



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**FUENTES ORGÁNICAS DE CARBONO Y SU
RELACIÓN CON LA ICTIOFAUNA DOMINANTE EN
LAGUNA DE TÉRMINOS, CAMPECHE, MÉXICO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

PRESENTA:

ING. EN ACUICULTURA ÁNGEL ROBERTO GALEANA CORTAZAR

LA PAZ, B.C.S., JULIO DE 2015



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 25 del mes de Junio del 2015 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

"FUENTES ORGÁNICAS DE CARBONO Y SU RELACIÓN CON LA
ICTIOFAUNA DOMINANTE EN LAGUNA DE TÉRMINOS, CAMPECHE, MÉXICO"

Presentada por el alumno:

GALEANA CORTAZAR ÁNGEL ROBERTO
Apellido paterno materno nombre(s)

Con registro:

A	1	3	0	3	7	1
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA

Directores de Tesis

DR. SERGIO AGUÍNIGA GARCÍA
Director de Tesis

DR. MANUEL JESUS ZETINA REJÓN
2º. Director de Tesis

DR. FRANCISCO ARREGUÍN SÁNCHEZ

DR. ALBERTO SÁNCHEZ GONZÁLEZ

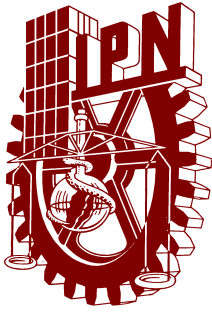
DR. DOMINGO CONCEPCIÓN FLORES HERNÁNDEZ

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ



IPN
CICIMAR
DIRECCION



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 7 del mes julio del año 2015
el (la) que suscribe ING. ÁNGEL ROBERTO GALEANA CORTAZAR alumno(a) del
Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS
con número de registro A130371 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
DR. SERGIO AGUÍÑIGA GARCÍA y DR. MANUEL JESÚS ZETINA REJÓN

y cede los derechos del trabajo titulado:

**"FUENTES ORGÁNICAS DE CARBONO Y SU RELACIÓN CON LA
ICTIOFAUNA DOMINANTE EN LAGUNA DE TÉRMINO, CAMPECHE, MÉXICO"**

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: olach86@gmail.com - saguini@ipn.mx - mzetina@ipn.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

ING. ÁNGEL ROBERTO GALEANA CORTAZAR

nombre y firma

DEDICATORIAS

A MI FAMILIA

A ustedes que me dieron lo que necesitaba y pagarles no podré. Por su apoyo y por siempre estar presente en mi desarrollo académico.

A MI HIJA

Porque sin tú saberlo, me has impulsado a ser mejor persona, a seguir adelante y por lo más importante, porque te amo mi niña hermosa.

“El camino mas difícil, es el que lleva a un mejor destino”

AGRADECIMIENTOS

Agradezco Al Dr. Sergio Aguñiga García y al Dr. Manuel Zetina Rejón, por su gran apoyo y de brindar a mi persona una oportunidad de crecimiento académico, al ser ellos mis directores y guías en el desarrollo de esta tesis.

A los proyectos que permitieron realizar esta tesis: “Procesos de auto-organización y orientadores ecológicos en redes tróficas de ecosistemas marinos” con clave 155900 del fondo SEP-CONACYT, “Long-term effects of environmental changes on the nekton biodiversity and the functioning of tropical estuaries” CONACyT-ANR (111465). También al proyecto de “Isótopos de carbono, nitrógeno y PCB’s en materia orgánica sedimentaria como indicadores de la variabilidad natural y antropogénica en ecosistemas selectos de la zona costera de Sinaloa”, Módulo SIP 20140399 Y 20150360. Al proyecto “Determinación de fuentes de contaminación por metales pesados y OCP’s mediante trazadores de fuentes orgánicas en lagunas costeras mexicanas”, del Proyecto Multidisciplinario 1606 y 1586.

A Dr. Alberto Sánchez y Dr. Francisco Arreguín, por sus consejos, asesorías, comentarios, revisión, sugerencias y apoyo durante la realización de este proyecto.

A la M. C. Laura Carreón Palau y el técnico Ángel Rubalcaba por su apoyo constante, su paciencia, asesorías y consejos. Además de brindarme su ayuda en los laboratorios.

A mi familia, Tíos; Regino, Raymundo, Tere, Leonardo, José, a mis papas; Miguel y Paz, a mi hija Angélica y a su mama Guadalupe, a todos ellos por darme su apoyo durante este tiempo.

Al C.P. Humberto Ceseña y César Casas, quienes desde el inicio hasta el final facilitaron con su ayuda los trámites académicos.

A las instituciones de apoyo económico: El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y el programa Institucional de Formación de Investigadores del Instituto Politécnico Nacional (PIFI).

Al CICIMAR-IPN por la facilitación de sus instalaciones y a cada uno de los docentes por la disponibilidad de tiempo durante los cursos adquiridos.

A todas aquellas personas que compartieron su amistad y ayuda, Ariana, Adrián, Katherine, Olinda, Cristina, Michelle, Juan Carlos, Fabián, Arcos, Payan, Casandra, Gisela, Yasu, Tamayo o todos aquellos que me faltan por mencionar.

ÍNDICE

	PÁGINA
ÍNDICE DE FIGURAS.....	I
ÍNDICE DE TABLAS.....	III
ÍNDICE DE ANEXOS.....	IV
GLOSARIO.....	V
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	IX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	6
2.1 FUENTES ORGÁNICAS DISPONIBLES EN LA LAGUNA DE TÉRMINOS.....	7
2.1.1 MANGLAR.....	7
2.1.2 FITOBENTOS.....	7
2.1.3 SEDIMENTOS.....	8
2.2 ICTIOFAUNA EN LAGUNA DE TÉRMINOS.....	10
2.3 IMPORTANCIA DE LAS FUENTES ORGÁNICAS.....	11
3. ÁREA DE ESTUDIO.....	14
3.1 FUENTES ORGÁNICAS EN LA LAGUNA DE TÉRMINOS.....	15
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
5. OBJETIVOS.....	19
5.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
5.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
6. METODOLOGÍA.....	20
6.1 COLECTA DE MUESTRAS.....	20
6.1.1 PRODUCTORES PRIMARIOS Y SEDIMENTOS.....	20
6.1.2 ICTIOFAUNA.....	21
6.2 PROCESAMIENTO DE MUESTRAS.....	25
6.2.1 ANÁLISIS DE LOS PERFILES DE ÁCIDOS GRASOS EN PRODUCTORES PRIMARIOS, SEDIMENTOS E ICTIOFAUNA.....	25

6.3 ISÓTOPOS ESTABLES DE CARBONO ($\delta^{13}\text{C}$) Y NITRÓGENO ($\delta^{15}\text{N}$).....	27
6.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	27
6.4.1 ANÁLISIS MULTIVARIADOS – PERFILES DE ÁCIDOS GRASOS (AG).....	27
6.4.2. CONTRIBUCIÓN RELATIVA DE PRODUCTORES PRIMARIOS A LA ICTIOFAUNA – ISOTOPOS ESTABLES DE CARBONO ($\delta^{13}\text{C}$) Y NITRÓGENO ($\delta^{15}\text{N}$).....	28
7. RESULTADOS	29
7.1 PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DE LOS PRODUCTORES PRIMARIOS.....	29
7.1.1 IDENTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS CARACTERÍSTICOS DE LOS PRODUCTORES PRIMARIOS - ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	30
7.2 PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DEL MATERIAL ORGÁNICO SEDIMENTARIO (MOS) EN LA ESCALA ESPACIAL.....	32
7.2.1 DISTRIBUCIÓN DE LOS PRODUCTORES PRIMARIOS EN EL SEDIMENTO.....	34
7.2.2 AMBIENTES ÓXICOS – ANÓXICOS.....	37
7.3 LAS FUENTES ORGÁNICAS PRIMARIAS Y SU VARIABILIDAD ESPACIAL EN EL MATERIAL ORGÁNICO SEDIMENTARIO.....	38
7.4 PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DE LA ICTIOFAUNA.....	39
7.5. CONTRIBUCIÓN RELATIVA DE LAS FUENTES ORGÁNICAS A LA ICTIOFAUNA – MODELO DE MEZCLA SIAR.....	44
8. DISCUSIÓN	46
8.1 PERFILES DE ÁCIDOS GRASOS DE LOS PRODUCTORES PRIMARIOS.....	46
8.2 PERFILES DE ÁCIDOS GRASOS DE LAS FUENTES ORGÁNICAS Y SU RELACIÓN CON EL MATERIAL ORGÁNICO SEDIMENTARIO (MOS).....	48

8.3 PERFILES DE ÁCIDOS GRASOS DE LAS FUENTES ORGÁNICAS Y SU RELACIÓN CON LA ICTIOFAUNA EN LAGUNA DE TÉRMINOS CAMPECHE.....	50
9. CONCLUSIONES.....	55
10. LITERATURA CITADA.....	58
11. ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

No.	TÍTULO	PÁGINA
1.	Área de Estudio, Laguna de Términos, Campeche, México.....	14
2.	Estaciones de muestreadas en este estudio (Zona 1 (gris), zona 2 (verde), zona 3 (azul), zona 4 (naranja)).....	21
3.	<i>Diapterus rhombeus</i> (Cuvier, 1829).....	22
4.	<i>Harengula jaguana</i> (Poey, 1865).....	23
5.	<i>Ariopsis felis</i> (Linnaeus, 1766).....	23
6.	<i>Spherooides testudineus</i> (Linnaeus, 1758).....	24
7.	<i>Lutjanus synagris</i> (Linnaeus, 1758).....	24
8.	<i>Synodus foetens</i> (Linnaeus, 1766).....	25
9.	Análisis de componentes principales. Perfil de ácidos grasos de productores primarios en Laguna de Términos, Campeche. Punto de color: morado = mangle, azul = fitoplancton, rojo = macroalgas y verde = pastos marinos.....	31
10.	Composición de Ácidos Grasos del MOS en Laguna de Términos, Campeche. SAT: saturados, M-INSAT: monoinsaturados, P-INSAT: poliinsaturados, ISO-ANTEISO: ramificados impares.....	33
11.	Ácidos Grasos marcadores de las fuentes orgánicas. Proporción relativa de los biomarcadores por estaciones de muestreo.....	33
12.	Distribución de AG del manglar en la materia organica sedimentaria. La escala de isolíneas representa en porcentaje la sumatoria de AG característicos del manglar.....	34
13.	Distribución del fitoplancton en la materia organica sedimentaria. Porcentaje total de AG característicos del fitoplancton.....	35
14.	Distribución del pasto marino en la materia organica sedimentaria. Porcentaje totla de AG característicos del pasto marino.....	36
15.	Distribución de las macroalgas en la materia organica sedimentaria. Porcentaje total de AG característicos del macroalgas.....	36

16.	Distribución de ambiente óxico-anóxico de Laguna Términos, Campeche. Escala ($R = \frac{\Sigma \text{AG Monoinsaturados}}{\Sigma \text{AG ramificados}}$)....	37
17.	a) Ordenación multidimensional no métrica de las zonas de muestreo con base en la relación con las fuentes orgánicas. b) Ubicación de las estaciones de muestreo del sedimento en Laguna de Terminos, Campeche.....	39
18.	Composición de ácidos grasos de la ictiofauna en Laguna de Términos Campeche.....	40
19.	Ordenación multidimensional no métrica de la ictiofauna por su composición de ácidos grasos de origen bacteriano en Laguna de Términos Campeche.....	40
20.	Relación de la ictiofauna con los AG característicos de los productores primarios presentes en el su perfil de AG.....	41
21	Análisis de NMDS, correlacionando a la ictiofauna con AG característicos de las distintas fuentes orgánicas y de las bacterias dominantes en ambientes óxicos anóxicos.....	44
22	Contribución de las fuentes orgánicas a la ictiofauna dominante en Laguna de Términos, Campeche.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

No.	TÍTULO	PÁGINA
1.	Productores primarios y las estaciones de colecta. (n=10).....	29
2.	Composición porcentual de ácidos grasos de los productores primarios en Laguna de Términos, Campeche.....	30
3.	Identificación de ácidos grasos que caracterizan a los productores primarios presentes en Laguna de Términos, Campeche.....	32
4.	Análisis de similitud entre los distintos grupos de la ictiofauna.....	42
5.	Análisis de similitud entre las distintas zonas de captura de la ictiofauna.....	42

ÍNDICE DE ANEXOS

No.	TÍTULO	PÁGINA
1.	Ácidos grasos característicos de productores primarios, bacterias y zooplancton.....	74
2.	Perfil de Ácidos Grasos de los productores primarios por estación en Laguna de Términos. AGS: Ácidos Grasos Saturados, AGM: Ácidos Grasos Monoinsaturados, AGP (<20C): Ácidos Grasos Poliinsaturados menores de 20 Carbonos, AGP (> 20 C): Ácidos Grasos Poliinsaturados mayores de 20 Carbonos, AGB: Ácidos grasos de origen bacteriano.....	75
3.	Perfil de ácidos grasos de productores primarios. R.m (<i>Rhizophora mangle</i>) Ft. (Fitoplancton), T.t (<i>Thalassia testudinum</i>), D.d (<i>Dichotoma dichotoma</i>), F.d (Florideophyceae)..	78
4.	Composición de ácidos grasos de la ictiofauna, agrupamiento por tipos de AG. AGS: Ácidos Grasos Saturados, AGM: Ácidos Grasos Monoinsaturados, AGP: Ácidos Grasos Poliinsaturados, AGB: Ácidos grasos de origen bacteriano. Temporadas, LL: Lluvias, S: Secas, Estaciones: PR: Puerto Real, BC: Boca del Carmen, Sond: Sonda.....	80
5.	Análisis de CLUSTER de la ictiofauna categorizado por zonas (Villegier <i>et. al.</i> , 2010). Los recuadros en colores enmarcan 3 grupos.....	81
6	Gráfica de proporciones de AG característicos de las distintas fuentes orgánicas en el sedimento de Laguna de Términos, Campeche	82

GLOSARIO

Ácidos grasos (AG): Representan un grupo extenso de moléculas, las cuales constituyen la mayoría de los lípidos que se encuentran en todos los organismos. Están formados generalmente por un número par de carbonos, con un grupo carboxilo en un extremo y pueden ser saturados o insaturados.

AG biomarcadores: AG característicos de organismos o grupos de organismos, los cuáles pueden ser transferidos a través de las redes alimentarias, y ofrecen información sobre su condición o proceso del ecosistema.

AG esenciales (AGE): Ácidos grasos que los organismos vertebrados no pueden sintetizar y que deben ser adquiridos por medio de la dieta. Son sintetizados por las células vegetales.

AG monoinsaturado (AGMI): Ácidos grasos con un doble enlace en la cadena de carbonos.

AG poliinsaturados (AGPI): Ácidos grasos que tienen de dos a más dobles enlaces en la cadena de carbonos.

AG saturados (AGS): Ácidos grasos que no tienen ninguna insaturación (doble enlace) presente en la cadena de carbonos.

Red trófica: Conjunto de relaciones alimentarias entre especies de un ecosistema, que va desde productores primarios a depredadores tope.

DHA: Ácido graso (22:6n-3), es un componente importante de los lípidos de la membrana celular de la mayoría de los tejidos en animales especialmente en los lípidos del cerebro y la retina de los ojos. .

EPA: Ácido graso (20:5n-3) que se encuentra en bajas cantidades en los fosfolípidos de los animales y es un componente mayoritario en las algas marinas y aceites de pescados. Es un precursor de algunos eicosanoides.

Fitoplancton: Vegetales, generalmente microscópicos, que se encuentran flotando en el seno de las aguas dulces o marinas.

Isótopo: Átomo de un mismo elemento que ocupan la misma posición en la tabla periódica (definida por el número de protones) pero con diferente número de neutrones y por tanto diferente masa atómica.

Materia orgánica sedimentaria: Es el componente orgánico del suelo, que incluye la biota y organismos descompuestos o en proceso de descomposición.

Metabolismo: Conjunto de reacciones químicas que se desarrollan en los seres vivos durante sus funciones. Comprende la fase de construcción de materia orgánica o anabolismo y la de destrucción o catabolismo.

n-3: También llamados ω -3 (omega-3) debido a que presentan un doble enlace en el tercer carbono contando a partir del extremo metilo. Son los ácidos grasos derivados a partir del ácido α -linolénico por medio de elongación de la cadena o desaturación e incluye ácidos grasos como el EPA y DHA.

n-6: También llamados ω -6 (omega-6) debido a que presentan un doble enlace en el sexto carbono contando a partir del extremo metilo. Son los ácidos grasos derivados a partir del ácido linoléico por medio de elongación de la cadena o desaturación e incluye al ácido graso araquidónico.

Nivel trófico: Posición de los organismos en la red trófica, dicha posición está clasificado por medio de la manera de la cual obtiene su energía.

Plantas C3: Este tipo de plantas fijan el CO_2 realizando el ciclo de Calvin, catalizado por la enzima rubisco, mediante un proceso respiratorio no mitocondrial que consume O_2 y produce CO_2 estimulado por la luz, conocido como fotorrespiración. Es importancia en las plantas C3 porque disminuye la capacidad fotosintética, la velocidad de la fotosíntesis neta decae al fijarse menos carbono con el mismo gasto de agua. Además para compensar la pérdida de CO_2 se tiende a una apertura estomática. Todo esto conlleva a un menor uso eficiente del agua (EUA).

Plantas C4: Plantas adaptadas a ambientes más cálido y secos. El CO_2 llega a las células mesófilas, y se fija por la enzima fosfoenolpiruvato (PEP) que tiene más afinidad por el CO_2 que el rubisco. Este CO_2 se convierte en malato y aspartato que pasarán a las células de la vaina, donde se transformarán en CO_2 que sigue el ciclo de Calvin. La fotorrespiración es inexistente o muy pequeña en estas plantas por la alta concentración de CO_2 en las células de la vaina. Esta variante del proceso de fijación confiere una EUA mayor, puesto que se fija más carbono por molécula de agua.

Triglicérido: Componente mayoritario de los lípidos de reserva formado por tres cadenas de ácidos grasos unidas a un glicerol mediante el grupo carboxilo.

$\delta^{13}\text{C}$: Relación isotópica de carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) expresada en partes por mil sobre un estándar (Pee Dee Belemnite).

$\delta^{15}\text{N}$: Relación isotópica de nitrógeno ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) expresada en partes por mil sobre un estándar (Nitrógeno atmosférico).

RESUMEN

La Laguna de Términos, Campeche, México, es un cuerpo costero de gran interés por el actual crecimiento antropogénico y la variabilidad natural que modifica la distribución de los productores primarios (fitoplancton, manglar, pastos y algas marinas) y asimismo, como esto afecta la distribución de la ictiofauna. Los estudios sobre el efecto que tiene la alteración de en la disponibilidad de fuentes orgánicas, como los productores primarios, sobre la estructura de las comunidades ictiofaunísticas aún son escasos en esta laguna. Los ácidos grasos (AG) y las razones de isótopos estables de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) y nitrógeno ($\delta^{15}\text{N}$) se han usado ampliamente como biomarcadores de las fuentes orgánicas y sus destinos en ecosistemas costeros. En el presente estudio se determinó la variabilidad espacial de las fuentes orgánicas y su transferencia a la ictiofauna dominante (*Diapterus rhombeus*, *Sphoeroides testudineus*, *Herengula*, *Synodus foetens* y *Lutjanus synagris*), utilizando la combinación de AG e isótopos estables en muestras de productores primarios, material orgánico sedimentario (MOS), e ictiofauna de la Laguna de Términos. Los resultados indicaron que los componentes principales del material orgánico particulado (MOS) distribuido en todo el litoral de la laguna son los pastos marinos y manglar, principalmente hacia el oeste (Boca del Carmen). En contraste, el fitoplancton y las algas son componentes principales del MOS en el centro y este de la laguna. Además, la razón de AG típicos de bacterias indicó que en la parte Oeste de la laguna, las condiciones presentan características de anóxicas, mientras que para la zona Este se presenta un ambiente con condiciones óxicas. Con respecto a la relación con la ictiofauna, los resultados indican que sus fuentes orgánicas son principalmente el fitoplancton y las macroalgas. Sin embargo, se observó una importante influencia espacial, porque independientemente de la especie, existe mayor similitud en los perfiles de AG entre aquellas especies que se capturaron en estaciones cercanas entre sí. Adicionalmente, se encontraron evidencias de un flujo energético a través del ciclo microbiano, pues existen partículas del tamaño del fitoplancton (64 μm), pero con AG característicos de pastos marinos, manglar y bacterias. Son notables los AG de origen bacteriano en los tejidos la ictiofauna independientemente de sus

hábitos alimenticios, pero en mayor proporción en peces como el *A. felis* y *D. rhombeus*. En este trabajo el uso de los ácidos grasos resultó una herramienta eficaz para la identificación de las interacciones tróficas entre los productores primarios dominantes y sus consumidores.

