
Isla Arena Fuera	42	Río Verde Orilla	22	El Cayo	64
Ría Celestún Fuera	44	Río Verde Medio	23	El Ranchito	65
		Río Verde Fuera	24	Caulerpa	66
		El Seco Medio	25		
		El Seco Fuera	26		

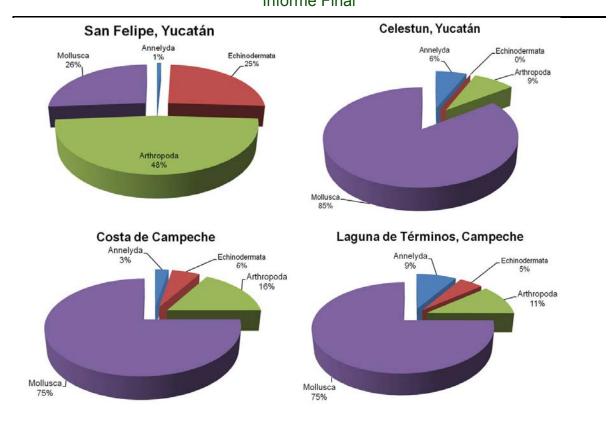


Figura 106: Proporción de organismos encontrados por Phylum de 4 localidades en el Golfo de México.

En la Figura 106 se presentan las proporciones de los 4 Phylum encontrados y que componen la comunidad de pastos marinos en el Golfo de México.

En el caso de la zona costera cercana a la población de San Felipe, Yucatán, el Phylum Arhtropoda es la más representada con casi de la mitad (48%) de los organismo encontrados, Echinodermata y Mollusca componen más de la mitad con 26 y 25% respectivamente de la composición de los phyla, con una proporción muy pequeña de apenas el 1% se encontró al Phylum Annelyda. Para Celestum casi la totalidad con el 85% de los organismos pertenecen al Phylum Mollusca, Arthropoda cuenta con el 9% de los organismos analizados, Annelyda con 6% y Echinodermata no estuvo representada.

Para la Costa de Campeche la mayor proporción corresponde a los Moluscos con el 75%, seguida de los Artrópodos con el 16%, Echinodermata y Annelyda se encontraron con las más bajas proporciones de 6 y 3% respectivamente. Para las muestras colectadas dentro de la Laguna de Términos, los Mollusca mostraron similar proporción que en la costa con el 75%, seguida de Arhtropoda y Annelyda con 11 y 9% respectivamente, Echinodermata presentó apenas el 5% de ocurrencia.

Informe Final

Tabla 44: Porcentaje de la densidad de organismos bentónicos a nivel de Clase del Golfo de México.

% Densidad (# Org/m²)						
San Felipe Celestun Costa de L. Términos CLASE (Yucatán) (Yucatán) Campeche (Campeche						
Polychaeta	0.7	7.6	3.0	8.5		
Asteroidea	1.5	0.0	0.1	0.9		
Echinoidea	3.0	0.0	0.0	0.0		
Ophiuroidea	9.9	0.0	3.0	0.1		
Holothuroidea	11.1	0.0	2.9	3.8		
Crustacea	43.6	11.4	17.7	11.3		
Bîvalvia	28.6	75.2	71.9	31.3		
Gastropoda	1.7	5.7	1.4	44.0		

Tabla 45: Porcentaje de la biomasa de organismos bentónicos a nivel de Clase del Golfo de México.

% Biomasa (gr/m²)						
San Felipe Celestun Costa de L. Términos CLASE (Yucatán) (Yucatán) Campeche (Campeche						
Polychaeta	0.1	2.4	0.2	4.9		
Asteroidea	0.9	0.0	0.2	0.6		
Echinoidea	2.7	0.0	0.1	0.0		
Ophiuroidea	5.9	0.0	0.4	0.0		
Holothuroidea	8.0	0.0	2.0	1.7		
Crustacea	4.0	0.4	33.5	19.8		
Bivalvia	85.2	96.5	59.8	54.7		
Gastropoda	0.4	0.7	4.0	18.3		

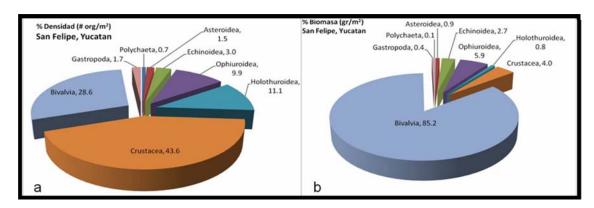


Figura 107: Porcentaje de la densidad y biomasa de organismos bentónicos a nivel de Clase en la localidad de San Felipe, Yucatán.

A contaminación se presentan los porcentajes de la densidad de las 8 Clases taxonómicas presentes.

Para la localidad de San Felipe la mayor densidad fue para Crustacea con el 43.6%, Bivalvia con 28.6%, seguida de Holothuroidea con 11.1%, Ophiuroidea presentó 9.0% y el resto escasa mente representados de manera igual o menos del 3% (Figura 107 a).

Informe Final

Con respecto al porcentaje de la biomasa las proporciones cambiaron, los Bivalvos son los que presentan mayor valor con el 85.2%, seguido de Ophiuroidea con 5.9%, Crustacea con 4% y con valores menores Echinoidea, Asteroidea, Holothuroidea, Gastropoda y Polychaeta con 2.7, 0.9, 0.8, 0.4 y 0.1% respectivamente. (Figura 107 b).

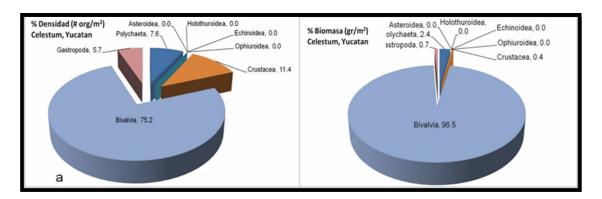


Figura 108: Porcentaje de la densidad y biomasa de organismos bentónicos a nivel de Clase en la localidad de Celestun, Yucatán.

En la localidad de Celestun el porcentaje de la densidad de las Clases fue mayor para Bivalvia con el 75.2%, seguida de Crustacea con 11.4%, los Polychaeta con 7.6% y Gastropoda con el 5.7%, Asteroidea, Holothuroidea, Echinoidea y Ophiuroidea no fueron representados (Figura 108 a).

Para el porcentaje de las biomasas los Bivalvos tuvieron el mayor valor con el 96.5%, seguido de Polychaeta con escasos 2.4%, Gastropoda con 0.7% y Crustacea con 0.4% el resto no fue representado para esta localidad (Figura 108 b).

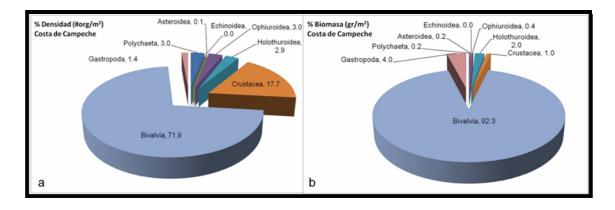


Figura 109: Porcentaje de la densidad y biomasa de organismos bentónicos a nivel de Clase en la localidad de Costa de Campeche.