ABSTRACT

Laguna de Terminos, Campeche, Mexico, is a coastal body of great interest by the current anthropogenic and natural variability growth amending the distribution of primary producers (phytoplankton, mangrove, grass and seaweed) and how this modifies the distribution of ichthyofauna. Studies on the effect of altering the availability of organic sources, such as primary producers, on the structure of the ichthyofauna communities are still scarce in this lagoon. The fatty acid (FA) and the reasons for stable carbon isotopes ($\delta^{13}\text{C}$) and nitrogen ($\delta^{15}\text{N}$) have been widely used as biomarkers of organic sources and destinations in coastal ecosystems. In the present study the spatial variability of organic sources and transfer to the dominant ichthyofauna (*Diapterus rhombeus*, *Sphoeroides testudineus*, *Herengula*, *Synodus foetens* y *Lutjanus synagris*) was determined using a combination of AG and stable isotopes in samples of primary producers, sedimentary organic matter (SOM), and ichthyofauna in Laguna de Terminos in 2011. The results indicated that the main components of SOM distributed along the coast of the lagoon and mangroves are seagrass, mostly westward (Boca del Carmen). In contrast, phytoplankton and algae are major components of the SOM in the center and east of the lagoon. Also, the ratio of typical bacteria AG said in the western part of the lagoon, the present characteristics of anoxic conditions, whereas to the east an environment with oxic conditions occurs. Regarding the relationship with the fish fauna, the results indicate that its organic sources are mainly phytoplankton and macroalgae. However, a significant spatial influence was observed because regardless of species, there is a greater similarity in the profiles of AG among those species that were captured in nearby stations together. Additionally, evidence was found energy flow through the microbial cycle, since there are particles the size of phytoplankton (64 μm), but with characteristic FA seagrass, mangrove and bacteria. They are notable FA bacterial tissue ichthyofauna regardless of your eating habits, but in greater proportion in fish such as *A. felis* and *D. rhombeus*. In this study the use of fatty acids provided a useful tool to

identify the trophic interactions between the dominant primary producers and their consumers.

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas costeros se caracterizan por sus altos niveles de productividad primaria, altas reservas de materia orgánica y una amplia diversidad de hábitats que ofrecen nichos óptimos a numerosas especies acuáticas que utilizan éstas áreas como refugios y zonas de crianza (Abrantes y Sheaves, 2008). En México existen áreas geográficas contrastantes con un marcado gradiente de humedad latitudinal que define en gran medida la función y servicios ambientales de los cuerpos costeros.

Una característica que define a los ecosistemas costeros tropicales es su alta dinámica hidrológica que resulta del forzamiento provocado por el encuentro de aguas marinas y aguas continentales que trae como consecuencia una heterogeneidad de flujos de materiales y energía que precisamente, definen la presencia espacio-temporal de diversos hábitats. Esto permite el desarrollo de organismos, poblaciones e incluso comunidades con diferentes requerimientos nutricionales.

Los organismos buscan satisfacer éstos requerimientos energéticos en las fuentes orgánicas disponibles en los ecosistemas costeros tropicales, las cuales son: el manglar, el fitoplancton, los pastos marinos, las algas marinas y los sedimentos ricos en materia orgánica. La composición y disponibilidad de las fuentes orgánicas influye significativamente en la biodiversidad resultante en un ecosistema (Canuel *et al.*, 2007, Carreón *et al.*, 2013). De tal manera que, cuando por efecto de causas naturales o actividades antropogénicas, se afecta la disponibilidad de un recurso específico, es posible que se produzcan cambios en el flujo energético de carbono y nitrógeno desde la base trófica, los cuales se conservan hasta los depredadores tope (Micheli y Halpern, 2005, Menard *et al.*, 2007) y en la escala espacio-temporal, introduciendo importantes cambios en la biodiversidad (Villegier *et al.*, 2010).

El conocimiento de la naturaleza de las fuentes energéticas primarias y de su transferencia a la estructura trófica es central para el entendimiento de la dinámica y persistencia de las comunidades en la escala temporal (Martineau *et al.*, 2004). De tal manera que la variabilidad de las principales fuentes orgánicas (mangle, pastos

marinos, macroalgas, fitoplancton) en un ecosistema costero, determinarían el tipo de biota (como la ictiofauna) que predominaría en el espacio y en el tiempo. Luego entonces, la caracterización geoquímica de las fuentes de carbono y nitrógeno de los productores primarios y su variabilidad en la escala espacial o en la serie de tiempo de un registro natural o monitoreo controlado en una escala temporal (Aguíñiga, 1999; Aguíñiga *et al.*, 2010; Sánchez *et al.*, 2013), es de gran importancia para identificar su origen y transferencia dentro de las redes tróficas, así como sus efectos en la biodiversidad y en los ecosistemas costeros.

La heterogeneidad de las fuentes orgánicas en los ecosistemas costeros, es el resultado de eventos naturales incluyendo los catastróficos como las tormentas y huracanes, así como por el efecto antropogénico (*v.g.* los asentamientos humanos, dragados, apertura de bocas, arrastres pesqueros), exploración petrolera y las medidas de mitigación y remediación que se implementan. En este contexto, resulta central la representatividad de los muestreos de las fuentes y destinos orgánicos que serán caracterizados con aproximaciones geoquímicas múltiples.

Determinar la contribución relativa de los diferentes grupos de productores primarios a los consumidores es realmente un reto, ya que los contenidos estomacales introducen sesgos importantes debido a que sólo se detectan remanentes indigeribles de las presas (Dalsgaard *et al.*, 2003) y además es prácticamente imposible de identificar en presas pequeñas o tejidos blandos. Para avanzar en la solución de éstas limitaciones, en la última década se han usado extensivamente las razones de isótopos estables de carbono y nitrógeno, así como los ácidos grasos utilizándolos como marcadores bioquímicos para trazar las fuentes de la producción basal hacia las dietas de los consumidores (Fry, 2006; Kelly y Scheibling, 2012; Romo-Ríos, 2014; Carreón *et al.*, 2013).

Por otro lado, es importante considerar que una aproximación biogeoquímica múltiple basada en biomarcadores como isótopos estables y ácidos grasos en el tejido de un consumidor, implica que se está obteniendo una información integrada de la dieta de los consumidores en escala de semanas a meses, dependiendo de la tasa de recambio del tejido muestreado (Fry, 2006). Se han señalado algunas limitaciones a la aplicación de modelos de mezcla basados estrictamente en isótopos

estables para estimar las contribuciones de las fuentes orgánicas a los consumidores. Estas limitaciones, en teoría, pueden solucionarse con el uso de biomarcadores adicionales como los ácidos grasos. Una limitación importante es que las razones de isótopos estables no reflejan una “taxa” específica y frecuentemente, no pueden diferenciar muchas de las fuentes basales que efectivamente soportan a los consumidores. Por otro lado las firmas de ácidos grasos difieren filogenéticamente y en algunos casos pueden asociarse enteramente a un grupo específico como clorofitas o bacterias (Carreón *et al.*, 2013; Galloway *et al.*, 2014)

Recientemente se ha utilizado el concepto de Ácidos Grasos como Marcadores Tróficos (FATM, por sus siglas en inglés) en ambientes pelágicos (Berge y Barnathan, 2005). Los ácidos grasos (AG), que son una clase particular de lípidos tienen una variedad de funciones celulares con un valor muy alto de energía y son una fuente energética importante en los ecosistemas pelágicos (Phleger *et al.*, 1998; Falk-Petersen *et al.*, 2002). El concepto del FATM se basa en el supuesto de que los productores primarios marinos contienen perfiles de ácidos grasos cuyas características básicas pueden ser transferidas de manera conservativa a través de las tramas tróficas. Sin embargo, el FATM tiene que ser validado para cada ambiente particular y además, los estudios tróficos basados sólo en perfiles de AG, pueden distinguir aquellos que se conservan a través de la trama trófica, el problema es que, un mismo ácido graso puede tener diferentes orígenes y es imposible discriminar qué productor primario es el que aporta su energía a los niveles tróficos superiores. Este problema ha sido resuelto por medio del uso de las razones de los isótopos estables de carbono ($\delta^{13}\text{C}$), ya que puede lograr discriminar isotópicamente las diversas fuentes orgánicas (Carreón *et al.*, 2013, Galloway *et al.*, 2014). El uso en conjunto de ambas herramientas (ácidos grasos y $\delta^{13}\text{C}$ en ácidos grasos), dan una visión específica del origen y transferencia de carbono orgánico en las cadenas tróficas. Sin embargo, esta aproximación geoquímica múltiple requiere una logística y respaldo analítico muy estructurados y la mayoría de los estudios que usan estas técnicas son enfocados a experimentos controlados y de escalas espacio temporales cortas.

En México, los estudios de tramas tróficas en ecosistemas estuarinos son realmente escasos, indicando la necesidad de estudios que aborden el conocimiento

básico de cual reservorio orgánico mantiene la estructura y dinámica de las comunidades bióticas en esos ecosistemas, la sustentabilidad biológica y la dinámica de la interrelación entre los diferentes ecosistemas para el desarrollo de estrategias de manejo. En el Sur del golfo de México, en el estado de Campeche, se ubica Laguna de Términos, que es el cuerpo costero más grande de México y hay un interés primordial sobre la biología del lugar así como los planes de conservación y las actividades de las pesquerías (Yáñez Arancibia *et al.*, 1983; 1988). En el año de 1994, este ecosistema estuarino-lagunar fue nombrado como “Área Natural Protegida de Flora y Fauna” por su alta diversidad de especies y hábitats. Durante las últimas cuatro décadas, Laguna de Términos ha enfrentado diversos impactos antropogénicos como es el desarrollo de la industria petrolera, agrícola y ganadera así como la deforestación de humedales y manglares, ocasionando cambios en las condiciones hidrológicas (Ramos-Miranda *et al.*, 2005) y ecológicas en el ecosistema (Villegier *et al.*, 2010). Tales actividades han ocasionado la disminución y distribución espacial de los productores primarios.

El impacto antropogénico, en la Laguna de Términos, ha resultado en cambios en la cobertura de manglares y de pastos marinos (Herrera-Silveira, 2012). La pérdida de estas fuentes de carbono orgánico, tienen una relación con respecto a especies que se asocian con los pastos marinos. Villegier *et al.* (2010) realizaron un estudio comparando los cambios en la comunidad íctica de Laguna de Términos entre el año de 1980 y 1998. En ese estudio encontraron una disminución en la diversidad y un incremento en la abundancia (kg) de ciertas especies de la ictiofauna, particularmente en el litoral interno de isla del Carmen, donde la biomasa de la especie *Spherooides testudineus* en 1998, fue superior a la registrada en 1980. En contraste, se registró una pérdida de cobertura de pastos marinos asociada a una disminución de abundancia y cambio en la distribución de *Ariopsis felis* entre 1980-1998 para la misma zona.

Estas evidencias fueron bases importantes en el Proyecto ANR-CONACYT (111465) para abordar como la variabilidad en la disponibilidad de fuentes orgánicas afectan la biota en este ecosistema costero. Derivado de éste proyecto, Romo-Ríos (2013) aplicó el modelo SIAR basado en isótopos estables y concluyó

que la distribución del componente ictiofaunístico presenta una relación con la distribución de los productores primarios en la laguna de Términos, como consecuencia del uso como área alimentación, reportando que la ictiofauna del litoral de isla del Carmen, boca de Puerto Real y en la plataforma continental adyacente, presentan una estructura trófica basada en vegetación sumergida mientras que la ictiofauna de la región fluvio-lagunar, presentó una fuente de alimentación basada en el mangle a través del detritus.

Sin embargo, las razones de isótopos estables no pueden establecer que firmas de biomarcadores son diferentes en las fuentes basales y que efectivamente pueden ser transferidas hasta los consumidores. Asimismo, con la aplicación de las razones de isótopos estables resulta ambiguo determinar ambientes de nitrificación o desnitrificación asociados a condiciones óxicas o anóxicas donde habitan los consumidores. Por esto, es evidente la necesidad de un estudio más preciso que valide los resultados previos y relacione fuentes específicas a destinos de especies ícticas específicas y el tipo de ambiente en que se encuentran. En el presente estudio, se utilizó la especificidad de los ácidos grasos para caracterizar los principales productores primarios, determinando su variabilidad espacial y su relación con especies dominantes de la ictiofauna (*i.e.* *Diapterus rhombeus*, *Ariopsis felis*, *Sphoeroides testudineus*, *Harengula jaguana*, *Lutjanus synagris* y *Synodus foetens*), en la laguna de Términos, Campeche, México.

2. ANTECEDENTES

Las lagunas son consideradas como depresiones costeras, someras (<10m), con su eje principal paralelo a la costa, con conexión al mar de manera temporal o permanentemente por uno o más canales y separada de él por una barrera física (Kjerfve, 1994). Por tanto, el marco geológico define el patrón hidrodinámico que domina en el ecosistema costero. En áreas geográficas con aporte de humedad sustantivas, existe la variante de los estuarios que son cuerpos de agua semicerrados perpendiculares a la costa, conectados con el mar abierto por un río. Sin embargo, es frecuente encontrar ecosistemas que incluyen los dos tipos de ambientes interconectados, denominándoseles sistema estuarino-lagunar (Day *et al.*, 1989).

Laguna de Términos y sus áreas adyacentes han sido el objeto de más de 2,000 estudios que han permitido sentar una base de conocimiento sólida sobre sus recursos naturales, la dinámica social de sus pobladores y la interacción histórica entre ambos. Una recopilación de estos estudios puede encontrarse en el Catálogo Bibliográfico de la Región de la Sonda de Campeche (Lara-Domínguez *et al.*, 1990).

Aunque desde tiempos prehispánicos se ha reconocido la riqueza de sus recursos naturales, los antecedentes relacionados con la conservación de la región indican que se trata de un interés basado en el incremento del impacto de las actividades que el hombre realiza en la zona. Los estudios realizados permitieron la obtención de un marco de referencia básico y con un amplio sustento técnico para que esta Área Natural Protegida de Flora y Fauna fuera establecida oficialmente según decreto publicado el 6 de junio de 1994 en el Diario Oficial de la Federación. Sin embargo, el conocimiento de cómo la variabilidad de las diferentes fuentes orgánicas están disponibles para la ictiofauna en la laguna de Términos sigue siendo fragmentado.

2.1. FUENTES ORGÁNICAS DISPONIBLES EN LA LAGUNA DE TÉRMINOS

2.1.1. MANGLAR.

Los bosques de manglares, predominantes en los ecosistemas estuarinos de las regiones tropicales y subtropicales, se caracterizan por una alta producción primaria. El material producido, principalmente hojas, enriquecen el fondo acuático (Fleming *et al.*, 1990). La tasa de descomposición de la hojarasca y la calidad de la materia orgánica particulada resultante y los nutrientes pueden depender de las especies de mangle de las que provengan (Tam *et al.*, 1990). Wafar *et al.* (1997) sugieren que el flujo de energía que se genera a partir de los manglares puede tener un componente importante a través del ciclo microbiano.

En la laguna de Términos, los mangles se encuentran sobre el borde lagunar interno y en la isla del Carmen a menudo se encuentra mezclado con otras asociaciones como los popales, carrizales y tintales. Yáñez-Arancibia *et al.* (1993), reportaron una cobertura de 127,000 ha de mangle. En el área se encuentran *Rhizophora mangle* (mangle rojo), *Laguncularia racemosa* (mangle blanco o "Salko kom"), y *Avicennia germinans* (mangle prieto o negro o "tabche") (Miranda *et al.*, 1963).

2.1.2. FITOBENTOS

Laguna de Términos, Campeche, cuenta con una gran riqueza de fitobentos. Huerta y Garza (1966) señalaron la presencia de 67 especies de macroalgas marinas, mientras que Ortega (1995), actualizó la lista florística de ésta laguna describiendo 7 especies de Cyanophyceae, 55 de Rhodophyceae, 1 Canthophyceae, 9 Pheophyceae, 22 Cyanophyceae y 5 Monocotyledoneae, identificando un total de 99 especies localizadas en diversas áreas, principalmente en sitios con sedimento arenoso, como en la parte central de la laguna de Términos.

Las praderas de pastos marinos, son importantes productores primarios y ecológicamente funcionan como hábitats críticos, zona de refugio y de alimentación

para organismos postlarvales y juveniles del necton. Asimismo son importantes zonas de alimentación para adultos del necton (peces, tortugas) e intercambio energético con el hábitat de manglar. En la laguna de Términos, los pastos marinos se encuentran representados por *Thalassia testudinum*, que es la especie de vegetación sumergida más abundante, siguiendo en sucesión por *Halodule wrightii* y *Syringodium filiforme*. Los pastos marinos se distribuyen en sedimentos arenosos y lodosos principalmente en la costa sur de la isla del Carmen y en la entrada de Puerto Real, es decir las áreas asociadas a las bocas de la laguna.

2.1.3. SEDIMENTOS

El estudio de los sedimentos en las zonas costeras es de gran importancia, ya que contribuyen al conocimiento de la estructura y función de los ecosistemas bentónicos, principalmente en las lagunas costeras, estuarios y embalses. El estudio de estas áreas permite identificar y cuantificar las importantes interacciones entre el sedimento, la columna de agua y la biota, así como los agentes exógenos que se incorporan al sistema. El tipo de sedimento que se puede depositar en un área determinada es un reflejo de la energía predominante y depende de la velocidad de la corriente, las condiciones meteorológicas y de las características de los sedimentos transportados.

Los primeros estudios específicos sobre sedimentos en el sur del Golfo de México y particularmente para Laguna de Términos, Campeche, fueron realizados por Yáñez-Correa (1963), Ayala-Castañares (1963); Thom (1969); Cruz Orozco *et al.* (1989) quienes caracterizaron los procesos costeros de los sedimentos y la distribución en la parte interior de la plataforma continental adyacente a la laguna.

Los tipos de sedimentos que se encuentran en la laguna de Términos son: 1) Arena de transición, distribuidas en el litoral interno de isla del Carmen y en la zona centro-sur-oriental; 2) Limo-arcillosa, distribuido en la porción occidental, sur-occidental, cuenca Central, y desembocadura del estero de Sabancuy al noreste de Laguna de Términos; 3) Lodo fino distribuido en forma de parches en la porción oriental, sur-oriental frente a la desembocadura del sistema Candelaria-Panlau, al

sur; 4) Arena de playa distribuida en todo el litoral de la isla del Carmen y en su litoral continental; 5) Arcillas-limosas aportadas por vía fluvial hacia la laguna interior son más finos. De manera general, los sedimentos predominantes en la laguna de Términos son los limos y arcillas. Sólo hay arenas calcáreas (formadas en su mayoría fragmentos de conchas) en el área de la boca oriental (Puerto Real) y cerca de la barrera arenosa. La boca occidental (boca del Carmen) es limo-arcilloso (Yáñez-Correa, 1963; Borges-Souza, 2004; Romo-Ríos, 2013; Magallanes-Ordoñez, *et al.*, 2015).

Siendo la laguna de Términos formalmente un estuario, la distribución de sedimentos está controlada principalmente por: 1) Aporte de fuentes terrígenas dada la desembocadura de los ríos Palizada, Chumpan y Mamantel; 2) Intensidad de corrientes, oleaje, mareas; 3) Cambio en la elevación del nivel medio del mar; 4) Aportes biológicos; 5) Actividad antropogénica (dragados en las bocas de conexión al mar y a la laguna; arrastres permanentes de la flota pesquera por más de 65 años, desechos de actividades petroleras) (Chávez-Salcedo, 1986).

La alta productividad de la laguna de Términos queda atrapada en sus sedimentos. Raz-Guzmán (1987), determinó un alto contenido de materia orgánica sedimentaria en la laguna de Términos en localidades periféricas donde se encuentra una densa comunidad de manglar, además de vegetación sumergida. Los máximos oscilaron de 11% a 24%, relacionados con el predominio de limo-arcilla. En contraste, en la zona oceánica adyacente con predominio de arena se registraron mínimos del 2%.