Para el caso de la localidad Costa de Campeche el porcentaje de la densidad de las Clases tiene similar proporción que Celestún ya que los Bivalvia tiene el mayor porcentaje con 71.9%, seguida de Crustacea con 17.7%, los Polychaeta y Ophiuroidea con 3%, Holothuridae con 2.9%, Asteroidea escasamente con el 0.1%, Echinoidea no fue representada para esta localidad (Figura 109 a).

Para el porcentaje de las biomasas los Bivalvos tuvieron el mayor valor con 92.3%, seguido de Gastropoda con 4%, Asteroidea, Polychaeta y Holothuridae con 2%, Crustacea con apenas 1% y finalmente Echinoidea no fue representada (Figura 109 b).

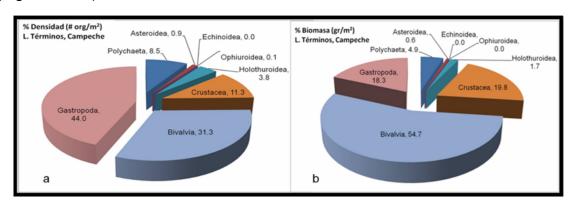


Figura 110: Porcentaje de la densidad y biomasa de organismos bentónicos a nivel de Clase en la localidad de Laguna de Términos, Campeche.

En la localidad de Laguna de Términos el porcentaje de la densidad de las Clases presenta una proporción distinta a las anteriores localidades debido a que Gastropoda fue la mayor representada con el 44%, seguida de Bivalvia con 31.3, Crustacea con el 11.3% Polychaeta con 8.5%, Holothuridae, Asteroidea y Ophiuroidea apenas con el 3.8, 0.9 y 0.1% respectivamente, Echinoidea no fue representada en esta localidad (Figura 110 a).

Para el porcentaje de las biomasas los Bivalvos tuvieron poco más de la mitad con 54.7%, seguido de Crustacea y Gastropoda con valores similares de 19.8 y 18.3% respectivamente, Polychaeta, Holothuridae y Asteroidea con 4.9, 1.7 y 0.6% respectivamente Echinoidea no fue representada y finalmente para Ophiuroidea la biomasa que presentó no fue suficientemente representativa y se le asigno el valor de cero. Echinoidea no fue representada (Figura 110 b).

El Phylum Mollusca es la que presentó la mayor abundancia con 75% en la Costa de Campeche y en Laguna de Términos, en Celestun fue de 85%. Únicamente en San Felipe no fue la más abundante ya que fue superada por Arthropoda con 48%

La Clase Bivalvia tuvo la mayor densidad en Celestun y Costa de Campeche (75.2 y 71.9% respectivamente), Gastropoda en Laguna de Términos (44%) y Crustacea en San Felipe (43.6%).

La localidad que presentó el mayor número de Clases fue San Felipe debido a que Echinoidea solo estuvo presente en esta localidad. Así mismo Crustacea fue la más abundante únicamente para esta localidad con 43,6% y la Bivalvia presentó su menos abundancia en esta localidad con 28.6% con respecto a las demás.

Gasteropoda fue la Clase más abundante únicamente en la localidad de Laguna de Términos con 44%.

La biomasa está dominada claramente por la Clase Bivalvia en todas las localidades desde el 54.7% en Laguna de Términos hasta el 96.5% de Celestun.

Claramente se pueden separar las localidades por la abundancia de las distintas Clases encontradas en este estudio, así entonces, San Felipe es distinta a las otras tres por presentar la mayor abundancia de la Clase Crustacea (43.6%) y Bivalvia (28.6%), Laguna de Términos es distinta al resto por presentar la mayor densidad de Gasteropoda (44%) y seguida de Bivalvia (31.3%). Celestun y Costa de Campeche presentan la mayor abundancia de la Clase Bivalvia (75.2 y 71.9% respectivamente) seguida de Crustacea (11.4 y 17.7% respectivamente) (Figura 105).

Anterior al presente documento no se había realizado un tipo de estudios tan extenso para las comunidades de macroinvertebrados en praderas de pastos marinos en el Golfo de México.

En el futuro la identificación a nivel específico de los organismos permitirá un análisis más detallado de los macroinvertebrados en praderas de pastos marinos, así como, de la correlación que gurda con el tipo de sedimento, la biomasa de los pastos, nutrientes en sedimento y agua, etc.

Bibliografía Indicadores de las Comunidades de Pastos Marinos en el Golfo de México.

Arber A. (1920). Water Plants.A Study of Aquatic Angiosperms.Cambridge University Press, Cambridge.

Bach, L., Calderon, R., Cepeda, M. F., Oczkowski, A., Olsen, S.B., Robadue, D. (2005). Level One Site Profile: Laguna de Términos and its Watershed, Mexico. Narragansett, RI: Coastal Resources Center, University of Rhode Island.

Barba, G.A. Análisis de la estructura espacial, biodiversidad y abundancia de la comunidad de pastos marinos en los arrecifes Isla Sacrificios, Isla de Enmedio y Hornos del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV). Subproyecto: Sinopsis de las familias de anélidos poliquetos en el PNSAV, México. CONACYT-STU1-103316. 01 diciembre de 2008 a 30 de mayo de 2009

Barba, E., 1999. Variación de la densidad y la biomasa de peces juveniles y decápodos epibénticos de la región central de Laguna Madre, Tamaulipas. Hidrobiológica, 9(2): 101-114.

Barba, E., A. J. Sanchez, A. Raz-Guzman & M. E. Gallegos, 2000. Dieta natural y tasa de forrajeo del carideo Hippolyte zostericola Smith sobre epífitas de Thalassia testudinum Banks et Solander ex König. Hidrobiológica, 10(2): 139-146.

Barba Macias, Everardo, Sanchez Martinez Alberto J., Raz Guzman Andrea, Gallegos Margarita E.; 2000, Dieta Natural y tasa de Forrajeo del Camarón Carriedo Hippolyte Zoztericola Smithsobre Epífitas de Thlalassia testudinum Banks et Solander Ex Konig. Hidrobiológica, Vol. 10 número 002. Universidad Autínoma Metropolitana – Iztapalapa. Distrito Federal, México. Pp. 139-146.

Bassols, B. A., 1977, Geografía económica de México, Editorial Trillas. México.3ª Ed. 440p.

Bouma, A.H., 1972. Distribution of sediments and sedimentary structures in de Gulf of Mexico, p 35-65.*In*: R. Rezak and J.H. Vernon. Contributions on the Geological and Geophysical Oceanography of the Gulf of Mexico.Vol. 3. Texas A & M University Oceanographic Studies. 325p.

Carranza E.A., E.M. Gutierrez y T.R. Rodriguez, 1975. Unidades morfotéctonicas continentales de las costas mexicanas. Anales del Inst. de Cien. Del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón.México. 2(1): 81-88.

Clarck, R. B., 1982, The Impact f oil Pollution in Marine Populations, Communities, and Ecosystems: A Summing up; Philosophical Transaction of the Royal Society of London, Series B, Biological Science, Vol. 297, No 1087, The Long -Term effects

of oil pollution on Marine Populations , Communities, and Ecosystems (Jun. 1, 1982) pp 433-443.