Borges-Souza (2004) realizó un estudio granulométrico en la laguna de Términos, encontrando que el mayor porcentaje de MO se encuentra en Boca del Carmen, litoral interno de la isla del Carmen y en la zona sur de la laguna (> 3 %), mientras que en la zona Este (boca de Puerto Real) cuyos datos indican porcentajes por debajo del 2%. En ese estudio se estimó que las principales fuentes de aporte de sedimentos orgánicos están asociadas a las cuencas de los ríos Chumpán y Palizada.

2.2. ICTIOFAUNA EN LA LAGUNA DE TÉRMINOS

En la costa de Campeche, en el sur del Golfo de México, los procesos bióticos y abióticos determinan una gran heterogeneidad de hábitat y en consecuencia, existe una gran diversidad y abundancia de recursos naturales, muchos de ellos de interés comercial. La actividad pesquera es muy importante especialmente en la porción occidental de la costa de Campeche, comprendiendo desde la desembocadura del sistema Chumpam-Balchacah hasta la desembocadura del sistema Grijalva-Usumacinta.

La comunidad de peces en esta región marino-costera se caracteriza por ser abundante y diversa, con una dinámica acoplada tanto a la variabilidad ambiental como a la dinámica de la pesquería. Se ha identificado que los factores físico-químicos del medio como temperatura, salinidad, corrientes, mareas, frecuencia e intensidad de vientos, volumen de descarga de ríos y cambio climático son factores importantes que determinan la estructura y función de la comunidad de peces (Ramos-Miranda *et al.*, 2005b).

Los peces han desarrollado una estrategia de acoplamiento de su ciclo de vida a la variabilidad ambiental tanto en escala espacial como temporal, lo cual se observa tanto especies residentes como en especies ocasionales. Estudios particulares sobre especies dominantes permiten identificar los cambios en la distribución de la abundancia asociada a condiciones o procesos ambientales (Ramos-Miranda *et al.*, 2005a y Ayala-Pérez, 2006).

El concepto de Mecanismo de Producción Natural que desarrollaron Soberón-Chávez y Yáñez-Arancibia (1985), para describir los procesos que mantienen a las pesquerías del sur del Golfo de México, ayudan a explicar la asociación de la abundancia de las especies de peces con las bocas de conexión, zonas de manglar o áreas de vegetación sumergida. En el mismo sentido Ayala-Pérez *et al.* (1993) describe el uso de las cabeceras estuarinas y los sistemas fluvio-lagunares por una abundante y diversa comunidad de peces que integra recursos pesqueros importantes.

2.3. IMPORTANCIA DE LAS FUENTES ORGÁNICAS

En los ecosistemas costeros, como la laguna de Términos, las fuentes orgánicas, como los productores primarios (fitoplancton, pastos marinos, mangles y macroalgas), son degradados y consumidos por diversas comunidades de especies que interactúan e influyen los sitios de regeneración de nutrientes, creando zonas anóxicas y redistribuyendo los elementos bioactivos que definen las vías de la transferencia energética a otros niveles tróficos (Canuel *et al.*, 2007; Galloway *et al.*, 2014).

Por otro lado, en el material orgánico sedimentario, la composición de la materia orgánica afecta directamente su reactividad, ya que los compuestos bioquímicos que la conforman pueden estar perturbados de manera diferente por los mismos procesos (*v.g.* diferencias en la degradación de materia orgánica del mangle y del fitoplancton por el ciclo microbiano). Estos procesos alteran de manera significativa y selectiva la calidad de la materia orgánica disponible para los organismos que componen la red trófica (Canuel *et al.*, 2007; Sánchez *et al.*, 2009), determinando el uso espacial y temporal del hábitat (Galloway *et al.*, 2014), las relaciones de crianza natural y el eventual cambio de especies residentes por especies oportunistas (Wilson y Sheaves, 2001; Villegger *et al.*, 2010).

En Laguna de Términos, existen estudios que han estimado las contribuciones relativas de los productores primarios a la laguna; De la Lanza *et al.* (1991) determinaron que la contribución de carbono orgánico a la laguna de Términos por el fitoplancton es del 52%, la del manglar de 44.9% y la de la vegetación sumergida es de 3.01% (*T. testudinum*). Recientemente Romo-Ríos (2013), usó los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ aplicando el modelo SIAR para la temporada de lluvias del 2011 para estimar la contribución de las fuentes orgánicas al sedimento, encontrando que la mayor contribución del fitoplancton al MOS fue en el área central de la isla del Carmen (zona norte). En contraste, en la zona de la boca del Carmen, así como en el Sur (zona de descarga de los ríos) y el centro de la laguna de Términos, el manglar presentó la contribución más importante. Mientras tanto, los pastos marinos fueron el segundo contribuyente en importancia hacia la zona oeste y sur de la laguna.

Villegger *et al.* (2010) evaluaron los cambios en la estructura funcional de las comunidades de peces y la degradación del hábitat después de cambios ambientales entre 1980 y 1998 para Laguna de Términos. Encontrando que en la década de 1980, las aguas poco profundas a lo largo de la isla del Carmen estaban cubiertas principalmente por pastos marinos. Sin embargo, para la década de 1990, la cobertura de pastos marinos se redujo significativamente en gran parte para esta zona, en especial cerca de la ciudad del Carmen. También identificaron, que en ésta parte de la laguna hubo una disminución en la biomasa de los peces que, en 1980 eran dominantes del lugar (*Sphoeroides testudineus* y *Archosargus rhomboidalis*) y que fueron sustituidos parcialmente por otras especies (*Diapterus rhombeus* y *Eugerres plumieri*) para 1998. Lo anterior dio como resultado una modificación sustancial de la estructura funcional de las comunidades de peces.

Asimismo, Villegger *et al.* (2010), encontraron que las especies que han disminuido en abundancia tienen características funcionales ligadas a los diferentes hábitats definidos por los productores primarios. Las especies *Sphoeroides testudineus* y *Archosargus rhomboidalis* que, en ese trabajo se denominan perdedoras, generalmente se asocian con praderas de pastos marinos, donde se encuentran los moluscos bentónicos y materia vegetal. En contraste, las especies *Diapterus rhombeus* y *Eugerres plumieri* llamadas ganadoras, no registran tal dependencia y están a menudo asociados con zonas fangosas (McEachran y Fechhelm, 2005). Estos resultados sugieren que la sucesión de las especies no fue aleatoria, sino por la relación con las características del hábitat. Por último, Villegger *et al.* (2010) mencionaron que la disminución del hábitat de praderas de pastos marinos con su vegetación epífita y su fauna bentónica asociada, puede ser el principal causante del cambio de distribución espacial de las especies estudiadas en la laguna de Términos.

En base a estos estudios previos se formularon estudios nuevos dentro del proyecto “*Long-term effects of environmental changes on the nekton biodiversity and the functioning of tropical estuaries*”, fondo 111465 ANR-CONACyT. En este contexto, Romo Ríos (2013) concluyó que la variabilidad isotópica de las fuentes orgánicas se correlaciona con la distribución de la ictiofauna, señalando una

estructura trófica basada en pastos marinos y macroalgas en la zona norte de la laguna, mientras que en el sur-suroeste, la estructura trófica estaría basada en el mangle.

En el presente estudio se empleará el uso de los ácidos grasos como marcadores bioquímicos para trazar la transferencia de la materia orgánica en las redes tróficas de ecosistemas costeros (Canuel *et al.*, 1995; Meziane *et al.*, 1997; Kharlamenko *et al.*, 2001 Carreón *et al.*, 2013) y así establecer inferencias sobre el origen y transferencia de las fuentes orgánicas a la ictiofauna dominante dentro del ecosistema de la laguna de Términos.

3. ÁREA DE ESTUDIO

Laguna de Términos se encuentra localizada al sur del Golfo de México (91°15' y 92°00' W y 18°25' y 19°00' N), cubre la planicie costera en la parte suroeste de Campeche y tiene aproximadamente 2,400 Km² de superficie (Fig. 1). Presenta tres épocas climáticas importantes: octubre a enero (época de nortes), febrero a mayo (época de secas) y junio a septiembre (época de lluvias) (Yañez-Arancibia y Day, 1988). Es una laguna costera marginal, extensa y somera que se encuentra separada del mar abierto por una isla de barrera (Isla del Carmen) y con dos bocas de conexión (Puerto Real y Boca del Carmen). Tres ríos principales descargan en la laguna, los ríos Palizada (238.126 m³/s), Candelaria (35.09 m³/s) y Chumpán (1.67 m³/s) (Borges Souza, 2004). La tasa de sedimentación reportada dentro de las zonas de manglar es de 0.5 mm año (Gonnea *et al.*, 2004).

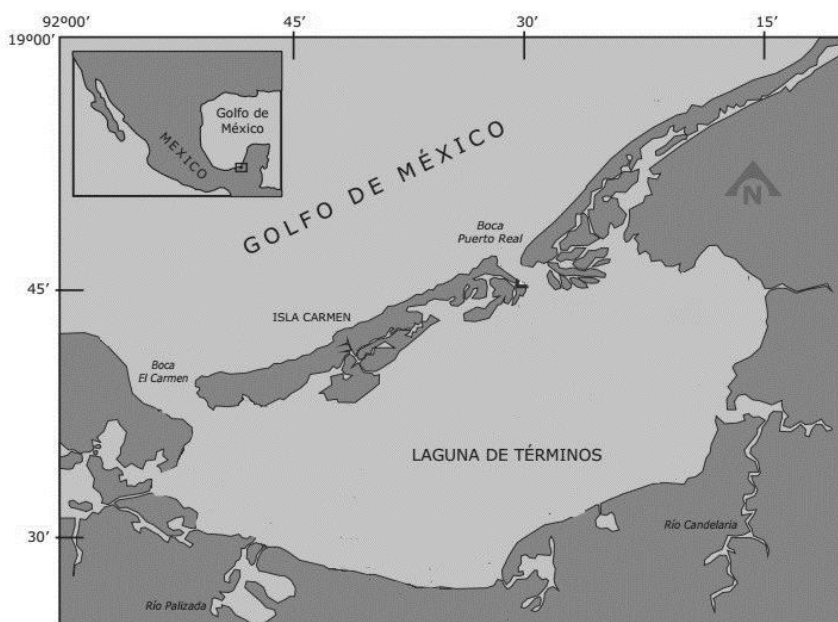


Figura 1. Área de Estudio, Laguna de Términos, Campeche, México.

3.1. FUENTES ORGÁNICAS EN LA LAGUNA DE TÉRMINOS

Laguna de Términos, Campeche, comprende 4 zonas que presentan características distintas entre ellas (Yañez-Arancibia *et al.*, 1988; Villeger *et al.*, 2010; Romo-Ríos, 2013).

ZONA 1 (Boca del Carmen)

Es la región occidental que comprende desde la desembocadura del sistema Chumpan-Balchacah hasta la boca de conexión (boca del Carmen) entre la laguna y la plataforma adyacente. En esta región, el patrón de circulación es de Este a Oeste lo que permite el drenaje de las aguas interiores de la laguna de Términos. El área de Boca del Carmen es influenciada por las aguas del río Palizada, que con abundantes aportes terrígenos finos en suspensión, producen turbidez y forman un delta exterior. Aquí, los sedimentos son finos y su principal fuente de carbono orgánico identificada proviene del manglar y de los pastos marinos.

ZONA 2 (Influencia marina)

Comprende todo el litoral interno de la isla del Carmen incluyendo, la boca de acceso del agua oceánica por la parte Noreste de la laguna, denominada Puerto Real. La principal característica de esta área es que sus sedimentos son arenosos y sus principales fuentes orgánicas son las praderas de pastos marinos, las macroalgas y el manglar en menor proporción.

ZONA 3 (Litoral interno de la laguna)

Esta región se encuentra en la parte sur de la laguna y su principal característica es la influencia de las descargas de los ríos. Esta región, hacia la parte centro-Este, se caracteriza por recibir aporte orgánicos de los pastos marinos y el

manglar. En contraste, hacia el centro-Oeste de la laguna, el manglar es el principal productor primario que aporta el carbono orgánico.

ZONA 4 (Cuenca de transición)

Es la región centro de la laguna de Términos y comprende también la boca de Puerto Real en la región nororiental. En esta zona, los pastos marinos y las macroalgas son la principal fuente de carbono orgánico.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las lagunas costeras son áreas utilizadas comúnmente para la protección, alimentación y reproducción de muchas especies marinas, por lo que gran número de pesquerías litorales dependen de la conservación de estos ecosistemas.

La laguna de Términos, es el paradigma de un área bajo presión antropogénica donde la variabilidad de la disponibilidad de las fuentes orgánicas, por influencia natural o antropogénica, ha impactado la biodiversidad, así como los bienes y servicios que de ella se derivan. Los estudios sobre el efecto que tiene la alteración de la disponibilidad de los productores primarios sobre la estructura de las comunidades ictiofaunísticas aún son insuficientes en la laguna de Términos. En lo particular, es preciso un mayor conocimiento para poder establecer la relación de la variación espacio-temporal de la abundancia y diversidad de las comunidades ícticas con el marco ecológico y así estimar los potenciales efectos de las capturas incidentales en el ecosistema (Ramos-Miranda *et al.*, 2005b).

La reducción de la cobertura que han sufrido los pastos marinos y los manglares en esta laguna posiblemente también ha afectado la estructura de la comunidad de la ictiofauna. Por lo tanto, es necesario determinar la variabilidad espacial y la importancia de las fuentes orgánicas (manglares, pastos marinos, fitoplancton y macroalgas) y su relación con las especies dominantes de ictiofauna, para un buen desarrollo de estrategias de conservación y uso sustentable. Es importante destacar que el material orgánico sedimentario es un valioso registro del transporte de materiales orgánicos e inorgánicos y los procesos biogeoquímicos inherentes, a lo largo del tiempo.

Con este marco teórico de referencia, se planteó la necesidad de discriminar con moléculas orgánicas específicas (Ácidos Grasos) e isótopos estables de carbono y nitrógeno, para determinar la relación que existe entre las fuentes de carbono y sus destinos, específicamente hacia algunas especies dominantes de la ictiofauna y los sedimentos en la laguna de Términos.

Al utilizar los perfiles de ácidos grasos como un biomarcador se integró el comportamiento de alimentación en escalas de tiempo más largas, evitando tener

sesgos asociados a los tiempos de digestión (Dalsgaard *et al.*, 2003). Sin embargo, los ácidos grasos rara vez son específicos para un organismo en particular, y los cambios en las condiciones ambientales que afectan las tasas metabólicas pueden alterar la producción, el almacenamiento o la conversión de los ácidos grasos. Por lo tanto, en ausencia de datos sobre el metabolismo, la evidencia más fiable de enlaces tróficos surge de la transferencia de múltiples ácidos grasos en cantidades significativas. De esta manera, las composiciones de los ácidos grasos se consideran principalmente como indicador cualitativo de los vínculos tróficos en lugar de los indicadores cuantitativos de la fuerza de tales enlaces (Dalsgaard *et al.*, 2003). Su identificación también se basa en el hecho de que cada fuente orgánica se puede diferenciar por la presencia o ausencia de ciertos ácidos grasos, los cuales son sintetizados *de novo*.

Adicionalmente, al incluir otro biomarcador bioquímico ($\delta^{13}\text{C}$ $\delta^{15}\text{N}$) en la misma materia orgánica analizada con ácidos grasos, se pudieron combinar los resultados incrementando la precisión de la inferencia sobre la contribución relativa de las diferentes fuentes orgánicas a especies dominantes de la ictiofauna de la laguna de Términos.

En conjunto, si consideramos que el material orgánico sedimentario estimado aquí como un registro integrador de las interacciones biogeoquímicas que incluyen la variabilidad de las fuentes orgánicas resultante de condiciones naturales y actividades antropogénicas, luego entonces, podríamos establecer si la variabilidad espacial de las fuentes orgánicas y los ambiente óxicos o anóxicos asociados, mantiene una relación con el tipo de ictiofauna dominante en un ecosistema costero.

Dentro de estos conceptos, las fuentes orgánicas se pueden discriminar a partir de su caracterización utilizando biomarcadores bioquímicos (ácidos grasos e isotopos estables), por lo que es posible identificar su transferencia al sedimento para estimar su variabilidad espacial y a través de la red trófica y así determinar específicamente cuáles fuentes orgánicas sustentan a la ictiofauna, indicando su importancia relativa.

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la variabilidad espacial de las principales fuentes orgánicas y su relación con algunas especies dominantes de la ictiofauna en Laguna de Términos, Campeche, México.

5.1.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar con perfiles de ácidos grasos y $\delta^{13}\text{C}$ a los productores primarios, el material orgánico sedimentario y algunas especies dominantes de la ictiofauna en Laguna de Términos.
- Determinar la variabilidad espacial de las fuentes orgánicas en el material orgánico sedimentario identificando ambientes predominantemente óxicos y anóxicos.
- Caracterizar la relación de las principales fuentes orgánicas con algunas especies dominantes de la ictiofauna de Laguna de Términos.

6. METODOLOGÍA

6.1. RECOLECTA DE MUESTRAS

La recolecta de las muestras biológicas y del sedimento se realizaron durante los meses de febrero a mayo y de junio a septiembre del 2011 (época de secas y de lluvias, respectivamente). Las muestras fueron recolectadas en estaciones representativas de la zonas propuestas por Villéger *et al.* (2010). La recolección de las muestras para ácidos grasos, incluyó el muestreo de 10 estaciones. Éstas estaciones se ubicaron en la zona 1-boca del Carmen (Est. 1, 3 y 4), zona 2-en el litoral interno de isla del Carmen y boca de Puerto Real (Est. 5 y 14), zona 3-la desembocadura de los ríos (Palizada, Chumpan y el sistema Candelaria-Panlau) (Est. 11, 12, y 16) y zona 4-en el centro de la laguna donde se encuentran las Estaciones 7 y 10 (Fig. 2).

6.1.1. PRODUCTORES PRIMARIOS Y SEDIMENTOS

El sedimento se muestreó únicamente en la temporada de lluvias (junio-septiembre) del 2011. Estas muestras fueron extraídas del fondo utilizando un nucleador de caja, lo que permitió recolectar el sedimento superficial sin perturbarlo. Una vez extraído el nucleador, las muestras de sedimento se recolectaron tomando la parte superficial (1 cm aprox.) en viales de vidrio y se procedió a congelarlas. En el caso de las muestras de los productores primarios, estas fueron recolectadas en la época de secas (febrero-mayo), en sincronía con los muestreos de la ictiofauna que se realizaron con una red de arrastre de fondo o “chango”. El fitoplancton fue recolectado mediante arrastres de superficie, con redes de plancton con luz de malla de 64 μm , mientras que las muestras de manglar, pastos marinos y macroalgas fueron recolectados cuando estos se encontraban presentes a la deriva durante la recolecta de la ictiofauna. Las muestras de sedimentos y productores primarios se congelaron a -20°C y se transportaron al CICIMAR-IPN donde fueron liofilizadas y analizadas en el Laboratorio de Espectrometría de Masas del CICIMAR (LESMA).

Los resultados isotópicos fueron reportados por Romo-Ríos (2013). Las muestras para determinar ácidos grasos se liofilizaron y se mantuvieron a -20°C hasta su análisis en la Universidad de Newfoundland en Canadá y en el CIBNOR en B. C. S.



Figura 2. Estaciones de muestreo en Laguna de Términos: zona 1 (gris), zona 2 (verde), zona 3 (azul) y zona 4 (naranja).

6.1.2. ICTIOFAUNA

Las capturas de la ictiofauna en la laguna de Términos fueron diurnas durante la época de secas y lluvias del 2011, a una profundidad menor a 4 m. Para la captura, se utilizó una red de prueba camaronera con una luz de malla de $\frac{3}{4}$ ". Cada arrastre fue con una velocidad promedio de 2 nudos durante 12 minutos. Una vez recuperada la red, los organismos recolectados fueron limpiados, separados, etiquetados y enhielados para su análisis en el laboratorio del Instituto EPOMEX de la Universidad Autónoma de Campeche (UAC), donde se identificó la especie íctica y se diseccionó una muestra de músculo junto a la aleta dorsal de cada organismo. La

muestra congelada se trasladó al CICIMAR-IPN para su liofilización y análisis en el LESMA. Los resultados fueron reportados por Romo-Ríos (2013).

En el presente estudio se seleccionaron, para los análisis de ácidos grasos y el reprocesado de sus valores de $\delta^{13}\text{C}$, algunas especies de la ictiofauna reportadas como dominantes en Laguna de Términos y porque se han reportado con hábitos alimentarios contrastantes (Ayala *et al.*, 2002; Ramos-Miranda *et al.*, 2005; Romo-Ríos, 2013, Villeger *et al.*, 2010; Yañez-Arancibia *et al.*, 1985a). Estas especies fueron:

Diapterus rhombeus (Fig. 3). Este organismo está identificado como una especie dominante asociada principalmente a zonas con vegetación sumergida como las praderas de pastos marinos. Asimismo, se ha reportado como una especie con hábitos alimentarios de tipo omnívoro (Vargas-Maldonado *et al.*, 1981). Se alimenta principalmente de detritus vegetal y fauna de tamaño pequeño. Su distribución comprende las cuatro zonas clasificadas dentro de la laguna, siendo dominantes en la zona 3 (Fig. 2). Su abundancia es estacional y se registra una explotación pesquera regular.



Figura 3. *Diapterus rhombeus* (Cuvier, 1829).

Harengula jaguana (Fig. 4). Este pez se distribuye principalmente en la boca de Puerto Real y el litoral interno de la isla del Carmen. Presenta una alimentación omnívora con tendencia a una dieta basada en organismos de tamaño pequeño y detritus vegetales.



Figura 4. *Harengula jaguana* (Poey, 1865).

Ariopsis felis (Fig. 5). Esta especie es considerada como residente y dominante en la zona de boca del Carmen (zona 1) y Suroeste (en el litoral interno, zona 2), también se ha registrado una presencia estacional hacia el centro (zona 4) y litoral interno de la laguna (zona 3). Es omnívoro y se asocia principalmente a la vegetación sumergida. La pesquería sobre este pez es regular. Son organismos carnívoros pero incluyen en su dieta cantidades pequeñas de vegetales y detritus.



Figura 5. *Ariopsis felis* (Linnaeus, 1766).

Sphoeroides testudineus (Fig. 6). Se localiza de manera ocasional en la parte norte de la laguna, mientras que hacia el sur, su presencia es estacional y presentan dominancia hacia la parte central y también en boca del Carmen. Su dieta es similar a la del bagre (*Ariopsis felis*), son carnívoros pero se reportan pequeñas ingestas de vegetales y detritus.



Figura 6. *Sphoeroides testudineus* (Linnaeus, 1758).

Lutjanus synagris (Fig. 7). Esta especie se distribuye principalmente en el litoral interno de la Isla del Carmen y sus abundancias son bajas, pero son especies que siempre están presentes dentro de la laguna. Con respecto a su tipo de alimentación, estos organismos son básicamente carnívoros.



Figura 7. *Lutjanus synagris* (Linnaeus, 1758).

Synodus foetens (Fig. 8). Las mayores abundancias de esta especie son en la sonda adyacente fuera de la laguna; sin embargo, es una especie recurrente que se registra dentro de la laguna. Las zonas 1 (boca del Carmen) y 2 (boca de Puerto Real) registran las mayores abundancias en la laguna. Su dieta se basa en alimentarse de otros organismos vivos; son clasificados como peces carnívoros.



Figura 8. *Synodus foetens* (Linnaeus, 1766).

6.2. PROCESAMIENTO DE MUESTRAS

6.2.1. ANÁLISIS DE LOS PERFILES DE ÁCIDOS GRASOS EN PRODUCTORES PRIMARIOS, SEDIMENTOS E ICTIOFAUNA

Los análisis de los perfiles de las muestras (productores primarios, sedimentos y músculo de los peces) se realizaron en dos instituciones. Se tuvo especial cuidado de mantener la viabilidad de las muestras las cuales siempre estuvieron a -20°C hasta liofilizarse, evitando así la oxidación y maximizando la viabilidad de las moléculas orgánicas. Las muestras selectas fueron enviadas a la Universidad de Newfoundland, Canadá, para obtener los perfiles de ácidos grasos. Algunos análisis de AG del músculo de los peces se determinaron en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), La Paz, México.

Tanto en la Universidad de Newfoundland como en el CIBNOR se siguió la metodología reportada por Parrish (1999) y Carreón *et al* (2013) para determinar el perfil de ácidos grasos de las muestras que incluyó, la extracción por Folch, saponificación y metilación para luego cuantificarse por cromatografía de gases con detector de ionización de flama (FID) usando una columna capilar de fase inversa. Cada muestra fue pesada en una balanza analítica (precisión 0.001 mg) y colocada en tubos de ensayo. Para la extracción de los lípidos, se agregó ácido clorhídrico, metanol y agua a 2:1:0.8. La derivatización o metilación de los ácidos grasos se realizó con ácido clorhídrico y metanol 5:95. Esta mezcla se homogeniza y se llevan a una temperatura de 85°C durante 2 hrs y media (Sato y Murata, 1988). Este

procedimiento, asegura que los AG sean metilados y por tanto sean volátiles en el cromatógrafo de gases. Los ácidos grasos metilados (AGEM) se extrajeron en hexano puro mediante una pipeta pasteur, este procedimiento de lavado se repitió tres veces y al final, el hexano fue eliminado por evaporación bajo corriente de gas nitrógeno UAP. Los AGEM se recuperaron en 0.5 ml de hexano puro en viales con inserto de 10 micro litros. El contenido de los viales se analizó con un cromatógrafo de gases con detector FID con automuestreador. Los picos del cromatograma resultante, se identificaron por el tiempo de retención de los estándares y la interpretación de espectros de masa. Las áreas se integraron con el software Wsearch 32 (Wsearch 2008; versión 1.6 2005). La cuantificación se hizo por interpolación de áreas de los picos con una curva de calibración de 37 estándares de ácidos grasos (Supelco 47885-U). La concentración total de AGEM identificados en la muestra ($\mu\text{g mL}^{-1}$) se consideró como 100%, cada molécula AGEM se calculó como una proporción de la AGEM total identificado.

Para identificar los ácidos grasos que caracterizan a los productores primarios recolectados, se realizaron análisis descriptivos contrastando los perfiles de AG observados con los de la literatura publicada (ANEXO 1). Estos ácidos grasos se utilizaron como biomarcadores para identificar cuales grupos de productores primarios estaban presentes en las muestras de los sedimentos y de los músculos de los peces.

Para representar la distribución espacial de los productores primarios en el material orgánico sedimentario (MOS) de la laguna de Términos, se identificó y cuantificó el porcentaje total de los AG que son biomarcadores de cada uno de los productores primarios en cada estación de muestreo del MOS. La variabilidad espacial de los productores primarios en la MOS se obtuvo interpolando y graficando con el programa SURFER, versión 10.1.561.

Por otro lado, para la estimación cuantitativa de ambientes óxicos y anóxicos en la laguna, se hizo una sumatoria de los ácidos grasos de origen bacteriano que son característicos de ambientes óxicos (AG monoinsaturados) y la sumatoria de los que son característicos de ambientes anóxicos (AG ramificados) (ANEXO 1). Con estas sumatorias, se calculó la Razón de Ácidos Grasos Bacterianos (R_{AGB}) como la

proporción de la sumatorias de ambos AG (Rajendran *et al.*, 1992, Aguiñiga, 1999), esto es:

$$R_{AGB} = \Sigma \text{ AG Monoinsaturados} / \Sigma \text{ AG ramificados}$$

Donde “ R_{AGB} ” es obtenida por las contribuciones de ambos tipos de bacterias (óxicas y anóxicas) y es representativa de la actividad bacteriana y del tipo de ambiente que predomina los sedimentos de la laguna. Valores >1 nos indican un ambiente óxico; mientras que valores <1 nos indican ambientes anóxicos.

6.3. ISÓTOPOS ESTABLES DE CARBONO ($\delta^{13}\text{C}$) Y NITRÓGENO ($\delta^{15}\text{N}$)

Para identificar la relación entre los productores primarios y su transferencia a las especies dominantes analizadas con ácidos grasos en este estudio, se consideraron los datos de $\delta^{13}\text{C}$ y nitrógeno $\delta^{15}\text{N}$ de los productores primarios y de especies de la ictiofauna reportados por Romo-Ríos (2013). Los datos isotópicos de las especies ícticas consideradas en este estudio fueron específicamente los de las estaciones donde se determinaron ácidos grasos. Los AG se analizaron en las mismas muestras en las que se determinaron los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y de $\delta^{15}\text{N}$.

Este tipo de aproximaciones utilizando la combinación de ácidos grasos e isótopos estables han sido aplicadas en estudios de identificación de fuentes alimenticias (productores primarios) en consumidores dominantes (macrofauna) (Nyssen *et al.*, 2005; Benoit Lebreton *et al.*, 2010; Lebreton *et al.*, 2011; Carreón *et al.*, 2013).

6.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

6.4.1. ANÁLISIS MULTIVARIADOS – PERFILES DE ÁCIDOS GRASOS (AG)

Para identificar los destinos de las fuentes orgánicas con datos de AG, se realizaron análisis multivariados de componentes principales. Esta exploración

estadística permite: a) Identificar los AG que caracterizan grupos y así discriminar entre los clúster o grupos resultantes, y b) Permiten examinar interacciones tróficas y diferencias espacio temporales entre distintos grupos de organismos (Cruz-Vizcaíno, 2005; Budge *et al.*, 2006; Canuel *et al.*, 2007; Rueda-Flores, 2007; Iverson, 2008; Carreón-Palau *et al.*, 2013). Asimismo, se realizaron Análisis de Similitud (ANOSIM, Clarke 1993), para comparar las variaciones en los ácidos grasos entre: 1) Las diferentes especies de la ictiofauna, y 2) Las diferentes zonas de muestreo de la ictiofauna (Fig. 2). Los análisis se realizaron con el software PRIMER 6 versión 6.1.6.

6.4.2. CONTRIBUCIÓN RELATIVA DE PRODUCTORES PRIMARIOS A LA ICTIOFAUNA – ISOTOPOS ESTABLES DE CARBONO ($\delta^{13}\text{C}$) Y NITRÓGENO ($\delta^{15}\text{N}$)

Con un subgrupo de datos de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ reportados por Romo-Ríos (2013), y que corresponden a las mismas muestras analizadas para determinar los AG, se determinó la contribución relativa de cada grupo de productor primario al músculo de los peces. Lo anterior bajo la premisa de que cada productor primario tiene un valor de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ específico, por lo cual es posible trazar este valor hasta los destinos de niveles tróficos superiores, en este caso especies dominantes de la ictiofauna. Para ello, se utilizó el lenguaje R 2.15 (www.r-project.org), en combinación con el paquete SIAR (Stable Isotope Analysis in R, Parnell *et al.*, 2010; www.cran.r-project.org/Package=siar).

7. RESULTADOS

7.1. PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DE LOS PRODUCTORES PRIMARIOS

En la Tabla 1 se muestran el número de muestras en las estaciones de recolección. Para cada muestra se determinaron 55 tipos de AG expresados en porcentaje, lo que compone el llamado *perfil de ácidos grasos* de una sola muestra. Se determinaron los perfiles de AG de 10 muestras, entre el manglar (*Rhizophora mangle*), pastos marinos (*Thalassia testudinum*), fitoplancton y de las macroalgas. En éstas últimas, se identificaron algas rojas (Familia: Florideophyceae) y un alga parda (*Dictyota dichotoma*)

TABLA 1: Productores primarios y las estaciones de colecta ($n = 10$).

Productores Primarios	Estación de recolecta	n
<i>Rhizophora mangle</i>	14 y 16	2
Fitoplancton	02 y 11	2
<i>Thalassia testudinum</i>	09 y 10	2
Florideophyceae.	05, 09 y 10	3
<i>D. dichotoma</i>	05	1

De los 55 ácidos grasos detectados, se identificaron 8 AG saturados (AGS), 17 AG monoinsaturados (AGM), 11 AG poliinsaturados cuya cadena está estructurada por un número menor a 20 carbonos (C) (AGP <20C), 10 AG poliinsaturados cuya cadena está estructurada por un número mayor a 20 C (AGP > 20C) y 9 AG característicos de un origen bacteriano (AGB). Los resultados se expresaron en porcentaje e indican la cantidad de AG presentes en cada productor primario (ANEXO 2). Se destaca que la mayor proporción de AG presentes en las fuentes orgánicas fueron los AGS, seguidos por los AGM. De manera específica, el 16:0 fue el AG que presenta los porcentajes más altos en las muestras, sus valores

van desde 34.9% para las algas marinas a un 51% para las plantas vasculares (ANEXO 3).

Los ácidos grasos característicos de bacterias (AGB) se registraron en todas las fuentes orgánicas con porcentajes relativamente homogéneos. Los máximos porcentajes ($6.4 \pm 1.3\%$) se observaron en las muestras de fitoplancton y de los pastos marinos ($5.8 \pm 1.2\%$), seguida de las macroalgas rojas y pardas con valores de $5.5 \pm 1.0\%$ y de $4.7 \pm 0.0\%$, respectivamente. Los AGB de las muestras de mangle observaron valores de $3.9 \pm 0.6\%$ (TABLA 2). Por otro lado, el ácido graso esencial DHA (22:6 n3) presentó un porcentaje inusualmente alto (4.5%) en las 2 muestras de mangle (ANEXO 3).

TABLA 2. Composición porcentual de ácidos grasos de los productores primarios en Laguna de Términos, Campeche.

TIPO DE AG	<i>R. mangle</i>	Fitoplancton	<i>T. testudinum</i>	<i>D. dichotoma</i>	Florideophyceae
Σ AGS	69.6 \pm 3.2	68.9 \pm 3.4	55.0 \pm 2.7	61.4	52.8 \pm 11.4
Σ AGM	15.4 \pm 0.8	22.7 \pm 4.4	20.6 \pm 5.2	27.3	27.7 \pm 5.5
Σ AGP (< 20 C)	7.5 \pm 2.2	1.0 \pm 0.5	15.2 \pm 0.1	2.9	6.2 \pm 3.2
Σ AGP (> 20 C)	3.6 \pm 2.5	0.9 \pm 0.2	3.4 \pm 1.4	3.6	7.7 \pm 3.2
Σ AGB	3.9 \pm 0.6	6.4 \pm 1.3	5.8 \pm 1.2	4.7	5.5 \pm 1.0

7.1.1. IDENTIFICACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS CARACTERÍSTICOS DE LOS PRODUCTORES PRIMARIOS - ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Los resultados del análisis de componentes principales mostró que el primer componente explica un 45.21% de la varianza total y el segundo un 27.49%. En el componente 1, de manera positiva, el peso principal lo presentan los AGP (18:4 n3, 16:2 n4, 20:4 n6, 20:5 n3), mientras que de manera negativa son los AGS (22:0, 23:0 24:0) y algunos poliinsaturados (22:6 n3, 18:3 n3). Mientras que el segundo componente, los principales pesos los tienen los AGM (18:1 n7, 20:1 n7, 22:1 n9) y AGP <20C (16:2 n4, 18:3 n3, 18:2 n6) y de manera negativa los principales pesos se observan en los AGB (ai 15:0, i17:0) y saturados (14:0, 16:0, 20:0) (Fig. 9).

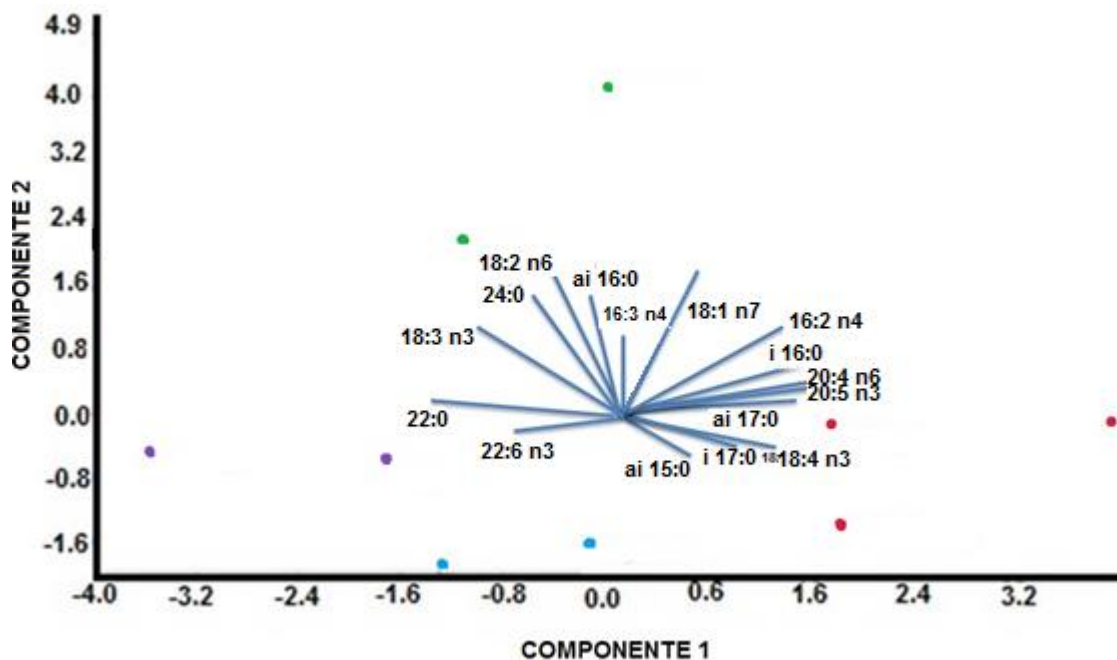


Figura 9. Análisis de componentes principales. Perfil de ácidos grasos de productores primarios en Laguna de Términos, Campeche. Punto de color: morado = mangle, azul = fitoplancton, rojo = macroalgas y verde = pastos marinos.

En la Figura 9 se observa en análisis de componentes principales realizados con los perfiles de AG de las fuentes orgánicas presentes en la laguna de Términos. Observamos que el manglar es caracterizado por AGS y AGP > 20C, mientras que los pastos marinos son identificados con AGP < 20C y AGS (v.g. 24:0). El fitoplancton se caracteriza por los AGS y AGM y las macroalgas son principalmente caracterizadas por AGP (Tabla 3).

TABLA 3. Identificación de ácidos grasos que caracterizan a los productores primarios presentes en Laguna de Términos, Campeche.

Productores Primarios	Ácidos Grasos (característico de productores primarios)
<i>R. mangle</i>	22:0, 23:0, 22:6 n3, 22:4 n3
Fitoplancton	21:0, 20:1 n7, 20:0, 22:1 n9, 20:0, 18:0, 17:0
<i>T. testudinum</i>	18:3 n3, 16:2 n4, 18:2 n6, 24:0.
Macroalgas	20:4 n6, 20:5 n3, 18:4 n3, 18:1 n5, 18:1 n11, 16:1 n11, 20:3 n6.

7.2. PERFILES DE ÁCIDOS GRASOS DEL MATERIAL ORGÁNICO SEDIMENTARIO (MOS) EN LA ESCALA ESPACIAL

La composición de ácidos grasos del MOS en la laguna de Términos, se presenta en la Figura 10, con los siguientes acrónimos: SAT - saturados, M-INSAT- monoinsaturados, P-INSAT- poliinsaturados, ISO-ANTEISO- ramificados impares. Se realizó la suma de cada grupo de AG (SAT, M-INSAT, P-INSAT, ISO-ANTEISO) de todas las estaciones, el cual fue considerado como 100 % de AG en el sedimento de la laguna. Posteriormente, se realizó la suma de cada tipo de AG únicamente en las zonas de muestreo y se calculó el porcentaje relativo de la zona con respecto al porcentaje total de AG presentes en el sedimento de Laguna de Términos. Los resultados describen que en la Zona 1 (Z1), se presentan los mayores porcentajes de AG (SAT= 46 %, M-INSAT= 34 %, P-INSAT= 39 %, ISO-ANTEISO= 47 %) en comparación con las otras tres zonas. Los AG P-INSAT se encuentran con el menor porcentaje en la Zona 2 (Z2) y Zona (Z3), 14 % y 19 % respectivamente. Mientras que los AG M-INSAT están presentes en un 13% en la Zona 4 (Z4), 24 % en la Z2 29 % en la Z3 (Fig. 10).