Cochrane, J. D. y F. J. Kelly, 1986.Low frequency circulation on the Texas-Louisiana continentalshelf.Journal of Geophysical Research. 91(9): 10,645-10,659.

Contreras F., y L. Zabalegui, 1988. Aprovechamiento del Litoral Mexicano. Centro de Ecodesarrollo. Secretaría de Pesca. 128p.

Cook CDK (1998) Hydrocharitaceae In: Kubitzki K (ed) The Families and Genera of Vascular Plants, Vol. IV. Flowering Plants, Monocotyledons: Alismatanae and Commelinanae (except Gramineae), pp 234–248. Springer Verlag, Berlin.

Director de la tesis de Maestría en Biología de López Sánchez Fernando. "Productividad de la angiosperma marina *Thalassia testudinum* en Campeche y Yucatán". Fac. de Ciencias, UNAM. 2010.

Director de la tesis de Maestría en Biología de Guillermina Avelino. "Demografía de *Thalassia tetsudinum* en la laguna de Términos, Campeche". Fac. de Ciencias, UNAM 2010.

Duarte, C.M. (1999). Seagrass ecology at the turn of the millenium: Challenges for the new century. Aquat. Bot. 65: 7-20.

Duarte CM. (2002). The future of seagrass meadows. Environ. Conserv. 29: 192-206.

Fernandez E. A., A Gallegos, y J. Zavala, 1993. Oceanografía física de México. Zona económica exclusiva, Ciencia y Desarrollo 18(108): 24-35.

Forristall, G.Z., K.L. Schaudt y C.K. Cooper, 1992. Evolution and kinematics of a loop current Eddy in the Gulf of Mexico during 1985. Journal of Geophysical Research, 97(2): 2173- 2184.

Gallegos ME, Merino M, Marbà N, Duarte CM. 1993. Biomass and dynamics of *Thalassia testudinum* in the Mexican Caribbean: elucidating rhizome growth. Mar. Ecol. Progr. Ser. 95: 185-192.

Gallegos ME, Merino M, Rodríguez A, Marbà N, Duarte CM. 1994. Growth patterns and demography of pioneer caribbean seagrasses *Halodule wrightii* and *Syringodium filiforme*. Mar. Ecol. Progr. Ser. 199: 99-104.

Gallegos ME, Sanchez F, Agras C. 2008. *Thalassia testudinum* biomass and production in the coast of Campeche, México. Enviado a Botánica Marina.

Hemminga, M., y C. M. Duarte. 2008. Seagrass ecology. Cambridge. 298 p.

Larkum AWD and den Hartog C. (1989). Evolution and biogeography of seagrasses. In: Larkum AWD, McComb AJ and Sheperd SA (eds). Biology of

Informe Final

seagrsses. A treatise on the biology of seagrasses with special reference to the Australian region, pp. 112-156. Elsevier, Amsterdam.

Lewis, J.L., y S.A. Hsu, 1992. Mesoscale air-sea interactions related to tropical and extratropical storms in the Gulf of Mexico. Journal of Geophysical Research, 97(2): 2201- 2228.

Lot-Helgueras, A. 1971. Estudio sobre las fanerógamas marinas en las cercanías de Veracruz, Ver. An. Inst. Biol. UNAM, Ser. Bot. 1:1-48.

Malpica, C. A. 2000. Distribución de los constructores primarios en el arrecife Lobos, Ver. Tesis de Licenciatura, Universidad Veracruzana, Veracruz, México.

Marbá N., Gallegos, M.E., Merino, M y C. Duarte. 1994. Vertical growth of *Thalassia testudinum*: seasonal and interannual variability. Aquatic Botany.47: 1-11.

Marbá N., Duarte C.M., Cebrián J., Gallegos M.E., Olesen B., Sand-Jensen K. 1996. Growth and population dynamics of *Posidonia oceanica* on the Spanish Mediterranean coast: elucidating seagrass decline. Mar. Ecol. Prog. Ser. 137: 203-213.

Raz-Guzman, A., and G. De la Lanza. 1996b. Catálogo ilustrado de cangrejos braquiuros (Crustacea) de la Laguna de Tamiahua, Veracruz, México.—Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Cuadernos 31: 1–52.

Romero, J., Lee, K.-S., Pérez, M., Mateo, M.A., Alcoverro, T., 2006. Nutrient dynamics in seagrass ecosystems. En: Larkum, A.W.D., Orth, R.J., Duarte, C.M. (Eds.), Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation. Springer, the Netherlands, pp. 227–254.

Sánchez, A. J., A. Raz-Guzman & E. Barba, 1996. Habitat value of seagrasses for decapods in tropical coastal lagoons of the southwestern Gulf of Mexico: an overview. In: J. KUO, R. C.

Solana Arellano E., Echavarría Heras H., Gallegos Martínez M. 2003. Improved leaf area index based biomass estimation for *Zostera marina* L. IMA J. Math. Appl. Med. Bio. 20(4):367-375.

Solana Arellano E., Echavarría Heras H., Gallegos Martínez M. y Flores-Uzueta Olga. 2004. The role of biotic and abiotic variables in determining demographic processes in a eelgrass meadow. Bull. South. California Academy of Sciences. 103(1):12-19.

Short F, Neckles H A. 1999. The effects of global climate change on seagrasses. Aguat. Bot. 63: 169-196.

Short F, Carruthers T, Dennison W, Waycott M. 2007. Global seagrass distribution and diversity: A bioregional Model. Jour. Exp. Mar. Biol. Ecol. 350: 3-20.

Terrados J., Ramírez-García P., Hernández- Martínez O., Pedraza K., Quiroz A., 2008. State of *Thalassia testudinum* Banks ex Köning Meadows in the Veracruz Reef System, Veracruz, México. Aquatic Botany 88 (2008) 17-26.

Vargas-Hernández, J.M., A. Hernández-Gutiérrez, L. F. Carrera-Parra. 1993. "Sistema Arrecifal Veracruzano". En S. Salazar-Vallejo y N. E. González (comps.). Biodiversidad marina y costera de México. conabio-cigro. México, pp. 559-575.

van Tussenbroek B I, Vonk JA, Stapel J, Erftenmeijer P, Middelburg J J, Zieman J C. 2006. The Biology of Thalassia: paradigms and recent advances research. In: AWD Larkum, R J, Orth and C M Duarte (eds). Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation, pp. 409-439. Springer.Printed in Netherlands.

Vidal, M.V., F.V. Vidal y A.F. Hernández, 1990. Atlas Oceanográfico del Golfo de México. Vol. II. Grupo de Estudios Oceanográficos. Instituto de Investigaciones Eléctricas. 2: 691 p.

Wells, S.M., 1988. Coral reefs of the world.Vol. 1. P. 203-223. *In*:Atlantic and Eastern Pacific. Prepared by The IUCN Conservation Monitoring Centre.Cambridge, UK. In colaboration with The United Nations Environment Programme.370 p.

Caracterización sedimentologíca de los sitios asociados a praderas de pastos marinos.