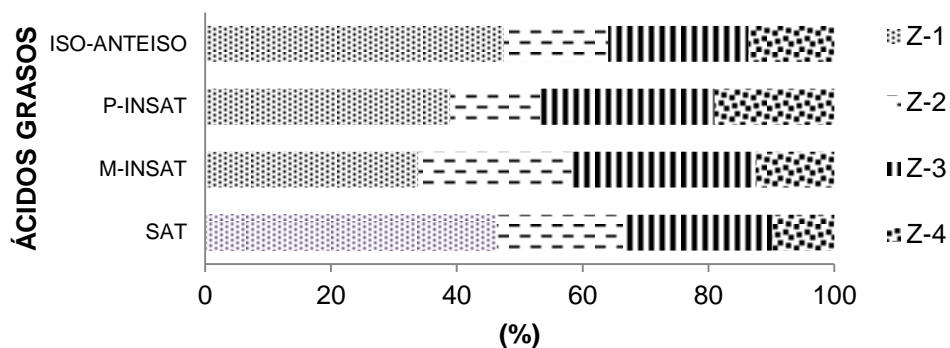


Figura 10. Composición de Ácidos Grasos del MOS en Laguna de Términos, Campeche. SAT: saturados, M-INSAT: monoinsaturados, P-INSAT: poliinsaturados, ISO-ANTEISO: ramificados impares.

Una aportación importante del presente trabajo, es la identificación y cuantificación porcentual de los AG biomarcadores de cada uno de los productores primarios (ANEXO 1) para cada muestra del sedimento que representa una estación en la escala espacial. Los resultados de los biomarcadores indican que el manglar, con proporciones mayores al 50 % (Estaciones 1, 11) y el fitoplancton con valores desde 6 % hasta un 30 %, son los productores primarios que presentan los mayores porcentajes en la materia orgánica sedimentaria. En contraste, los porcentajes de AG biomarcadores que caracterizan a los pastos marinos son los más bajos, presentando valores entre 2 % y 11 % con respecto al resto de las fuentes orgánicas (Fig. 11).

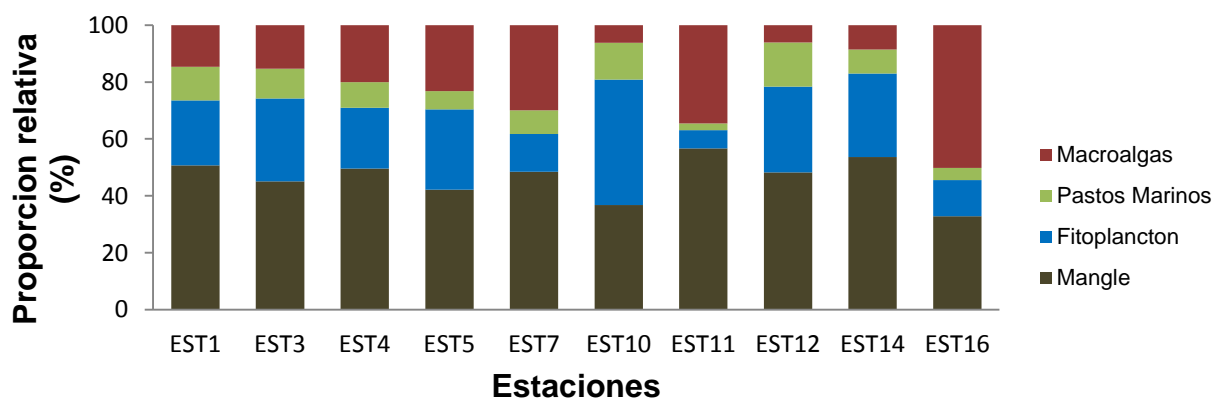


Figura 11. Ácidos Grasos marcadores de las fuentes orgánicas. Proporción relativa de los biomarcadores por estaciones de muestreo en Laguna de Términos.

7.2.1. DISTRIBUCIÓN DE LOS PRODUCTORES PRIMARIOS EN EL SEDIMENTO

Se identificaron los AG característicos de cada productor primario en el perfil de AG de cada una de las estaciones de muestreo. Posteriormente, se sumaron los AG característicos de cada productor primario en cada una de las estaciones de muestreo.

MANGLAR

La cobertura de manglar es un rasgo conspicuo en la laguna de Términos (Yañez-Arancibia *et al.*, 1986). En la Figura 12, se presentan las isolíneas de distribución de los ácidos grasos característicos del manglar en el MOS. Porcentajes tan altos como 14% se registraron en el litoral interno de la laguna (Est. 11 y 12) y en la zona de Boca del Carmen (Est. 1). Mientras que en la parte central (Est. 7) que es la zona profunda, se registraron los valores mas bajos con un 6.5% de AG del manglar.

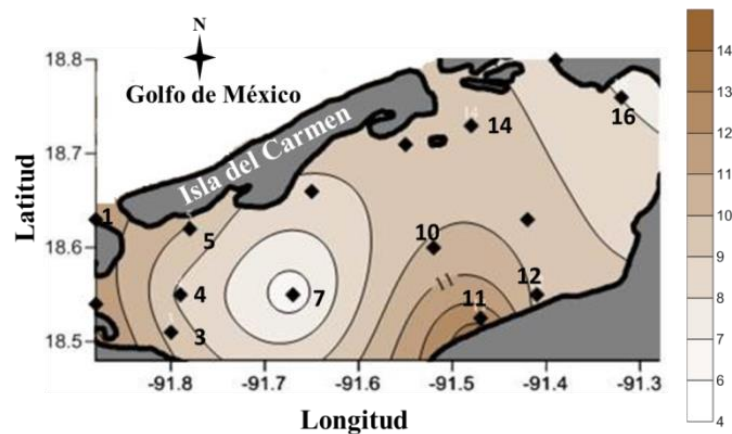


Figura 12. Distribución de AG del manglar en el material orgánico sedimentario. La escala de isolíneas representa en porcentaje la sumatoria de AG característicos del manglar.

FITOPLANCTON

Los AG característicos del fitoplancton que se detectaron en el MOS, presentaron una distribución con altos porcentajes hacia el centro y Este de la laguna, con un máximo de 12% en la estación 10 (Figura 13). También, hacia la Boca del Carmen (estación 1) la presencia del fitoplancton registró un porcentaje relativamente alto (7%). Es muy contrastante que los menores porcentajes (4%), se registraron en las estaciones 7,4 y 3, que es la zona influenciada directamente por la desembocadura del río Palizada (Fig. 13).

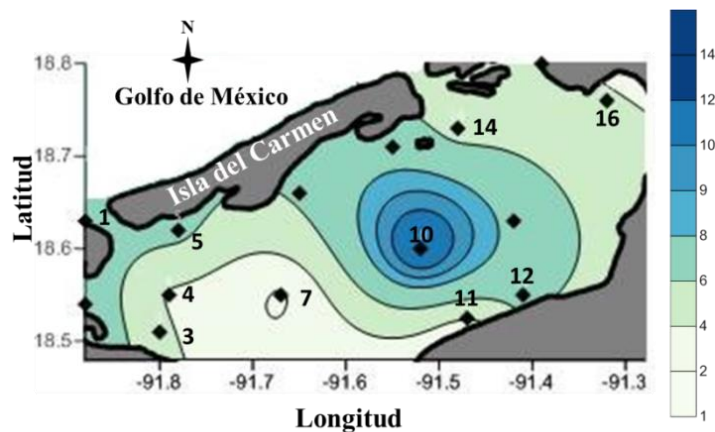


Figura 13. Distribución del fitoplancton en la materia orgánica sedimentaria. Porcentaje total de AG característicos del fitoplancton.

PASTOS MARINOS

El resultado de la suma de ácidos grasos característicos de los pastos marinos en el MOS, mostró una distribución con máximos de 3.5 % hacia el centro y sur de la laguna (Est. 10 y 12). Es notable que también se presentaron porcentajes próximos al máximo en el área de Boca del Carmen (Est. 1). En contraste, hacia el Suroeste (desembocadura del Río Palizada) y el Oeste de la parte interna de Isla del Carmen, se registraron los porcentajes mínimos. (Fig. 14).

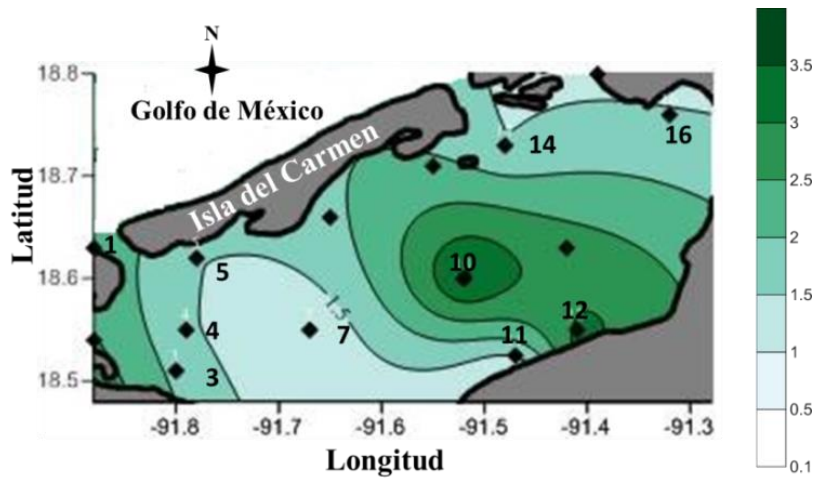


Figura 14. Distribución del pasto marino en la materia organica sedimentaria. Porcentaje totla de AG característicos del pasto marino.

MACROALGAS

En la Figura 15, se presenta la suma de los porcentajes de los AG marcadores de las macroalgas en el MOS. Con un máximo de 3.5%, se presentan altos porcentajes en casi todo el litoral interno (Est. 16, 11, 3) y parte del centro (Est. 4 y 7) de la laguna, y en menor medida hacia la zona influenciada por la entrada de agua marina de la boca de Puerto Real con tan solo el 0.2% (Est. 10 y 12).

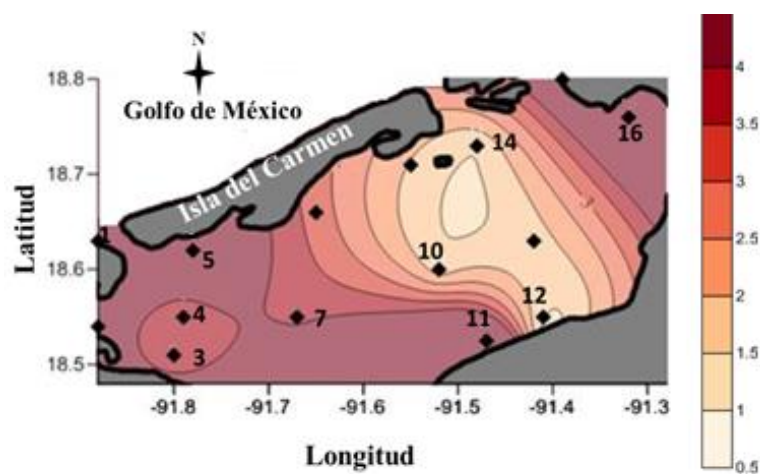


Figura 15. Distribución de las macroalgas en la materia organica sedimentaria. Porcentaje total de AG característicos del macroalgas

7.2.2. AMBIENTES ÓXICO - ANÓXICO

Los resultados de la Razón de Ácidos Grasos Bacterianos (R_{AGB}), donde los valores >1 son indicativos de un ambiente óxico y los valores <1 indican ambientes anóxicos, muestran que para la zona Este de la laguna, en boca Real (que es un área directamente influenciada por la entrada de aguas marinas oceánicas), se registra un ambiente predominantemente óxico con valores de $R_{AGB} = 3.5$. Por otro lado, hacia Oeste de la laguna, particularmente en la parte interna de Isla del Carmen y hacia la boca del Carmen, los valores <1 indican la dominancia de bacterias características de ambientes anóxicos.

Los valores de R_{AGB} menores a 0.5, se registran en las estaciones 10 (centro de la laguna), 1, 4 y 5 (boca del Carmen). Mientras tanto, en la parte sur-suroeste de la laguna, en las estaciones 11 y 12 así como las estaciones 7 y 3 respectivamente, los valores de R_{AGB} son entre 0.5 a 1 (Fig. 16).

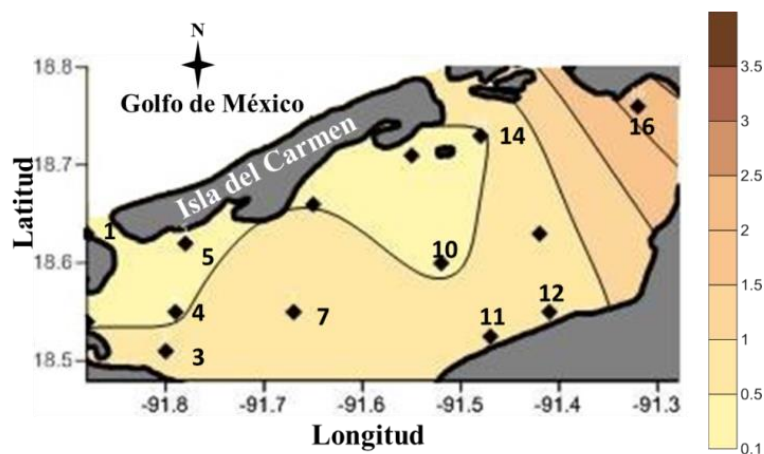


Figura 16. Distribución de ambientes óxico-anóxico de Laguna Términos, Campeche. Escala ($R_{AGB} = \Sigma AG \text{ Monoinsaturados} / \Sigma AG \text{ ramificados}$).

7.3. LAS FUENTES ORGÁNICAS PRIMARIAS Y SU VARIABILIDAD ESPACIAL EN EL MATERIAL ORGÁNICO SEDIMENTARIO

Los resultados evidencian que la composición de los AG del material orgánico sedimentario del área Oeste proviene del mangle y el fitoplancton. Ésta área comprende las estaciones 1, 3 y 4 (zona 1) caracterizada por la influencia fluvial y el drenaje de la laguna por boca del Carmen. Es importante hacer notar que los AG del manglar se registraron en todas estas estaciones. Sin embargo, en la estación 3, los AG de las macroalgas son importantes mientras que en las estaciones 1 y 4 (drenaje de la laguna) los AG que provienen de los pastos marinos también son notorios.

En las estaciones que se encuentran en el centro, que es la zona más profunda y de mayor energía de la laguna de Términos (estaciones 7 y 10), se registra una heterogeneidad en el origen orgánico del MOS ya que la estación 7 tiene una similitud asociada a las macroalgas y el manglar, y por otro lado la estación 10 se relaciona principalmente con AG característicos del fitoplancton.

La ordenación multidimensional no métrica de las zonas de muestreo que se relacionaron con las fuentes orgánicas muestran que en las Estaciones 11, 12 y 16, que comprenden básicamente la parte interna de boca de puerto Real y en menor medida por la desembocadura del río Chumpan (Est. 12), se registraron AG cuyo origen son los pastos marinos y el mangle, pero con respecto a las estaciones 11 y 16, su similitud es baja con las diferentes fuentes orgánicas, siendo más próxima a las macroalgas (Fig. 17).

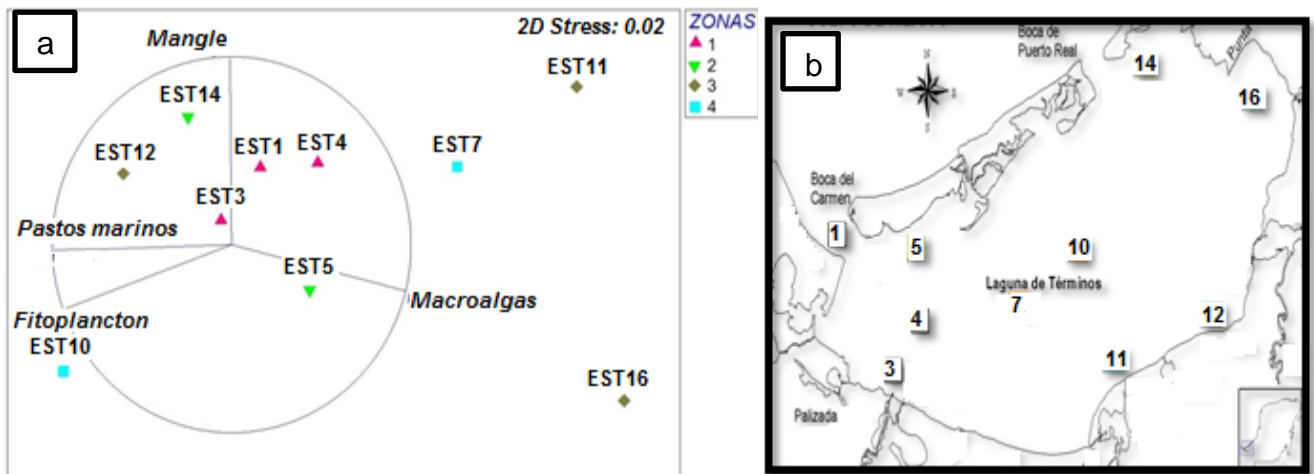


Figura 17. a) Ordenación multidimensional no métrica de las zonas de muestreo con base en la relación con las fuentes orgánicas. b) Ubicación de las estaciones de muestreo del sedimento en Laguna de Terminos, Campeche.

7.4. PERFILES DE ÁCIDOS GRASOS DE LA ICTIOFAUNA

En general, los perfiles de ácidos grasos de la ictiofauna, registraron porcentajes de mas del 40% de AGS (saturados) y AGP (polinsaturados > 20 C), mientras que los AGM (monoinsaturados) registraron porcentajes tan bajos como 5%. Es importante hacer notar que, de manera inusual, se detectaron AG característicos de origen bacteriano (AGB) en las distintas especies de peces, con valores de 6.5 ± 1.4 % de AGB en *D. rhombeus*, seguido de *L. synagris* con 5 ± 0.4 % y el *A. felis* con 4.3 ± 2.4 % (Figura 18). En la Figura 19, se muestra el resultado del análisis multidimensional donde se usaron los valores de los AG monoinsaturados (14:1, 16:1, 17:1) y ramificados *iso* (i15:0, i16:1 i17:1) característicos de las bacterias, los cuales de manera anómala, se registraron en los perfiles de AG de tejidos de la ictiofauna. Se observó que *D. rhombeus*, presentó una mayor similitud con AG ramificados (característicos de bacterias anóxicas) mientras que *A. felis* y *S. testudineus* presentan una mayor similitud por la presencia de los AG monoinsaturados (característicos de bacterias óxicas).

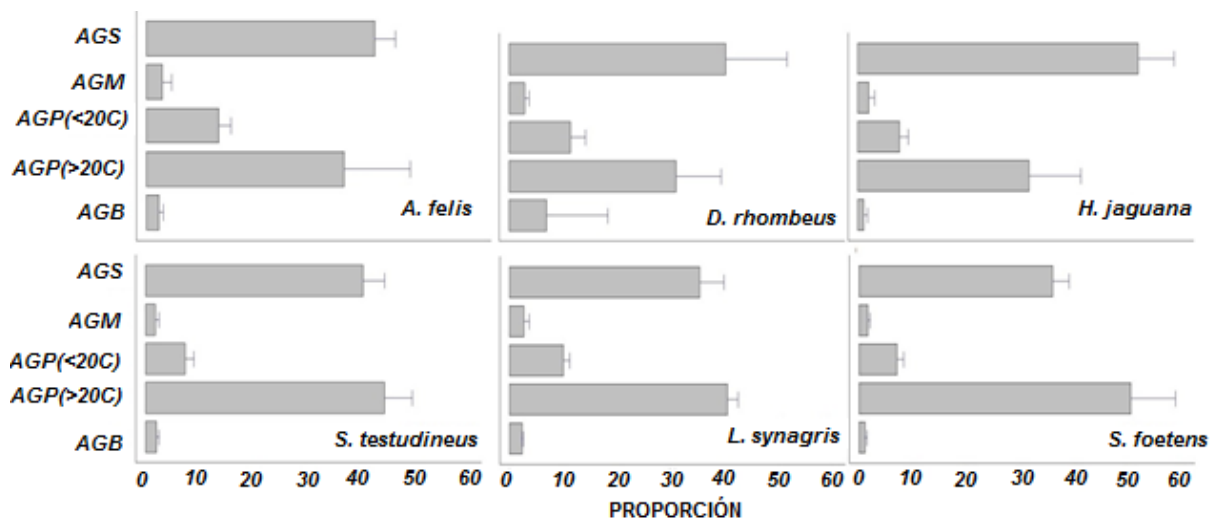


Figura 18. Composición de ácidos grasos de la ictiofauna en Laguna de Términos Campeche.

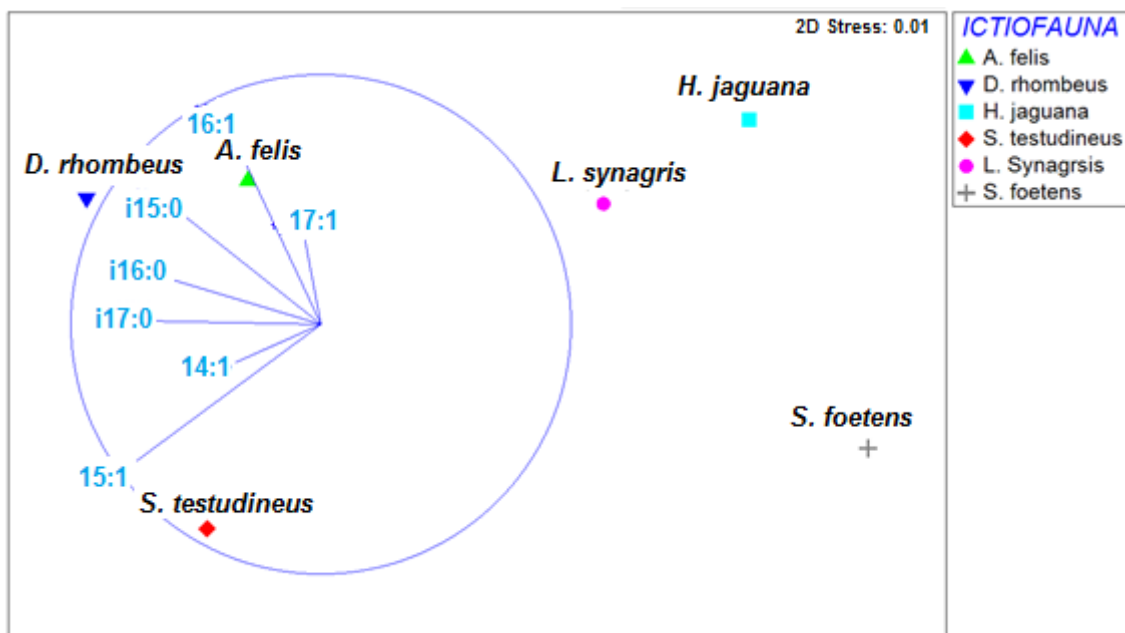


Figura 19. Ordenación multidimensional no métrica de la ictiofauna por su composición de ácidos grasos de origen bacteriano en Laguna de Términos Campeche.

Los resultados del análisis de los perfiles de AG en la ictiofauna muestran que las principales fuentes orgánicas que soportan a la ictiofauna dominante en la laguna de Términos, son los pastos marinos y las macroalgas. De manera específica, *A.*

felis, *L. synagris* y *D. rhombeus* se relacionan en mayor medida con AG característicos de los pastos marinos. Por otro lado, *S. testudineus* se asocia con AG que caracterizan a las macroalgas y el *H. jaguana* presenta mayor relación con los pastos marinos y el fitoplancton (Fig. 20).

Las especies ícticas analizadas presentan una composición de AG diferentes entre sí, lo que sugiere una heterogeneidad de hábitos alimenticios. Los resultados de ANOSIM, (análisis de similitud) entre los distintos grupos de la ictiofauna, muestran que los grupos son diferentes entre sí (R global: 0.646). En la Tabla 4, se observa que la composición de AG entre grupos es distinta y su diferencia es significativa ($p < 0.05$); a excepción del *D. rhombeus* con *L. synagris* cuya composición de AG es diferente, pero no es significativa ($p < 0.05$) (Tabla 4).

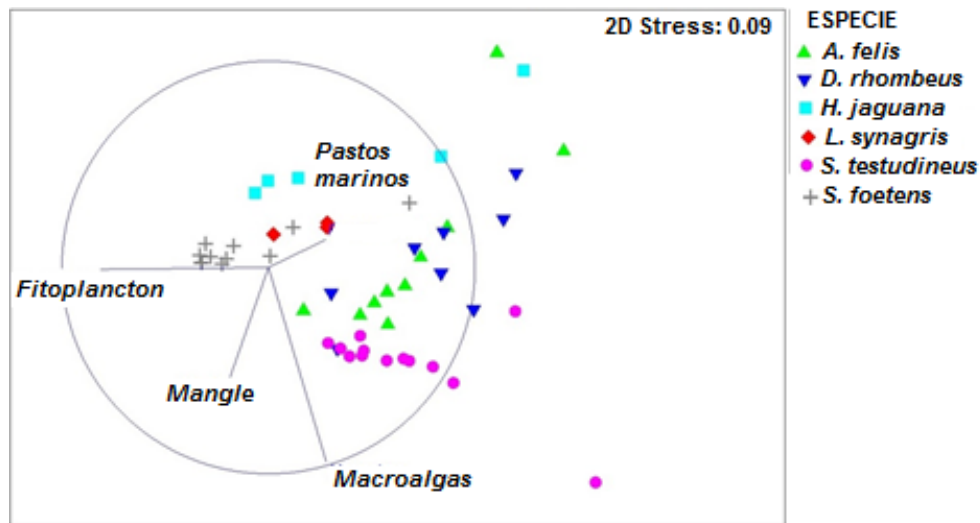


Figura 20. Relación de la ictiofauna con los AG característicos de los productores primarios presentes en el su perfil de AG.

Tabla 4. Análisis de similitud entre los distintos grupos de la ictiofauna.

Grupo	Valor R	Nivel de Significancia (P%)
<i>A. felis, D. rhombeus</i>	0.193	1.6
<i>A. felis, H. jaguana</i>	0.872	0.2
<i>A. felis, L. synagris</i>	0.353	4.2
<i>A. felis, S. testudineus</i>	0.48	0.2
<i>A. felis, S. foetens</i>	0.834	0.1
<i>D. rhombeus, H. jaguana</i>	0.479	0.4
<i>D. rhombeus, L. synagris</i>	0.03	38.8
<i>D. rhombeus, S. testudineus</i>	0.564	0.1
<i>D. rhombeus, S. foetens</i>	0.694	0.1
<i>H. jaguana, L. synagris</i>	0.59	3.6
<i>H. jaguana, S. testudineus</i>	0.972	0.2
<i>H. jaguana, S. foetens</i>	0.707	0.2
<i>L. synagris, S. testudineus</i>	0.768	0.4
<i>L. synagris, S. foetens</i>	0.631	1.4
<i>S. testudineus, S. foetens</i>	0.874	0.1

Para determinar si hay una relación de la variabilidad espacial de la fuente orgánica con la ictiofauna dominante, se agruparon a las especies ícticas considerando la zona donde fueron capturadas y luego se comparó la composición de AG de estos grupos. Los resultados indican que los grupos son diferentes (R global: 0.1) pero esta diferencia no es significativa. Sin embargo, el resultado más conspicuo es que la zona 2 (litoral interno de isla del Carmen) y la zona 3 (desembocadura de ríos), la diferencia es estadísticamente significativa ($P < 0.05$) (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis de similitud entre las distintas zonas de captura de la ictiofauna.

Grupos	Valor R	Nivel de Significancia (P%)
2, 4	-0.215	77
2, 1	-0.158	71.3
2, 3	0.375	3.1
4, 1	0.354	11.1
4, 3	-0.262	72.2
1, 3	0.255	29.4

Además se comparó si la composición del perfil de AG de la ictiofauna era diferente entre las temporadas de lluvias y secas. Estadísticamente los resultados indican que si hay una diferencia (R global= -0.033) pero no es significativa ($P=69.7\%$).

Adicionalmente, para determinar la relación de la ictiofauna con los productores primarios y los ambientes óxicos o anóxicos, se agruparon los AG medidos en las especies de la ictiofauna y que provienen de los productores primarios (AG - mangle, AG - pastos marino, AG - fitoplancton, AG - macroalgas) y de la misma manera los AG monoinsaturados provenientes de las bacterias óxicas (AGB-OX) y los AG ramificados provenientes de bacterias anóxicas (AGB-ANOX). Los datos se utilizaron para realizar un análisis multidimensional (NMDS) que incluye un análisis de correlación entre las variables usadas para graficar la similitud de los AG de los productores primarios y los AG de los ambientes óxicos y anóxicos, que se detectaron en los tejidos de la ictiofauna

En la Figura 21, observamos que las especies *S. foetes*, *L. synagris* y *H. jaguana* que se distribuyen en ambientes preferentemente marinos o directamente influenciados por aporte de agua oceánica, se relacionaron con AG característicos del fitoplancton. Por otro lado, y en concordancia con la Figura 20, *S. testudineus* mostró asociación con AG de macroalgas y mangle pero no mostró asociación con AG de bacterias de ambientes óxicos o anóxicos.

Es notable que *D. rhombeus* y *A. felis* que son especies que se encuentran asociadas al bentos se relacionaran claramente a los pastos marinos. Con respecto al ambiente donde habitan, la mojarra *D. rhombeus* tienen una mayor asociación con AG de bacterias de ambientes anóxicos (AGB-ANOX) entretanto, el bagre *A. felis* se asocia con AG de ambientes óxicos (AGB-OX).

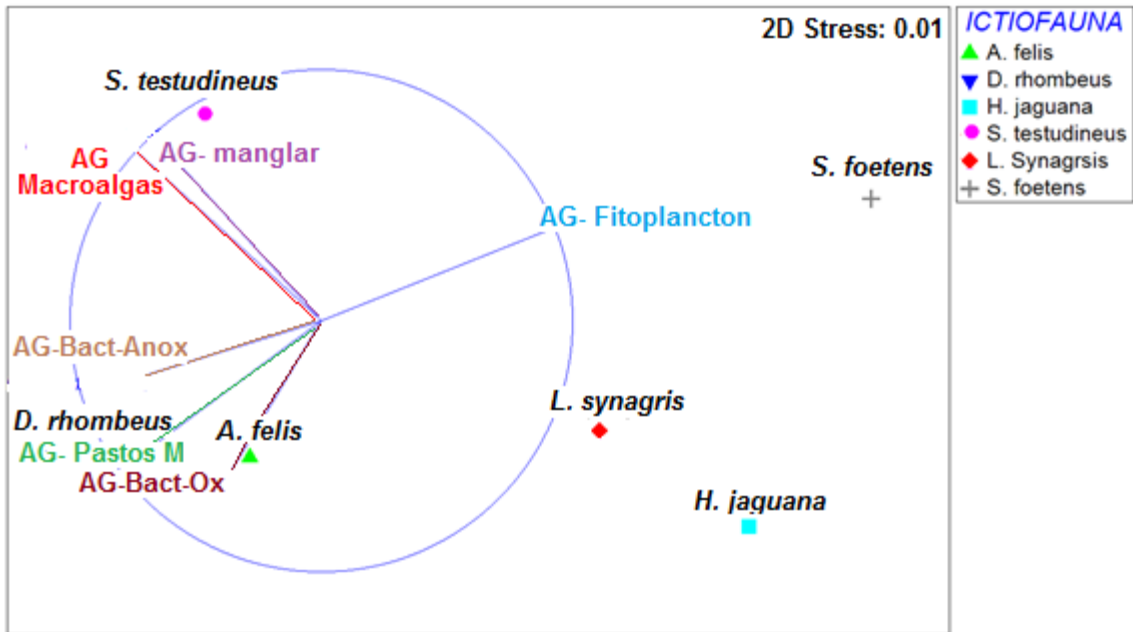


Figura 21. Análisis de NMDS, correlacionando a la ictiofauna con AG característicos de las distintas fuentes orgánicas y de las bacterias dominantes en ambientes óxicos anóxicos

7.5. CONTRIBUCIÓN RELATIVA DE LAS FUENTES ORGÁNICAS A LA ICTIOFAUNA – MODELO DE MEZCLA SIAR

En la Figura 22 se presentan las contribuciones de las fuentes orgánicas a la ictiofauna dominante en la laguna de Términos. Estas estimaciones se obtuvieron a partir del modelo de mezcla SIAR, el modelo se alimentó solo con el número de muestras por especie correspondientes a los analizados en perfiles de ácidos grasos. Se observa que las contribuciones de los pastos marinos a *A. felis*, *S. testudineus*, *S. foetens* y *L. synagris* son bajas (contribución < 5 %) mientras que las contribuciones de las macroalgas y el fitoplancton son altas (contribución > 30%) para éstas mismas especies. El análisis isotópico muestra que las contribuciones de los pastos marinos a las especies *D. rhombeus* y *H. jaguana* son las más altas presentando contribuciones por encima del 20%.

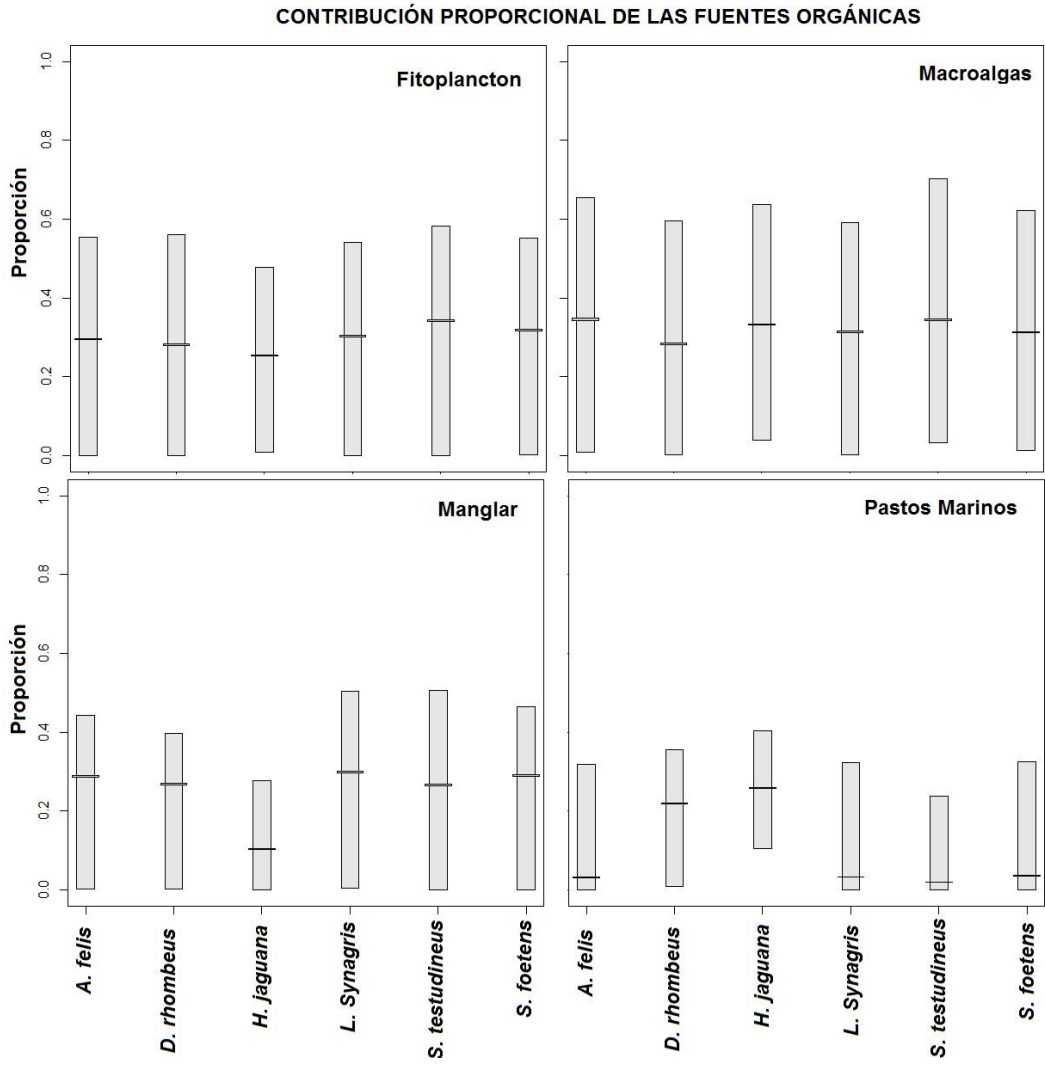


Figura 22. Contribución de las fuentes orgánicas a la ictiofauna dominante en Laguna de Términos, Campeche.

8. DISCUSIÓN

8.1. PERFILES DE ÁCIDOS GRASOS DE LOS PRODUCTORES PRIMARIOS

Los perfiles de los ácidos grasos identificados en los productores primarios analizados en el presente estudio, son comparables y coincidentes con los reportados con la bibliografía. Sin embargo es importante hacer notar que, adicionalmente, se detectaron otros ácidos grasos no reportados en la bibliografía que estuvieron asociados a los productores primarios. Esto puede ser debido a que los perfiles de ácidos grasos de la bibliografía corresponden a muestras frescas, mientras que nuestras muestras fueron recolectadas durante los muestreos de la ictiofauna cuando éstas se encontraban a la deriva en la laguna.

El manglar se caracteriza por ácidos grasos saturados y de cadena larga (Volkman *et al.*, 1980, Viso *et al.*, 1993). Aunque estos tipos de AG no fueron identificados en su totalidad en los perfiles de AG determinados en este estudio, los resultados muestran que los principales biomarcadores del manglar son moléculas saturadas y algunas poliinsaturadas. Particularmente, en el caso del DHA que se presenta de manera anómala en porcentajes importantes en las muestras del manglar, puede deberse a que la muestra analizada se encontraba colonizada por algas marinas, ya que el mangle no sintetiza *de novo* este AG pero sí es sintetizado por las algas (Cohen *et al.*, 1995).

Los manglares son ricos en microbios, especialmente durante el proceso de descomposición de las hojas (Ravikumar, 1995; Rajendran y Kathiresan, 2004 y 2007; Kathiresan y Masilamani, 2005). Alikunhi *et al.*, 2010, realizaron un estudio donde analizaron los perfiles de ácidos grasos de hojas de manglar y su proceso de descomposición durante 70 días. En este estudio, los ácidos grasos, con excepción de los de cadena larga, exhiben cambios en su composición de AG como los que suceden durante la descomposición de las hojas de mangle, con una reducción de los ácidos grasos saturados y un aumento de los monoinsaturados.

Los ácidos grasos ramificados (característicos de bacterias) están ausentes en las hojas de mangle sin descomponer, pero presentes de manera significativa en las

hojas descompuestas, de tal manera que los organismos dependientes de esta fuente orgánica en descomposición pueden utilizar éstos AG, representando una fuente energética para ellos. Los resultados del presente estudio muestran que en las muestras de manglar, se registran altos valores porcentuales en AGM (monoinsaturados) y AGB (bacterianos) y bajos en AGS (saturados). Se encontró un patrón similar de éstos altos valores porcentuales para las fuentes orgánicas de los pastos marinos y las macroalgas analizadas, detectándose la presencia de AGB, aunque con abundantes ácidos grasos poliinsaturados y monoinsaturados (Tabla 3).

En un estudio realizado por Carreón *et al.* (2013) en el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) en México, encontraron que los pastos marinos (*T. testudinum*) no presentaron AGB (bacterianos) pero si se caracterizan por altos valores de los AGP (polinsaturados), tales como el 18:2 n6 y el 18:3 n3. Es evidente que los perfiles de ácidos grasos reportados para pastos marinos en la bibliografía coincide con los resultados del presente estudio, sin embargo nuestros datos indican que la muestra se encontraba en proceso de descomposición por la presencia de AG de origen bacteriano y además bajos valores de los AGP (polinsaturados) que se esperaba caracterizarían a *T. testudinum* en la laguna de Términos. Es interesante encontrar una consistencia de los perfiles de ácidos grasos de la bibliografía con los perfiles de los pastos marinos determinados en éste estudio, sin embargo, los AGB adicionalmente encontrados en los pastos marinos, sugieren que los consumidores en el medio ambiente están efectivamente consumiendo material en estado de descomposición incluyendo detritus en la columna de agua o del material sedimentario.

Debido a que el material orgánico es colonizado por las comunidades microbianas puede existir una diferencia entre los perfiles de ácidos grasos del material fresco y el que se encuentra en proceso de descomposición (Galloway *et al.* 2013). Lo que resulta novedoso en este estudio son las evidencias de que los AGB de las fuentes orgánicas se encuentran en sus probables destinos, en este caso, en los peces dominantes de la ictiofauna de la laguna de Términos. Este tipo de evidencias pueden ser exploradas en el futuro para evaluar el efecto del decaimiento

de la fuente orgánica y cuantificar el aporte de carbono del ciclo microbiano en la trama trófica.