Aguayo-Camargo J.E. y A. Carranza-Edwards (1991) Tectónica Marina, Atlas Nacional de México, hoja (mapa) Geología Marina, IV.9.5.A., escala 1:4 000 000, Instituto de Geografía, UNAM, México.

Aguayo Camargo J.E., J. Araujo Mendieta, M.A. Gutiérrez Estrada y J.H. Sandoval Ochoa (2001) Proyecto de Investigación sobre la Geodinámica Marina del Suroeste del Golfo de México, del Neógeno al Reciente. Proyecto FIES-96-17-1 IMP-UNAM, 51 p. 22 figuras, 2 fotos y 10 Tablas.

Aguirre Gómez R. (2002) Primary Production in the Southern Gulf of Mexico Estimated from Solar-Stimulated Natural Fluorescence. Hidrobiológica, 12 (1): 12-28.

Antoine J.W. (1971) Structure of the Gulf of Mexico. In: Rezak R and V. J. Henry (eds.) Contributions on the Geological and Geophysical Oceanography of the Gulf of Mexico. Vol. 3 Texas A. & M. University Oceanographic Studies pp. 1-34.

Bouma, A.H. (1971) Distribution of Sediments and Sedimentary Structures in the Gulf of Mexico. in: Rezak R and V. J. Henry (eds.) Contributions on the Geological and Geophysical Oceanography of the Gulf of Mexico. Vol. 3 Texas A. & M. University Oceanographic Studies pp 35-65.

Informe Final

Boyero, R.E., 1984. Origin and History of the Gulf of México: Sedimentation plate tectonics hydrocarbon accumulation. Readings in Gulf Coast Geology.Vol.4.The University of Texas. Austin, Texas.

Cabrera-Ramirez M. and A. Carranza-Edwards (2002) The Beach Environment in Mexico as a Potential Source of Placer Minerals. Marine Georesources and Geotechnology, 20:187-198.

Campos Castán J. (1986a) Características Texturales de los Sedimentos Recientes de la Plataforma Continental de Tamaulipas. Inv. Ocean. /G. Vol. III Nº 2, pp. 1-34.

Campos Castán J. (1986b) Características Sedimentológicas y Microfaunísticas de la Plataforma y Talud Continental entre Veracruz, Ver. Y Frontera, Tab. Inv. Ocean. /G. Vol. III N° 2, pp. 63-114.

Campos Castán J. (1981a) Contribución a la Sedimentología y Morfología de la Plataforma Continental Frente a las Costas Campeche, México (Primera Parte). Inv. Ocean. /G81-01:1-41.

Campos Castán J. (1981b) Contribución a la Sedimentología y Morfología de la Plataforma Continental Frente a las Costas Campeche, México (Segunda Parte). Inv. Ocean./G81-02:1-46.

Carranza Edwards A. (2001) Grain Size Sorting in Modern Beach Sands. Journal of Coastal Research, 17 (1): 38-52.

Carranza-Edwards A., L. Rosales-Hoz, and A. Monreal-Gómez (1993) Suspended in the Southeastern Gulf of Mexico. Marine Geology, 112:257-269.

Carranza-Edwards, A., L. Rosales-Hoz and S. Santiago-Perez (1996) A Reconnaissance Study of Carbonates in Mexican Beach Sands. Sedimentary Geology 101:261-268.

Carranza-Edwards A. and L. Rosales-Hoz (1995) Grain-size Trend and Provenance of Southwestern Gulf of Mexico Beach Sands. Can. J. Earth Sci. 32: 2009-2014.

Ewing M., D. B. Ericson and Bruce C. Heezen (1958) Sediments and Topography of the Gulf of Mexico.Am. Assoc. Petroleum. Geologists pp 995-1053.

Lecuanda R., P. López García y F. Ramos López (1999) Valoración del Tamaño Promedio y Grado de Clasificación de los Sedimentos de la Plataforma Continental del Sur del Golfo de México. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat., 49:45-55.

Lecuanda R. y F. Ramos López (1998) Delimitación de la Plataforma Continental Mediante un Criterio Geomórfico. Rev. Invest. Mar. 19 (2-3): 75-81.

Lecuanda R. y F. Ramos López (1996) El Límite Exterior de la Plataforma Continental: una Revisión Terminológica y Conceptual. Geografía y Desarrollo, Nº 13: 57-62.

Lecuanda R. y F. Ramos-López (1985a) Análisis en Muestras de Sedimentos: PROGMEX-I.03.83. Informe Técnico Nº1, Laboratorio de Sedimentología, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México D.F., 147 p.

Lecuanda R. y F. Ramos-López (1985b) Distribución de Sedimentos en el Sur del Golfo de México. Informe Técnico N°2, Laboratorio de Sedimentología, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México D.F., 22 p.

Mendoza Cantú M.E. (1994) Estudio Geomorfológico de la Porción Sureste del Golfo de México. Tesis de Licenciatura en Geografía. Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras UNAM, México 69 p.

Mendoza Cantú M.E. y M.A. Ortiz Pérez (2000) Caracterización Geomorfológica del Talud y la Plataforma Continental de Campeche-Yucatán, México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM No 43, pp. 7-31.

Monreal-Gómez M.A., D.A. Salas de León, A.R. Padilla Pilotze and M.A. Alatorre Mendieta (1992) Hidrografía y Estimación de Corrientes de Densidad en el Sur de la Bahía de Campeche, México. Ciencias Marinas 18(4): 115-133.

Morán Centeno, D. 1994. Geology of the Mexican Republic.AAPG No.39.

Rosales-Hoz L., A. Carranza-Edwards, and C. Mendez-Jaime (1999) Metals in Shelf Sediments and Their Association with Continental Discharges in a Tropical Zone. Mar. Freshwater Res., (50): 189-196.

Rosales-Hoz L., A. Carranza-Edwards, S. Santiago-Pérez, C. Méndez-Jaime and R. Doger-Badillo (1994) Study of Anthropogenically Induced Trace Metals on the Continental Shelf in the Southeastern Part of the Gulf of Mexico. Rev. Int. Contam. Ambient. 10(1): 9-13.

Silva Gamboa D.A. y Campos Castán J. (1986) Facies Sedimentarias en la Porción de la Plataforma Continental entre Tampico, Tamps. Y Veracruz, Ver. Inv. Ocean./G. Vol III Nº 2, pp. 35-62.

Uchupi E. (1967) Bathymetry of the Gulf of Mexico, Gulf Coast Assoc. Geol. Soc. Trans. Vol. 17 pp 161-177.

Viniegra-Osotio, F., 1981.El gran banco calcáreo yucateco: Revista Ingeniería no. 1, p. 20-44.

Viniegra-Osorio, 1992. Geología Histórica de México, UNAM.

Distribución de Pastos Marinos

Zunino, M., y C. Palestrini (1991), "El concepto de especie y la biogeografía", *Anales de Biología*, 17 (Biología animal, 6), 85-88.

Manual de usuarioEcoSAV 1, BioSonics, Inc., 4027 Leary Way NW Seatle, WA 98107 U.S. A. 2000-2008.