Con respecto al fitoplancton, la mayor parte de la información disponible sobre la composición de ácidos grasos del fitoplancton se basa en cultivos controlados (Paschke y Wheeler 1954; Schlenk *et al.*, 1960; Ackman *et al.*, 1964; Williams, 1965; Kates y Volcani 1966). Aunque los pocos estudios llevados a cabo en ambientes naturales, sugieren que la composición ácidos grasos es bastante uniforme dentro del grupo de los fitoplancton. Los resultados obtenidos en un ambiente estuarino-lagunar como la laguna de Terminos, registran que el fitoplancton ($> 64 \mu\text{m}$) presenta altos porcentajes de AGS, AGM y AGB. Es decir, resulta evidente que el flujo energético a través de partículas ($> 64 \mu\text{m}$) que pueden ser capturadas como fuente alimenticia incluye partículas que no son fitoplancton sino partículas detríticas de mangle, pastos y algas marinas, abundantemente colonizadas por bacterias y que efectivamente son un flujo de carbono hasta la ictiofauna dominante.

8.2. PERFILES DE ÁCIDOS GRASOS DE LAS FUENTES ORGÁNICAS Y SU RELACIÓN CON EL MATERIAL ORGÁNICO SEDIMENTARIO (MOS)

Los resultados de los perfiles de AG en el material orgánico sedimentario (MOS) indican que para la temporada de lluvias, el manglar y el fitoplancton fueron los contribuyentes más importantes en la composición del MOS. Es posible que la influencia fluvial de los meses lluviosos introduzca un forzamiento físico y químico en la laguna de Términos. Un posible aumento en las concentraciones de nutrientes y redistribución del manglar resulte en un aumento de la MO sedimentaria debido al aporte fluvial. Borges-Souza (2003), reportó que el contenido de MO en sedimentos suele ser mayor durante la época de lluvias, enriqueciendo los sedimentos y propagándose a través de la red trófica. Romo-Ríos (2013) encontró para la temporada lluviosa, que el fitoplancton es el mayor contribuyente orgánico hacia el centro de la laguna de Términos; mientras que en la parte Oeste (boca del Carmen), el manglar tiene el mayor aporte al MOS durante esta misma temporada.

Es notable que diferentes aproximaciones analíticas llegaran a conclusiones semejantes. Los resultados del presente estudio y los que reportan éstos autores concuerdan ya que nuestros datos indican mayores porcentajes de AG característicos del fitoplancton hacia el centro de la laguna, y los AG característicos del manglar presenta los valores más altos hacia las estaciones ubicadas en el litoral interno de la laguna y boca del Carmen.

Con respecto a la variabilidad espacial de los productores primarios en el sedimento en Laguna de Términos, Raz-Guzmán y De la Lanza (1993) utilizando $\delta^{13}\text{C}$ determinaron que los valores menos enriquecidos característicos de *R. mangle*, se encontraron principalmente hacia el suroeste de la laguna y valores más enriquecidos (correspondientes a los pastos marinos) en el sur, centro y norte de la laguna. Lo cual coincide con los resultados de este trabajo, respecto a la distribución de AG; sin embargo, esta técnica nos revela datos más claros de la composición orgánica del sedimento. En las Figuras (12, 13, 14 y 15), se describen las distribuciones de los distintos productores primarios, donde se observa que el manglar y fitoplancton presentan sus mayores porcentajes hacia boca del Carmen y centro de la laguna respectivamente, mientras que los pastos marinos y las macroalgas los porcentajes más altos están en el litoral interno y este de la laguna.

Por otro lado, existen otros sistemas ecológicos, en que los niveles tróficos superiores se alimentan principalmente de seres vivos. En los sistemas de pastos marinos y manglares, que son grandes productores de detritus, un aspecto importante es que ésta fuente potencial de energía es uno de los principales puntos de partida de la transferencia energética de las estructuras tróficas involucradas (Odum y Heald, 1972, 1975). Sin embargo, nuestros resultados indican que el fitoplancton y las macroalgas son los principales componentes del material orgánico sedimentario superficial de la laguna. Aunque es probable que las proporciones de AG característicos del manglar y los pastos marinos sean bajos debido a que estos tipos de ácidos grasos son rápidamente sintetizados por microorganismos como las bacterias y/o macrozoobentos.

Es importante considerar el aporte de materia orgánica al sedimento y la actividad bacteriana. Aunque no se tienen registros concretos al respecto, las

bacterias dependen de la presencia de nutrientes que posiblemente aumentan en la época lluviosa. Borges-Souza (2003), reportó un porcentaje global de materia orgánica en el sedimento de la laguna de Términos, describe que el mayor porcentaje de MOS se da durante la temporada de lluvias con un 63%, mientras que el 25 % se da en secas y un 12 % en la temporada de nortes. De manera específica, describe que en la zona Sur, Norte y Oeste, se presenta la mayor cantidad de materia orgánica en el sedimento ($> 3 \%$), mientras que en el Este de la laguna los valores de MO son menores al 2%. En el contexto de la identificación de ambientes a partir de la razón de AG de origen bacteriano del presente estudio, en las zonas con mayor porcentaje de MO reportado por Borges-Souza (2003) coincide con valores < 1 de R_{AGB} indicando un ambiente anóxico, mientras que en la zona Este de la laguna donde Borges-Souza (2003) reporta porcentajes por encima del 2% de MO los valores indican un habiente en condiciones óxicas.

8.3. PERFILES DE ÁCIDOS GRASOS DE LAS FUENTES ORGÁNICAS Y SU RELACIÓN CON LA ICTIOFAUNA EN LAGUNA DE TÉRMINOS CAMPECHE

El conocimiento de la ecología trófica de un sistema estuarino-lagunar como el de Laguna de Términos es fundamental para entender de qué manera la materia orgánica está disponible para los consumidores. En estuarios, se estima que el 10% de la producción primaria se llega a transformar en peces, moluscos y crustáceos (Yáñez, 1977).

Son pocos los estudios relacionados con la ictiofauna y su relación con las fuentes de carbono orgánico en la laguna de Términos. Los estudios efectuados en dicha laguna sobre la estructura trófica consisten en análisis de contenido estomacal, (Raz-Guzmán y de la Lanza 1991, Raz-Guzmán y Barba *et al.*, 2000) así como del uso de isótopos estables (De la lanza 1991, Romo-Ríos 2013) y modelos tróficos con Ecopath (Zetina-Rejón, 2004, Abascal, 2014).

Este es el primer estudio donde se emplean los perfiles de ácidos grasos como herramienta de aproximación en Laguna de Términos. Nuestros resultados denotan que cada fuente de carbono orgánico son de gran importancia para las

distintas especies de la ictiofauna dominante en Laguna de Términos. Romo-Ríos (2013), haciendo una estimación de la contribución de las fuentes orgánicas a la ictiofauna mediante su composición isotópica modelado en SIAR, indicó que en Laguna de Términos, la vegetación sumergida es la principal fuente orgánica de la trama trófica. Además establece que la ictiofauna del litoral de isla del Carmen y boca de Puerto Real, presentan una estructura trófica basada en vegetación sumergida mientras que la ictiofauna de la región fluvio-lagunar, presenta una fuente de alimentación basada en el mangle a través del detritus. En contraste, los resultados de perfiles de AG del presente estudio, indican una importante influencia de la vegetación sumergida (los pastos marinos y las macroalgas) en especies estuarinas (*A. felis*, *D. rhombeus* y *S. testudineus*) y del fitoplancton para especies asociadas al medio marino (*L. synagris*, *H. jaguana* y *S. foetens*). Estos datos son relevantes ya que organismos de la misma especie, capturados en distintas zonas, analizados en este estudio, fueron comparados (mediante un ANOSIM) sus perfiles de AG y los resultados indican que no presentan diferencias ($p < 0.05$), sin embargo sí presentan diferencias ($p < 0.05$), al comparar los perfiles de AG entre las distintas especies.

El uso espacial y temporal del hábitat por parte de los peces, es un reflejo de la composición de sus dietas, permitiendo establecer diferentes niveles tróficos y una evaluación de un hábitat determinado (Sánchez *et al.*, 1996). Los peces en general, presentan gran plasticidad trófica y muestran diferentes hábitos alimenticios en relación con la disponibilidad del alimento y ontogénicamente como respuesta a sus requerimientos fisiológicos y nutricionales (Wootton, 1990; Poot-Salazar *et al.*, 2005).

La composición del perfil de ácidos grasos de *S. testudineus*, *A. felis* y *D. rhombeus* es el reflejo de la flexibilidad que tienen estos organismos al hacer uso del alimento disponible, respondiendo a la capacidad de adaptación típica de especies estuarinas. Las relaciones tróficas de los peces en los estuarios se caracterizan por la flexibilidad de hábitos alimenticios, omnivoría, repartición de recursos entre varias especies y cadenas tróficas basadas en el consumo de detritos y algas (Miller y Dunn, 1980).

De los peces analizados en este trabajo, se observó que aquellos cuya distribución está asociada a la vegetación acuática sumergida, como lo son *A. felis* y *S. testudineus*, registraron una importante fracción de AG proveniente de dicha vegetación (pastos marinos y macroalgas). Allen *et al.* (2006) refirieron la eficiente utilización por parte de la ictiofauna de la oferta energética que proporcionan las praderas de *T. testudinum*, y destacaron que la alimentación es primordial para la selección del hábitat; además, constituye un aspecto importante de su actividad diaria.

Un aspecto relevante del presente estudio es que *A. felis* y *D. rhombeus* presentaron proporciones de AG de origen bacteriano que también se presentaron en las fuentes (Fig. 21). Aunque es importante mencionar que la actividad microbiana es un componente muy importante del detritus como organismo que descomponen la materia orgánica en la base de las cadenas tróficas (Newell, 1993). Este hecho sugiere que estos organismos incorporan en sus tejidos, carbono del ciclo microbiano a través de una dieta que incluye materia orgánica en proceso de descomposición. Aguirre *et al.*, 1984 y Ayala-Pérez, 2006, demostraron que ambas especies presentan una ingesta alimenticia basada en el detritus. Los estudios realizados en la laguna de Términos sobre el contenido estomacal de *A. felis* y *D. rhombeus*, demuestran que estos peces se caracterizan por presentar altas cantidades de detritus asociándose con el ecosistema bentónico.

A. felis es una especie abundante durante la temporada de lluvias; además, es una especie residente de la laguna (Vargas *et al.*, 1981). Así mismo, es recurrente en hábitats donde la vegetación sumergida (pastos marinos) es abundante (Villegger *et al.*, 2010). Estudios del contenido estomacal de estos organismos, indican que tiende a una dieta basada en detritus, fauna pequeña y vegetación, señalándola como una especie omnívora (Kobelkosky *et al.*, 1995). Considerando el perfil de ácidos grasos en las muestras para esta especie, es claro que las principales fuentes orgánicas son la vegetación sumergida como los pastos marinos y las macroalgas. Nuestros resultados para *A. felis*, coincidieron con los de Romo-Ríos (2013), quien estimó la contribución de los productores primarios a la ictiofauna con los valores isotópicos de ambos grupos.

D. rhombeus es una especie que reside permanente en la región de la laguna de Términos ya que se presenta de manera frecuente y homogénea en las capturas. Además, es un organismo de ambientes salobres y con hábitos demersales y es común encontrarla en áreas de manglar y de fondo lodoso y arenoso. Estudios indican que su dieta la basan en pequeños invertebrados bentónicos y de vegetación (Ayala-Pérez, 2006, Guevara, 2007). Los resultados demuestran que el perfil de AG del sedimento donde es común encontrar a esta especie, presenta como principal fuente orgánica el manglar y las macroalgas, también una alta proporción de AG de origen bacteriano (Anexo 6 y Figura 21). Nuestros resultados muestran que el perfil de AG en el músculo del *D. rhombeus* es consistente con el perfil de AG de las zonas donde habita incluyendo pastos marinos. Es importante mencionar que en el análisis de esta especie, la presencia de AG de origen bacteriano se presenta en proporciones desde 4.7 hasta 9.2 %, evidenciando la incorporación de la actividad bacteriana en el flujo energético del ecosistema.

Por otro lado, los miembros de la familia Lutjanidae se caracterizan por una dieta basada en general en crustáceos y peces (González-Sansón y Rodríguez 1985; Yáñez-Arancibia y Sánchez Gil 1986; Sierra 1997). Particularmente en este estudio, el análisis del perfil de AG del lutjánido *L. synagris*, demuestra una importante relación con los AG característicos de los pastos marinos, entendiéndose que es la principal fuente de carbono orgánico para esta especie. Cabe señalar que Ayala-Pérez (2006) ha reportado que en Laguna de Terminos, estos peces tienen una distribución asociada a las zonas donde existen praderas de pastos marinos.

Aunque este estudio indica que la contribución del manglar tiene baja importancia como fuente orgánica para la ictiofauna analizada; los estudios realizados sobre los ecosistemas de manglar y su interacción con las comunidades de organismos, establecen la hipótesis de que el carbón de los manglares contribuyen a la trama trófica basada en el detritus (Odum 1970, Odum y Heald 1972, 1975). Un ejemplo de esta aportación basada en el detritus puede verse relegada en el hecho que en cada uno de los peces analizados (perfil de AG), están presentes AG de origen bacteriano (figura18).

Es evidente la importancia que tienen los distintos grupos de productores primarios presentes en Laguna de Términos, ya sea que cumplan como alimento, refugio o reproducción (Day y Yáñez-Arancibia 1988, Duffy *et al.*, 2003).

En resumen, la importancia de las diversas fuentes orgánicas para la ictiofauna de la Laguna de Términos, se puede establecer que la vegetación sumergida son las más importantes, sin embargo, para determinar si los productores primarios determinan la distribución y abundancia de la ictiofauna, será necesario diseñar un muestreo intensivo que sea representativo de todos los subsistemas del área de Laguna de Términos. Este hecho es importante ya que se ha observado que la vegetación acuática sumergida es fácilmente afectada por la actividad humana y recientemente se han detectado cambios en los patrones de variación hidrológicos relacionado con cambios de las condiciones climáticas (Ramos-Miranda *et al.*, 2005a y 2005b; Sosa-López *et al.*, 2005).

9. CONCLUSIONES

- En este trabajo los ácidos grasos resultaron una herramienta eficaz para la identificación de las interacciones tróficas entre los productores dominantes y sus consumidores.
- Los perfiles de ácidos grasos de los productores primarios determinados en este estudio son comparables y coincidentes con los reportados con la bibliografía. No obstante, estas muestras presentaron una importante influencia de AG de origen bacteriano, muy probablemente por efecto del ciclo microbiano. Esto revela que el carbono de los productores primarios y los heterótrofos puede estar disponible a organismos como los peces en el ecosistema de la laguna de Términos.
- La variabilidad espacial del origen de la materia orgánica sedimentaria determinada por AG, indica que hacia boca del Carmen se encuentra principalmente manglar y de manera secundaria pastos marinos. En contraste, el fitoplancton y las algas son componentes principales del MOS en el centro y este de la laguna.
- La razón de AG típicos de bacterias indicó que hacia el litoral interno de la isla del Carmen y al sur, donde se dan las descargas de los ríos, las condiciones presentan características de anóxicas, mientras que para la zona de entrada de agua oceánica (boca de Puerto Real) se registra un ambiente con características óxicas.
- Es difícil estimar la velocidad a la que las bacterias sintetizan los ácidos grasos que las caracterizan (monoinsaturados o ramificados); sin embargo, el razonamiento es indicativo de cuantas veces más se encuentran un grupo de ácidos grasos con respecto al otro, por lo que los resultados son una aproximación de la descripción ambiental que domina en el lugar. Se

requieren más estudios de identificación de bacterias y estimación de la tasa de producción de ácidos grasos.

- Un aporte significativo al estado del arte en el conocimiento del ecosistema de la laguna de Términos es la determinación de los ambientes óxicos-anóxicos asociados al MOS, que fue estimada a partir de los AG característicos bacterias que viven en esas condiciones. Es preciso avanzar en criterios estándar para identificar los extremos óxicos/anóxicos que identifican estos tipos de ambientes para situar donde caen nuevas zonas anóxicas en el Golfo de México.
- Las macroalgas, parecen ser la principal fuente de AG esenciales a la ictiofauna de niveles tróficos superiores, siendo los ácidos grasos del fitoplancton fuentes secundarias de AG-esenciales. Además, hay una importante influencia espacial, porque independientemente de la especie, existe mayor similitud en los perfiles de AG entre aquellas especies que se capturaron en estaciones cercanas entre sí.
- La composición de ácidos grasos de la ictiofauna no estuvo influenciada por la época climática de la región.
- Se detectan evidencias de AG de origen bacteriano en la ictiofauna dominante en la laguna de Términos posiblemente por efecto de un flujo energético donde interviene el ciclo microbiano. Son notables los AG de origen bacteriano en los tejidos la ictiofauna independientemente de sus hábitos alimenticios, pero en mayor proporción en peces como el *A. felis* y *D. rhombeus*.
- La diversas fuentes orgánicas son de importancia para la ictiofauna de la laguna de Términos, considerando los distintos muestreos realizados hace años y otros más recientes, se puede establecer que la vegetación sumergida, como lo son las macroalgas y los pastos marinos, son las más importantes y

las diferencias de opiniones pueden deberse a la intensidad y escala de muestreo.

- El presente estudio evidenció que al emplear el uso de ácidos grasos para identificar la relación de fuentes específicas a destinos de especies ícticas específicas, se obtiene la precisión para lograr comprender de mejor manera, la relación y transferencia de estas fuentes orgánicas a niveles tróficos superiores.