Nutrientes en agua y sedimentos, y biomasa fitoplanctónica en comunidades de Pastos Marinos.

Alongi, D.M. 1998. Coastal ecosystem processes. *CRC Marine Science Series*, 3.CRC Press.Boca Raton.419 pp.

Aranda-Cirerol, N., J.A. Herrera-Silveira, F.A. Comín. 2006. Nutrient water quality in a tropical coastal zone with groundwater discharge, northwest Yucatán, México. Est. Coast. Shelf Sci. 68: 445-454.

Dennison, W.C. R.C. Aller., y R.S. Alberte.1987. Sediment ammonium availability and eelgrass (*Zostera marina*) growth.Mar. Biol. 94: 469-477.

Duarte, C.M., M. Merino y M. Gallegos. 1995. Evidence of iron deficiency in seagrasses growing above carbonate sediments. Limnol.Oceanogr. 40: 1153-1158.

Erftemeijer, P.L.A. y J.J. Middelburg.1993. Sediment-nutrient interactions in tropical seagrass beds: a comparison between a terrigenous and a carbonate sedimentary environment in south Sulawesi (Indonesia). Mar. Ecol. Prog. Ser. 102: 187-198.

Erftemeijer, P.L.A. 1994. Differences in nutrient concentrations and resources between seagrass communities on carbonate and terrigenous sediments in South Sulawesi, Indonesia. Bull. Mar. Sci 54: 403-419

Erftemeijer, P.L.A., J. Stapel, M.J.E. Smekens y W.M.E Drossaert. 1994. The limited effect of in situ phosphorus and nitrogen additions to seagrass beds on carbonate and terrigenous sediments in South Sulawesi, Indonesia. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 182: 123-140.

Fouerquearn, J.W. J.C. Zieman y G.V.N. Powell. 1992. Relationships between porewater nutrients and seagrasses in a subtropical carbonate environment. Mar. Biol. 114: 57-65.

Hemminga, M., y C. M. Duarte. 2008. Seagrass ecology. Cambridge. 298 p.

Hemminga, M., P.G. Harrison y F. van Lent. 1991. The balance of nutrient losses and gains in seagrass meadows. Mar Ecol. Prog. Ser. 71: 85-92

Mudroch, A. M. y S.M. MacKnight. 1994. Techniques for aquatic sediment sampling. 2a Ed. Lewis Publ. 236 p.

Morales-Ojeda, S.M., J. A. Herrera-Silveira, J. Montero. 2010. Terrestrial and oceanic influence on spatial hydrochemistryand trophic status in subtropical marine near-shore waters. Water Res. 44: 5949-5964

Romero, J., Lee, K.-S., Pérez, M., Mateo, M.A., Alcoverro, T., 2006. Nutrient dynamics in seagrass ecosystems. En: Larkum, A.W.D., Orth, R.J., Duarte, C.M. (Eds.), Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation. Springer, the Netherlands, pp. 227–254.

Sand-Jensen, K., Borum, J., 1991.Interactions among phytoplankton, periphyton, and macrophytes in temperate freshwaters and estuaries.Aquat. Bot. 41: 137–175.

SCOR-UNESCO.1980. Determination of chlorophyll in seawater. UNESCO Technical Papers in Marine Science.France.35 p.

Short, F.T., W.C. Dennison y D.C. Capone.1990.Phosphorus-limited growth of the tropical seagrass *Syringodiumfiliforme* in carbonate sediments. Mar. Ecol. Prog. Ser 62: 169-174.

Short, F.T., J. Montgomery, C.F. Ziemmmerman y C.A. Short.Production and nutrient dynamics of a SyringodiumfiliformeKutz.Seagrass bed in Indian Ribįver Lagoon, Florida. Estuaries 16(2): 323-334.

Strickland, J. D. H. y T. R. Parsons. 1972 (2ª Ed). A Practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Bd. Can. Bull 167.

Touchette, B.W., Burkholder, J.M., 2000. Review of nitrogen and phosphorus metabolism in seagrasses. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 250: 133–167.

Williams, S.J. y M.H. Ruckelshaus. 1993. Efects of nitrogen availability and herbovory on eelgras (*Zostera marina*) and epiphytes. Ecology 74: 904-918.

Ecología Bacteriana en lechos de Pastos Marinos.

Blaabjerg, V., K. N. Mouritsen& K. Finster.1998. Diel cycles of sulphatereduction rates in sediments of a *Zostera marina* bed (Denmark). *Aquatic Microbial Ecology*. 15: 97-102

- Blackburn, T. H., D. B. Nedwell& W. J. Wiebe. 1994. Active mineral cycling in a Jamaicanseagrass sediment. *Marine Ecology Progress Series*. 110: 233-239
- Canfield, D. E., E. Kristensen B. Thamdrup. 2005. The sulfur cycle. A. Southward, P. A. Tyler, C. M. Young & L. A. Fuiman. *Advances in Marine Biology.Aquatic Geomicrobiology*. Elsevier. United Kingdom. 314-381
- Cord-Ruwisch, R. 1985. A quick method for the determination of dissolved and precipitated sulfides in cultures of sulfate-reducing bacteria. *Journal of Microbiological Methods*. 1: 2-10
- Danovaro, R. 1996. Detritus-bacteria-meiofauna interactions in a seagrass bed (*Posidoniaoceanica*) of the NW Mediterranean. *Marine Biology*. 127: 1-13
- Duffy, J. E. 2006. Biodiversity and the functioning of seagrass ecosystem. *Marine Ecology Progress Series*. 311: 233-250
- Epstein, S. S. & J. Rossel. 1995. Enumeration of sandy sediment bacteria: search for optimal protocol. *Marine Ecology Progress Series*. 117: 289-298
- Fonseca, M. S., D. L. Meyer & M. O. Hall. 1992. Development of planted seagrass beds in Tampa Bay, Florida, USA. II. Faunalcomponents. *Marine EcologyProgress Series*. 132: 141-156
- García-Martínez, M., A. López-López, M. Ll. Calleja, N. Marbá& C. Duarte. 2009. Bacterial community dynamics in a seagrass (*Posidoniaoceanica*) meadow sediment. *Estuaries and Coasts*. 32: 276-286
- Guy, H. 2010. The microbial role in carbon cycling within seagrass sediment. *The Plymouth Scientist*. 3: 234-244
- Hansen, J. W., J. W. Udy, C. J. Perry, W. C. Dennison & B. A. Lomstein. 2000. Effect of the seagrass *Zosteracapricorni* on sediment microbial processes. *Marine Ecology Progress Series*. 199: 83-96
- Holmer, M.& S. L. Nielsen. 1997. Sediment sulfur dynamics related to biomass-density patterns in *Zostera marina* (eelgrass) beds. Marine *Ecology Progress Series*.146: 163-171
- Holmer, M., F. Ø. Andersen, S. L. Nielsen & H. T. S. Boschker. 2001. The importance of mineralization based on sulfate reduction for nutrient regeneration in tropical seagrass sediment. *Aguatic Botany*. 71: 1-17
- Holmer, M., C. M. Duarte & N. Marmá.2003. Sulfur cycling and seagrass (*Posidoniaoceanica*) status in carbonate sediments. *Biogeochemistry*. 66: 223-239
- Hungate, R. E. 1969. A roll tube method for cultivation of strict anaerobes.J. R. Norris & D. W. Ribbons. *Methods in Microbiology*. Academic Press. New York, United States. 117-132.

Jørgensen, B. B. 1982. Mineralization of organic matter in the sea-bed- the role of sulphate-reduction. *Nature*. 296: 643-645.

Küsel, K., H. C. Pinkart, H. L. Drake & R. Devereux. 1999. Acetogenic and sulfate-reducing bacteria inhabiting the rhizoplane and deep cortex cells of the sea grass *Halodulewrightii*. Applied and Environmental Microbiology. 65: 5117-5123

Larkrum, A. W. D., R. J. Orth& C. M. Duarte (Eds.). 2006. Seagrasses: Biology, Ecology, and Conservation. Springer.

Moriarty D. J. W., R. L. Iverson & P. C. Pollard. 1986. Exudation of organic carbon by the seagrass *Halodulewrightii* and its effect on bacterial growth in the sediment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 96: 115-126

Nakaoka, M. 2005. Plant-animal interactions in seagrass beds: ongoing and future challenges for understanding population and community dynamics. *Population Ecology.* 47: 167-177

Orth, R. J. & K. A. Moore. 1983. Chesapeake Bay: an unprecedented decline in submerged aquatic vegetation. *Science*. 222: 51-52

Ravot, G., B. Ollivier, M. Margot, M. L. Fardeau, K. C. Patel, G. Prensier, A. Egan & J. L. García. 1995. *Thermotogaelfii*sp. Nov., a novel thermophilic bacterium from an African oil producing well. *International Journal of Systematic Bacteriology*. 45: 308-314.

Smith, A. C., J. E. Kostka, R. Devereux & D. F. Yates. 2004. Seasonal composition and activity of sulfate reducing prokaryotic communities in seagrass bed sediments. *Aquatic Microbial Ecology*.37: 183-195

Welsh, D. T., P. Wellsbury, S. Bourguès, R. de Wit & R. A. Herbert. 1996. Relationship between porewater organic carbon content, sulphate reduction and nitrogen fixation (acetylene reduction) in the rhizosphere of *Zosteranoltii.Hydrobiologia*329: 175-183

Zhang, W., Lin-sheng Song, Jang-Seu Ki, Chun-Kwan Lau, Xiang-Dong Li, Pei-Yuan Qian. 2008. Microbial diversity in polluted harbor sediments II: sulfate-reducing bacterial community assessment using terminal restriction fragment length polymorphism and clone library of *dsrAB* gene. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 76: 682-691

Carbono Organico y Materia Orgánica en sedimentos Asociados a Praderas de Pastos Marinos.

Al-Ghadban AN, Jacob PG, Abdall F. 1994. Total organic carbon in the sediments of the Arabian Gulf and need for biological productivity Investigations. *Marine Pollution Bulletin* 28:356-362

- Baron J., J. Clavier & B.A. Thomassin. 1993. Structure and temporal fluctuations of two intertidal seagrass-bed communities in New Caledonia (SW Pacific Ocean). *Marine Biology* 117:139-145
- Díaz, O.D. &I.A. Liñero2007.Biomass and density of *Thalassiatestudinum* beds in Mochimabay, Venezuela. *ActaBotánicaVenezuélica* 30(1):217-226
- Botello, A.V. & L.G.B. Calva. 1998. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments from Pueblo Viejo, Tamiahua and Tampamachoco Lagoons in the Northern Gulf of Mexico. *BulletinEnvironmentalContamination&Toxicology*.60(1):96-103
- Botello, A.V., L.G.B. Calva, G.V. Ponce.2001. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments from Coastal Lagoons of Veracruz State, Gulf of Mexico. *Bulletin Environmental Contamination & Toxicology 67:889-897*
- Calva, L.G.B. & A.V. Botello. 1999. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments from Sontecomapan Lagoon, Veracruz, Mexico. *Hidrobiológica 9*(1):45-52
- Calva B.L.G., R.A. Torres. 2011. Carbono orgánico y características texturales de sedimentos en áreas del pasto marino Thalassiatestudinum en ecosistemas costeros del Sureste del Golfo de México. *Universidad y Ciencia* 27(2):133-144
- Calva B.L.G., R.A. Torres. 2011. Carbono orgánico y textura de sedimentos de la Laguna Costera Alvarado, Veracruz. *ContactoS 3ª Epoca 81:11-16*
- Calva L.G.B., A. Pérez-Rojas, A. Z. Márquez. 2006. Contenido de Carbono Orgánico y Textura de Sedimentos del Sistema Lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas. N° Especial de Chiapas *Hidrobiológica 16*(2):127-136
- De Falco G, P Magni, LMH Teräsvuori, G Matteucci. 2004. Sediment grain size and organic carbon distribution in the CabrasLagoo (Sardinia, Western Mediterranean). *Chemistry and Ecology* 20(Suppl. 1):367-377
- De Troch M, van Gansbeke MD, Vincx M. 2006. Resource availability and meiofaunain sediments of tropical seagrass beds: Local versus global trends. Marine *Environmental Research* 61(1):59-73
- Díaz RJ, Rosenberg R. 1995. Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. Oceanography and *Marine Biology: an Annual Review* 33:245-303

Díaz OD, Liñero I.A. 2007.Biomass and density of *Thalassiatestudinum* beds in Mochimaba y Venezuela. ActaBotánicaVenezuélica 30(1):217-226

Gaudette H, Flight W, Toner L, Folger D. 1974. An inexpensive tritation method for the determination of organic carbon in recent sediments. Journal of Sediments and Petrology 44(1), 249-253

Gutiérrez AMA, Fuente MGB, Cervantes AM. 2000. Biomasa y densidad de dos especies de pastos marinos en el sur de Quintana Roo, México. *Revista de Biología Tropical* 48(2-3):313-316

Herrera JAS, Cebrian, Hauxwell J, Ramírez JR, Ralph P. 2010. Evidence of negative impacts of ecological tourism on turtlegrass (*Thalassiatestudinum*) beds in a marine protected area of the Mexican Caribbean. *Aquatic Ecology* 44:23-31

Kopecky AL, Dunton KH. 2006. Variability in drift macroalgal abundance in relation to biotic and abiotic factors in two seagrass dominated estuaries in the western Gulf of Mexico. *Estuaries & Coasts* 29(4):617-29

Lobban CHS & Harrison PJ.1997. Seaweed Ecology and Physiology. Cambridge University Press. New York, USA 366 p

Montalvo, J.F. 2006. Caracterización química de los sedimentos superficiales de las bahías de Cárdenas y Santa Clara, Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. Serie Oceanológica. Serie 2:23-33

Rueda, L., A.V. Botello, & Díaz, G. 1997. Presencia de plaguicidas organoclorados en dos sistemas lagunares del Estado de Chiapas, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 13(2),55-61

Valette SN. 1993. The Use of Sediment Cores to Reconstruct Historical Trends in Contamination of Estuarine and Coastal Sediments. *Estuaries*16(3B):577-588

Vargas, A.O., Palacios J.B. & Ospina J.H. 2009. Estructura de praderas de *Thalassiatestudinum*(Bank ex Konig, 1805) en Bahía Sapzurro, Golfo de Urabá, Colombia. *Revista Gestión y Ambiente* 12(3):111-122

Distribución Espacial de la Abundancia de Macroinvertebrados Bentonicos en Praderas de Pastos Marinos.

Barba, E. 2003. Energy fluxes in seagrass ecosystem from a hipersalinity coastal lagoon, Laguna Madre Tamaulipas, México. ERF 2003 Conference Abstracts, Seattle WA, p. 11.

Informe Final

Barba, E. 2005. Valor del hábitat: Distribución de peces en humedales de Tabasco. ECOfronteras 25: 9-11.

Barba, E. y A. J. Sánchez. 2005. Peracarid crustaceans of central Laguna Madre Tamaulipas in the southwestern Gulf of Mexico. Gulf of Mexico Science. 23 (2): 241-247.

Barba, E., A. J. Sánchez, A. Raz-Guzman, y M. E. Gallegos. 2000. Dieta natural y tasa de forrajeo del carideo *Hippolyte zostericola* Smith sobre epífitas de *Thalassia testudinum* Banks et Solander ex König. *Hidrobiológica 10*(2): 139-146.

Barba, E., A. Raz-Guzman and. A. J. Sánchez. 2005. Distribution patterns of estuarine caridean shrimps in the southwestern Gulf of Mexico. *Crustaceana* 78 (6): 709-726.

Barba, M. E. 1999. Variación de la densidad y la biomasa de peces juveniles y decápodos epibénticos de la región central de Laguna Madre, Tamaulipas. *Hidrobiológica 9*(2): 101-114.

Botello, A. V. y L. A. Soto. 1981. Cuantificación de hidrocarburos y metales pesados en sedimentos y organismos marinos (Camarón, Moluscos y Peces) de la Sonda de Campeche. Centro Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México. 80 p.

Bousfield, E.L., 1973. Shallow water Gammaridean Amphipoda of New England. Cornell University

Bravo-Tzompantzi, D., M.E. Caso-Muñoz, A. Laguarda-Figueras, F.A. Solís-Marín, B.E. Buitron-Sánchez y M. Abreu-Pérez. 2000. Equinodermos (Echinodermata: Echinoidea) fósiles y recientes del Golfoy Caribe Mexicano. Edi. Gob. de Campeche. 101 pp.

Bulaniekov, S.K., y C.G. Díaz, 1973. Influencia de los procesos atmosféricos en el afloramiento del Banco de Campeche 4ta. Reunión de balance de trabajo. Instituto Nacional de Peca, la Habana. Informe de investigación No. 2. 29 p.

Carrera P. L. y V. S. Salazar. 1997. Eucínidos (Polychaeta) del caribe mexicano con claves para las especies del Gran Caribe: *Eunice. Rev. Biol. Trop.*,45: 1499-1521.

Caso-Muñoz M. E., Laguarda F. A. y F. A. Marín-Solís. 1994. Contribución al conocimiento de la ecología de la comunidad de equinodermos de la laguna de Términos Campeche, México *Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal.Autón. México.* 21(1-2): 67-85.

Castelblanco-Martínez, D. N., E. Barba-Macías, J. J. Schmitter-Soto, H. A. Hernández-Arana & B. Morales-Vela (2008). Modelo Trófico Preliminar de Bahía de Chetumal (BCtm), Quintana Roo, México. Congreso Mexicano de Ecología, Mérida, México. P.32

Cifuentes-Lemus J.L., P. Torres-García y M. Frías M. 1987. El Océano y Sus Recursos VI. Bentos y Necton. Edt. FCE. 206 pp.

Cruz- Ábrego, F. M. 1991. Tesis Doctoral. Análisis de la distribución de los moluscos bentónicos en los abanicos costeros de los principales ríos del Golfo de México (Tuxpan, Papaloapan, Coatzacoalcos, GrijalvaSan Pedro y San Pablo) y su relación con condiciones ambientales y sedimentos. Fac. Ciencias Univ. Nal. Autón, México. 103 p.

Cruz-Abrego, F. M. 1984. Tesis de licenciatura. Sistemática y algunos aspectos ecológicos de los moluscos de la Sonda de Campeche, México. Fac. Ciencias Univ. Nal. Autón, México. 123 p.

Cruz-Abrego, F. M., A. García-Cubas y F. Flores-Andolais. 1987. Resúmenes del Primer Congreso Internacional de Ciencias del Mar. Contribución al estudio de la fauna malacológica de la Sonda de Campeche, México. Cd. La Habana, Cuba. 1987. 9 al 12 de junio de 1987.

Cruz-Ábrego. F. Hernández, A. P. y V. S. Weiss. 1994. Estudios de la fauna de poliquetos (Annelida) y moluscos (Gastropoda y Bivalvia) asociada con ambientes de pastos marinos (*Thalassia testudinum*) y manglares (*Rhyzophoramangle*) en la laguna de Términos, Campeche, México. *Inst. Cienc. del Mar yLimnol.Univ. Nal. Autón. México.* 21: 1-13.

Davis, R.A., 1964. Foraminiferal assemblages of Alacran Reef, Campeche Bank, México.J.Paleont., (38):417-421p.

De la Lanza, G., M.A. Rodríguez., J. Estrada, 1976. Hidrología de la Bahía de Campeche y Norte de Yucatán. Vol. II. I Reunión Latinoamericana sobre Ciencia y Tecnología de los Océanos. Secretaría de Marina.

Durán R. y M. Méndez (Eds). 2010. Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán. CICY, PPD-FMAM, CONABIO, SEDUMA.496 pp.

Ekdale, A. A. 1972. Thesis master of Arts. Ecology and palcoecology of marine invertebrates communities in calcareus substrates Northeast of Quintana Roo, Mexico. Rice University, Houston, Texas. 159 p.

Ekdale, A. A. 1974. Bull. Mar. Sci., Marine molluses from shallow-water environments (0 to 60 meters) of the northeast Yucatan coast. 638-668 pp.

Escobar-Briones E., y E.L., Jiménez-Guadarrama. 2010. Macrocrustáceos (Peracarida, Decapoda) de fondos carbonatados del sector occidental del banco de Campeche en el sur del golfo de México. Rev. Mex. Biodiv. vol.81

García-Montes, J.F. 1085. Tesis de licenciatura. Aspectos biológicos de las especies de cangrejos Portúnidos del Suroeste del Golfo de México. Esc. Nal. de Estu. Prof. Iztacala. Univ. Nal. Autón, México. 105 pp.

Informe Final

Granados-Barba, A. 1994. Tesis de M. en C. Estudio sistemático de los poliquetos (Cannelida: Polychaeta) de la región de plataformas petroleras del Sur del Golfo de México. Fac. Ciencias. Univ. Nal. Autón, México. 284 pp.

Gundlach, E.R., y K.J. Finkelstein, 1981. Transport, Distribution and Physical characteristics of the oil.Nearshore movement and distribution. Publ.: NOAA OMPA, Boulder; CO (USA): 41-73 p.

Gutiérrez-Estrada, M., 1977. Sedimentología del área de transición entre las provincias terrígena y carbonatada del suroeste del Golfo de México. Tesis M en C. Fac. Ciencias. Univ. Nal. Autón. México. 175 p.

Ibarra-Manzanares, R.A. 1979. Tesis M. en C. del Mar. Examen preliminar de la fauna de crustáceos decápodos de la laguna de Términos, Campeche, México: Distribución y Zoogeografía. Fac. Ciencias del Mar. Univ. Nal. Autón, México. 80 p.

Ithaca, New York, 312 pp.

Klima, E.F., 1976. Marine molluscan general of WesternNort America. An ilustrate key. Standford University Press, California, 2 Ed., 208 p.

Konicker, L.S., and Boyd, 1962. Shallow water geology and environments of Alacran reef complex, Campeche Bank, México. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 46:640-673.

Ledoyer. M. 1986. Fauna mobie des herbiers de phaneragames marines (*Halodule* et *Thalassia*) de La Laguna de Términos (Mexique, Campeche). II. Les gammariens (Crustacea). An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal.Autón. México, 13(3): 171-200.

Leiper, F.F., 1955. Marine metereology of te Gulf of México, its origin, waters and marine life, U.S. Fish Wildlife Serv., Fishery Bull. 89p.

Macko.S.A., J.K. Winters, P.L. Parker, 1982. Gulf of México dissolved hydrocarbons associated with the Ixtoc I Mous. Mar. Pollut. Bull. 13(5): 174-177.

Manickchand-Heileman, S., F. Arreguin-Sanchez, A. Lara-Dominguez & L. A. Soto (1998). "Energy flow and network analysis of Términos Lagoon, SW Gulf of Mexico." Journal of Fish Biology 53(sa): 179-197.

Negreiros-Fransozo M. L., E. Barba, A. J. Sánchez, A. Fransozo, y P. Peralta-Pereira. 1996. The species of *Hippolyte* Leach (Crustacea, Caridea, Hippolytidae) from Terminos Lagoon, southwestern Gulf of Mexico. *Rvsta. Bras. Zool.* 13(3): 539-551.

Ortiz, M., A. Martín, I. Winfield, Y. Díaz y D. Atienza. 2004. Anfípodos (Crustacea: Gammaridea): clave gráfica para la identificación de las familias, géneros y especies marinas y estuarinas del Atlántico occidental tropical. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, México, D.F. 162 p.

Informe Final

Pérez-Rodríguez, R. 1980. Tesis Doctorado. Moluscos de la Plataforma Continental del Golfo de México y Caribe Mexicano. Fac. Ciencias. Univ. Nal. Autón. México. 339p.

Piña, A. C. 1980. Moluscos colectados en la Sonda de Campeche. Secretaría de Marina. México,} D.F. 98 p.

Raz-Guzman, A. y E. Barba. 2000. Seagrass biomass, distribution and associated macrofauna in southwestern Gulf of Mexico coastal lagoons. *Biol. Mar. Medit* 7(2): 271-274.

Reguero-Reza, M.M. 1994. Tesis Doctoral. Estructura de la comunidad de moluscos en lagunas costeras de Veracruz y Tabasco, México. Fac. Ciencias Univ. Nal. Autón, México. 278 p

Rice, E. H. y L. S. Konicker.1962. Mollusks of Alacran reef, Campeche Bank, México. Publ. Univ. Tex. Ins. Sci. 366-463 pp.

Sánchez A. J., A. Raz-Guzman y E. Barba. 1996. Habitat value of seagrasses for decapods in tropical coastal lagoons of the southwestern Gulf of Mexico: an overview. En: Seagrass Biology Proccedings of the International Seagrass Workshop, Western Australia. Rottnest Island, Western Australia, 25-29 January 1996, pp 233-240.

Sánchez-Gil, P., A. Yañez-Arancibia y F. Amezcua-Linares. 1981. Diversidad, distribución y abundancia de las especies y poblaciones de peces demersales de la Sonda de Campeche (verano de 1978). An. Inst. cienc. Del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. Mexico. 8(1):209-240.

Santoyo, H y M. Signoret, 1972. Hidrología y Fitoplancton de un transecto en la plataforma continental de la Bahía de Campeche, México. (agosto, 1972), Rev. Lat. Amer. Microbiol., (15):201-215p.

Solís-Weiss, V. y Carreño, S. 1986. Estudio prospectivo de la macrofauna béntica asociada a las paraderas de *Thalassia testudinum* en la laguna de Términos, Campeche, México. An. Inst. Cienc. Del Mar y Limnología. Univ. Autón. Mexico. 13 (3): 201-216.

Spichak, S.K. y M. Formoso. 1974. Distribución cuantitativa del zoobentos alimenticio en el Banco de Campeche. Resumen de la invest. Núm. 1. Secretaría de Pesca.

Vázquez-Bader A.R. 1988. Tesis. M. en C. del Mar. Comunidades de macroinvertebrados de la plataforma continental del Suroeste del Golfo de México: abundancia y distribución y asociaciónes faunísticas. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. U.A.C.P. y P. Univ. Nal. Autón. México. 141 p.

Vázquez-Bader A.R. 1996. Tesis Doctoral. Comunidades de macroinvertebrados bentónicos en el Suroeste del Golfo de México. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. U.A.C.P. y P. Univ. Nal. Autón. México. 279 p.

Villalobos, A. y M.E. Zamora. 1975. Importancia biológica de la Bahía de Campeche. Mem. I. Simp. Latinoam. Oceanogr. Biol. (México), 25-29 Nov. 1974. 375-394p.

Villalobos, A. y M.E. Zamora. 1977. Importancia biológica de la Bahía de Campeche y de la Península de Yucatán (segunda parte). Mem. II. Simp. Latinoam. Oceanogr. Biol. Cumaná Venezuela, Nov. 24-28. 1975. Publ. Univ. Oriente: 79-117p.

Vokes, H. E. y E. H. Vokes. 1983. Distribution of Shallow Water Marine Mollusca, Yucatan Peninsula, Mexico. Monograph 1. Mesoamerican Ecology Institute Publication. 54p.

Winfield, I., E. Escobar–Briones y F. Álvarez. 2007. Clave para la identificación de los anfípodos bentónicos del golfo de México y el sector norte del mar Caribe. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México, D.F. 197 p.

Yáñez-Arancibia, A; A.L. Lara-Domínguez, P. Sánchez-Gil y John W. Day. 2004. Interacciones ecologicas estuario-mar: marco conceptual para el manejo ambiental costero. Pp. 431-490 p. En: Caso, M; I. Pisanty y E. Ezcurra (Comps). 2004. Diagnóstico Ambiental Del Golfo De México. Secretaría De Medio Ambiente Y Recursos Naturales, Instituto Nacional De Ecología, Instituto De Ecología, A.C., Harte Research Institute For Gulf Of Mexico Studies, Secretaría De Medio Ambiente Y Recursos Naturales. México, D.F. 1122 p.