10. LITERATURA CITADA

- Abrantes K, y Sheaves M. (2008). Incorporation of terrestrial wetland material into aquatic food webs in a tropical estuarine wetland. *Est. Coastal Shelf Sci.* 80:401-412. *Acids. World Rev Nutr Diet.* Vol. 77. 1-31.
- Ackman, R. G. (1964). Structural homogeneity in unsaturated fatty acids of marine lipids. A review. *J. Fisheries Res. Board Can.*, 21: 247-254
- Aguíñiga-García, S. (1999). Geoquímica de la cuenca estuarina del río Colorado: $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y biomarcadores lipídicos en sedimentos superficiales. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Marinas – Instituto de Investigaciones Oceanológicas. UABC. Ensenada, B.C
- Aguíñiga-García, S., Sánchez A. y Silverberg N. (2010). Temporal variations of C, N, $\delta^{13}\text{C}$, and $\delta^{15}\text{N}$ in organic matter collected by a sediment trap at Cuenca Alfonso, Bahía de La Paz, SW Gulf of California. *Continental Shelf Research.* Vo. 30 numerous 15. Bearhop S
- Aguirre-León, A., Yáñez-Arancibia, A. (1984). Las mojarra de la laguna de términos: taxonomía, biología ecología y dinámica trófica (pisces: gerreidae). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Laboratorio de Ictiología y Ecología Estuarina Contribución 440 del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Proyecto UNAM-CONACYT, PCMABEU-005322
- Alikunhi N. M., Rajendran N. y Kathiresan K. (2010). Fatty acids in an estuarine mangrove ecosystem. Centre of Advanced Study in Marine Biology, Annamalai University, Parangipettai, 608 502, Tamil Nadu, India
- Allen, T., Jiménez, M., Villafranca, S. (2006). Estructura y categorías tróficas de peces asociados a praderas de *Thalassia testudinum* (Hydrocharitales, Hydrocharitaceae) en el golfo de Cariaco, Estado de Sucre, Venezuela. *Invest. Mar., Valparaíso.* 34(2): 125-136

- Ayala-Castañares, A. (1963). Sistemática y distribución de los foraminíferos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México: Bol. Inst. Geol. Univ. Nal. Autón. México, 67 (3); 1-130 p
- Ayala-Pérez, L. A. (2006). Modelo de simulación de la comunidad de peces en el área natural protegida laguna de términos, Campeche, México. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma Metropolitana
- Ayala-Pérez, L. A., Aguirre-León, A. Avilés Alatraste O. A, Barreiro-Güemes M. T, y Rojas-Galavíz J. L., (1993). La comunidad de peces en los sistemas fluvio-lagunares adyacentes a la Laguna de Términos, Campeche, México. p. 596-608. En: S.I. Salazar-Vallejo y N. E. González (eds.). Biodiversidad Marina y Costera de México. Comisión Nacional de Biodiversidad y Centro de Investigaciones de Quintana Roo, México
- Ayala-Pérez, L. A., Ramos-Miranda, J., Flores-Hernández, D. (2002). La comunidad de peces de la Laguna de Términos: estructura actual comparada Revista de Biología Tropical, vol. 51, núm. 3-4, 2003, pp. 783-793
- Bano, N., Nisa M., Khan N., Saleem M., Harrison P. J., Ahmed S., Azam F. (1997). Significance of bacteria in the flux of organic matter in the tidal creeks of the mangrove ecosystem of the Indus River delta, Pakistan. Mar Ecol Prog Ser 157: 1-12
- Benoit, L., Pierre, R., Robert G., Gilles R., Camille P., Gaël G., Françoise M., Gérard F. B. (2010). Trophic importance of diatoms in an intertidal *Zostera noltii* seagrass bed: Evidence from stable isotope and fatty acid analyses. Estuarine, Coastal and Shelf Science 92 (2011) 140-153
- Berge J. P. y Barnathan G. (2005). Fatty acids from lipids of marine organisms: Molecular Biodiversity, Roles as biomarkers, biologically active compounds, and Economical aspects. Advances in Biochemical Engineering and Biotechnology. 96: 49 – 25

- Borges-Souza, G. N. (2004). Composición y distribución de sedimentos en la laguna de Términos, Campeche, México (2001-2002). Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Campeche Facultad de Ciencias Químico-Biológicas. Carrera de Biólogo
- Budge, S. M., Iverson y S. J. Koopman, H. N. 2006. Studying trophic ecology in marine ecosystems using fatty acids: a primer on analysis and interpretation. *Mar. Mamm. Sci.* 22(4): 759-801
- Canuel, E. A., Cloern J. E., Ringelberg D. B., Guckert J. B., Rau G. H. (1995). Molecular and isotopic tracers used to examine source of organic matter and its incorporation into the food webs on San Francisco Bay. *Limnol Oceanogr* 40:67-81
- Canuel, E. A., Spivak, A. C., Waterson, E. J. y Duffy, J. E. (2007). Biodiversity and food web structure influence short-term accumulation of sediment organic matter in an experimental seagrass system. *Limnology and Oceanography*, 52: 590–602
- Carreón-Palau L., Parrish C., Del Angel, J., Pérez-España, H., Aguíñiga, S. (2013) Revealing organic carbon sources fueling a coral reef food web in the Gulf of Mexico using stable isotopes and fatty acids. *Limnology and Oceanography*. 2013. 58(2), 593–612
- Chávez-Salcedo G., (1986). Elementos de Oceanografía. 8va. Impresión C.E.C.S.A. México. pag 256
- Christie, W. W. (1989). Gas chromatography and lipids: a practical guide. The Oily Press, England. 184 pp
- Clarke, K. R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18: 117-143

- Cohen, Z., Norman, H. y Heimer, Y. M. (1995). Microalgae as a Source of ω 3 Fatty acids. In Simopoulos AP (ed.), Plants in Human Nutrition, Vol. 77. Karger, Basel, pp. 1-32
- Cruz-Orozco, R., Machado-Navarro, A. y Alba-Cornejo V. M. (1989). Mineralogía y distribución de los sedimentos de la Laguna de Términos, Campeche. Revista de Investigación Científica. Vol I. No. 3. UNAM. 16-21p
- Cruz-Vizcaíno, M. 2005. Relación del perfil de ácidos grasos del cachalote (*Physeter macrocephalus*) y el calamar gigante (*Dosidicus gigas*) en el Golfo de California. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 75 pp
- Dalsgaard, J., St. John, M., Kattner, G., Müller-Navarra, D., Hagen, W. (2003) Fatty acid trophic markers in the pelagic marine food environment. Adv Mar Biol 46: 225-340
- Day, J. W., Jr. y Yáñez-Arancibia, A. (1988). Consideraciones ambientales y fundamentos ecológicos para el manejo de la región de Laguna de Términos, sus hábitats y recursos pesqueros, Cap. 23: 453-482. In: A. Yáñez-Arancibia y J.W. Day, Jr. (Eds.) Ecología de los Ecosistemas Costeros en el Sur del Golfo de México: La Región de la Laguna de Términos. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México, 518 p
- De La Lanza, G., Hernández, S., Conde J., y García, J. L. (1991). Hidrología y difusión de nutrientes del sedimento en drenes agroindustriales 67 periféricos en una laguna costera al NO de México. IV Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar. Universidad Católica del Norte, Facultad de Ciencias del Mar. Coquimbo Chile Memorias de Resúmenes
- Duffy J. E., Richardson J. P., Canuel E. A. (2003). Grazer diversity effects on ecosystem functioning in seagrass beds. Ecol. Letters 6: 637-645
- Falk-Petersen, S., Hopkins, C. C. E., y Sargent J. R. (1990). Trophic relationships in the pelagic, arctic food web. In Barnes. M. and Gibson, R. N. (eds), Trophic

Relationships in the Marine Environment. Proceedings of the 24 th European Marine Biology Symposium, Aberdeen, pp. 315

Fleming, M., Guanghui, L., Da Silveira, L., Sternberg, L. (1990). Influence of mangrove detritus in an estuarine ecosystem. *Bull Mar Sci* 47(3):663-669

Fry, B. (2006). *Stable isotope ecology*. Springer, New York, NY

Galloway, A. W. E., Eisenlord, M. E., Dethier, M. N., Holtgrieve, G. W., Brett, M. T., (2014). Quantitative estimates of isopod resource utilization using a Bayesian fatty acid mixing model. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 507: 219–232

Galloway, A. W. E., Lowe, A. T., Sosik, E. A., Yeung, J. S., Duggins, D. O. (2013). Fatty acid and stable isotope biomarkers suggest microbe-induced differences in benthic food webs between depths. *Limnol Oceanogr* 58: 1452–1462

Gonnea, M. E., Paytan, A. y Herrera-Silveira, J. A. (2004). *Estuarine Coastal y Shelf Sciences* 61:211-227

González-Sansón, G. y Rodríguez, J. (1985). Alimentación natural de algunas especies de peces depredadores en las lagunas costeras de Tunas de Zaza, Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 6: 91-99.

Herrera-Silveira., J.A., Arellano Méndez, L. y Morales-Ojeda, S. 2012. Report of the Pilot Project Natural Habitat and Ecosystem Conservation of Coastal and Marine Zones of the Gulf of Mexico: Seagrass beds characterization for restoration pilot project: Phase I-2011

Huerta, L. y Garza-Barrientos. A. M. (1966). Algas marinas del litoral del Estado de Campeche. *Ciencia (México)* 24, (5, 6): 193-200

Iverson, S. 2008. Tracing aquatic food webs using fatty acids: from qualitative indicators to quantitative indicators to quantitative determination. 281-307 pp. En: M. T. Arts et al. (eds.), *Lipids in Aquatic Ecosystems*

- Iverson, S., Field, C., Bowen, D. y Blanchard, W. (2004). Quantitative fatty acid signature analysis: a new method of estimating predator diets. *Ecological Society of America* 74(2): 211–235
- Jean-Claude, L., Amblard, C. y Bourdier, G. (1997). Fatty acids as specific algal markers in a natural lacustrine phytoplankton. *Laboratoire de Biologie Comparée des Protistes, URA CNRS 1944, Université Blaise Pascal, F-63177 Aubière Cedex, France*
- Kates, M., y Volcani, B. E. (1966). Lipid components of diatoms. *Acta*, 116: 264-278
- Kathiresan, K. y Masilamani, M. 2005. Evaluation of beneficial bacteria from mangrove soil. *Bot. Mar.* 49: 86-88
- Kelly, J. R., Scheibling, R. E. (2012) Fatty acids as dietary tracers in benthic food webs. *Mar Ecol Prog Ser* 446: 1–22
- Kharlamenko, V. I., Kiyashko, S.I., Imbs, A. B. y Vys-hkvartzev, D. I. (2001). Identification of food sources of invertebrates from the seagrass *Zostera marina* community using carbon and sulfur isotope ratio and fatty acid analyses. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 220: 103-117
- Kharlamenko, V. I., Zhukova, N. V., Khotimchenko, S. V., Svetashev, V. I., Kamanev, G. M. (1995). Fatty acids as markers of food sources in a shallow-water hydrothermal ecosystem (Kraternaya Bight, Yankich Island, Kurile Islands). *Mar Ecol Prog Ser* 120:231-241
- Kjerfve, B. Coastal lagoons. In: Kjerfve, B. eds. (1994). *Coastal lagoon processes*. Elsevier, Amsterdam, pp. 1-8
- Lara-Domínguez, A. L., Arreguín-Sánchez, F. y Álvarez-Guillén, H. (1993). Biodiversidad y el uso de recursos naturales: Las comunidades de peces en el sur del Golfo de México. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. vol. esp. XLIV*: 345-385

- Lara-Domínguez, A. L., Villalobos, Z. G. J., y Rivera A. E. (1990). Catálogo bibliográfico de la región de la Sonda de Campeche. Campeche, México: EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche
- LeBlanc, C. G., Bourbonniere, R. A., Schwarcz, H. P., Risk M. J. (1989). Carbon isotopes and fatty acids analysis of the sediments of Negro Harbour, Nova Scotia, Canada. *Estuar Coast Shelf Sci* 28:261-276
- Lebreton, B., Pierre, R. Galois, R., Radenac, G., Pfléger, C., Guillou, G., Mornet, F., Blanchard, G. F., (2011). Trophic importance of diatoms in an intertidal *Zostera noltii* seagrass. bed: Evidence from stable isotope and fatty acid analyses. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 92 (2011) 140e153
- Martineau, C., Vincent W. F., Frenette J. J., Dodson, J. J. (2004). Primary consumers and particulate organic matter: isotopic evidence of strong selectivity in the estuarine transition zone. *Limn. Ocean.*49:1679-1686
- Mayzaud, P., Eaton, G. A. y Ackman, R. G. (1976). The occurrence and distribution of octadecapentaenoic acid in a marine food chain. *Lipids*, 11, 871-876
- McEachran, J. D., and J. D. Fechhelm. 2005. *Fishes of the Gulf of Mexico, Volume 2: Scorpaeniformes to Tetraodontiformes*. University of Texas Press, Austin, Texas, USA
- Menard, F. Lorrain, A. Potier, M. Marsac, F. (2007). Isotopic evidence of distinct feeding ecologies and movement patterns in two migratory predators (yellowfin tuna and swordfish) of the western Indian Ocean. *Mar Biol* (2007) 153:141–152
- Meziane, T., Bodineau, L., Retiere, C., Thournelin, G. (1997). The use of lipid markers to define sources of organic matter in sediment and food web of the intertidal salt marsh-flat ecosystem of Mont-Saint-Michel Bay, France. *J Sea Res* 38:47-58
- Micheli, F. y Halpern, B. S. (2005). Low functional redundancy in coastal marine assemblages. *Ecology Letters* 8:391–400

- Abascal-Monroy, I. M., (2014). Comparación temporal del estado De la red trófica de la laguna de Términos, Campeche, México durante 1980, 1998 y 2011. Tesis de Maestría en Ciencias Marinas, CICIMAR-IPN. La Paz, B. C. S
- Miller, J. M., Dunn M. L. (1980). Feeding strategies and patterns of movement of juvenile estuarine fishes. En: Kennedy vs (ed) Estuarine Perspectives. Academic Press Inc., New York: 437-448
- Miranda, F., y E. Hernández X., (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Boletín de la Sociedad Botánica de México, 28:29-179
- Newell, S. Y. (1993). Decomposition of shoots of a salt-marsh grass. Methodology and dynamics of microbial assemblages. En Advances in Microbial Ecology. Vol.13. Jones, J.G. (Ed). Plenum Press. New York
- Nyssen, F., Brey, T., Dauby, P., Graeve, M. (2005). Trophic position of Antarctic amphipods-enhanced analysis by a 2-dimensional biomarker assay. Marine Ecology Progress Series 300, 135e145
- Odum, W. E. y Heald, E. J. (1972). Trophic analysis of an estuarine mangrove community. Bull. Mar. Sci., 22: 671-738
- Odum, W. E. y Heald, E. J. (1975). The detritus-based food web of an estuarine mangrove community, p: 265-286. In: L Cronin (Ed.) Estuarine Research, Academic Press Inc., New York
- Odum, W. E., (1970). Utilization of the direct grazing and plant detritus food chains by the striped mullet *Mugil cephalus*, p: 222-240. In: J. H. Steele (Ed.) Marine Food Chains. Univ. Calif. Press, Berkeley
- Ortega, M. M., (1995). Observaciones del fitobentos de la Laguna de Términos, Campeche, México. Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica, 66 (1): 1-36
- Parnell, A. C., Inger, R., Bearhop, S. y Jackson, A. L. 2010. Source Partitioning Using Stable Isotopes: Coping with Too Much Variation. *PLoS ONE*, 5: e9672

- Parrish, C. C. (1999). Determination of total lipid, lipid classes and fatty acids in aquatic samples, p. 4–20. In M. T. Arts and B. C. Wainman [eds.], *Lipids in freshwater ecosystems*. Springer
- Paschke, R. F., y Wheeler, D. H. (1954). The unsaturated fatty acids of the alga *Chlorella*. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 31: 81-85
- Phleger, C. F., Nichols, P. D., Virtue, P. (1998). Lipids and trophodynamics of Antarctic zooplankton. *Comp Biochem Physiol B* 120:311–323
- Pond, D. W., Bell, M. V., Harris, R. P., Sargent, J. R. (1998). Microplanktonic polyunsaturated fatty acid markers: a mesocosm trial. *Estuar Coast Shelf Sci* 46 (A):61-67
- Poot-Salazar, A. V., Canto, W. G., Vega, M. E. (2005) Hábitos alimenticios de *Floridichthys polyommus* Hubbs, 1936 (Pices: Cyprinodontidae) en dos sistemas lagunares costeros. *Hidrobiológica*. 15 (2): 183-194
- Post, D. M. (2002). Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology*, 83(3), pp. 703–718
- Rajendran, N. y Kathiresan, K. (2004). How to increase juvenile shrimps in mangrove waters? *Wetl. Ecol. Manag.* 12: 179-188.
- Rajendran, N. y Kathiresan, K. (2007). Microbes associated with submerged leaf litter of mangroves. *Rev. Biol. Trop.* 55: 393-400
- Rajendran, N., Matsuda, O., Imamura, N., Urushigawa, Y. (1992). Determination of microbial biomass and its community structure from the distribution of phospholipid esterlinked fatty acids in sediments of Hiroshima Bay and its adjacent bays. *Estuar Coast Shelf Sci* 34:501-514
- Rajendran, N., Suwa, Y., Urushigawa, Y. (1993). Distribution of phospholipid ester-linked fatty acids biomarkers for bacteria in the sediment of Ise Bay. *Mar Chem* 43:39-56

- Ramos-Miranda, J., Mouillot, D., Flores-Hernández, D., Sosa-López, A.; Do Chi, T. y Ayala-Pérez, L. (2005a). Changes in four complementary facets of fish diversity in a tropical coastal lagoon after 18 years: a functional interpretation. *Marine Ecology Progress Series* 304: 1–13
- Ramos-Miranda, J., Quiniou, L., Flores-Hernández, D., Do Chi, T., Ayala-Pérez, L. y Sosa-López, A. (2005b). Spatial and temporal changes in the nekton of the Terminos Lagoon, Campeche, Mexico. *Journal of Fish Biology* 66: 513–530
- Rau, G. H., Tetssie, J. L., Rassoulzadegan, F., y Fowler, S.W. (1990). $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ And $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ Variations among size fractionated marine particles: implications for their origin and trophic relationship. *Marine Ecology Progres Series* 59: 33-38 Pp
- Ravikumar, S. 1995. Nitrogen fixing azotobacters from the mangrove habitat and their utility as biofertilizers. Ph. D. Thesis, Annamalai University, Parangipettai, India
- Raz-Guzmán, A. y De la Lanza, G. 1991. Evaluation of photosynthetic pathways of vegetation, and of sources of sedimentary organic matter through C in Terminos Lagoon, Campeche, México. *Anales Del Instituto de Biología Serie Botánica*; Vol 62, No 001
- Raz-Guzmán, A. y Barba-Macias, E. 2000. Seagrass biomas, distribution and associated macrofauna in southwestern of Mexico coastal lagoons. *Biol. Mar. Mediterranean*, 7 (2): 271
- Raz-Guzmán, A. y De la Lanza G. (1993). $\delta^{13}\text{C}$ del zooplancton, crustáceos decápodos y anfípodos de Laguna de Términos, Campeche (México), con referencias a fuentes de alimentación y posición trófica *Ciencias Marinas*, vol. 19, núm. 2, 1993, pp. 245-264 Universidad Autónoma de Baja California Ensenada, México
- Raz-Guzmán, A., (1987). Proporción isotópica del carbono orgánico en camarones, sedimento y vegetación de la Laguna de Términos, Campeche. Tesis de

Maestría en Ciencias del Mar. (Oceanografía Biológica y Pesquera) C.C.H.,
Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México, 45 p

Romo-Ríos, J. A., (2013). Productores primarios y su relación con la distribución de la ictiofauna en laguna de términos y plataforma continental adyacente, Campeche, México. Tesis de Maestría en Ciencias Marinas, CICIMAR-IPN. Proyecto “Long-term effects of environmental changes on the nekton biodiversity and the functioning of tropical estuaries”, ANR-CONACyT, clave 111465

Rueda-Flores, M. 2007. Variabilidad de perfiles de ácidos grasos de Ballena azul, *Balaenoptera musculus*, en el Golfo de California. Tesis de Maestría, CICIMAR-IPN. La Paz, B.C.S. 67 pp

Samuel, A. M. y Worthy, G. A. J. (2004). Variability in fatty acid composition of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) blubber as a function of body site, season, and reproductive state. *Can. J. Zool.* 82: 1933-1942

Sanchez, A. J., Raz-Guzman, A., Barba, E. (1996). Habitat value of seagrasses for decapods in tropical coastal lagoons of the south western Gulf of Mexico: An overview. En: Kuo JR, Phillips C, Walker DI, Kirkman H (eds) *Seagrass Biology. Proceedings of an International Workshop*. Rottneest Island, Western Australia. The University of Western Australia. 385 pp

Sánchez, A., Aguíñiga S., Lluch-Belda D., Camalich-Carpizo. J., Del Monte-Luna, P., Ponce-Díaz, G. y Arreguín-Sánchez, F. (2009). Geoquímica Sedimentaria En Áreas De Pesca De Arrastre Y No Arrastre De Fondo En La Costa De Sinaloa-Sonora, Golfo De California. *Boletín De La Sociedad Geológica Mexicana*, 61: 25-30

Sargent, J. R. y Whittle, K. (1981). Lipids and hydrocarbons in the marine food web. In: *Analysis of marine ecosystems* (A. R. Longhurst, ed.), 491–533. Academic Press, London

- Sato, N. y Murata. N. (1988). Membrane lipids. Meth. Enzymol.167:251–259, doi:10.1016/0076-6879(88)67027-3
- Schlenk, H., Mangold, H. K., Gellerman, J. L., Link, W. E., Morrissette, R. A., Holman, R. T. y Hayes, H. (1960). Comparative analytical studies of fatty acids of the alga *Chlorella pyrenoidosa*. J. Am. Oil Chem. Soc., 37: 547-552
- Sierra, L. M. (1997). Relaciones tróficas de los jóvenes de cinco especies de pargos (Pisces: Lutjanidae) en Cuba. Rev. Biol. Trop. 44/45: 499-506
- Soberón-Chávez, G. y A. Yáñez-Arancibia, Recursos Pesqueros Potenciales de México: La Pesca Acompañante del Camarón. Prog. Univ. de Alimentos, Inst. Cienc. del Mar y Limnol., Inst. Nal. de Pesca. UNAM Control ecológico de los peces demersales: variabilidad ambiental de la zona costera y su influencia en la producción natural de los recursos pesqueros, Cap. 9 A. Yáñez Arancibia, (Ed.) México D.F. 1985. 748 p., 399-486
- Sosa-López, A., Mouillot, D., Do Chi, T. y Ramos-Miranda, J. (2005). Ecological indicators based on fish biomass distribution along trophic levels: an application to the Términos coastal lagoon, Mexico. ICES. Journal of Marine Science 62:453–458
- Tam N. F. Y., Vrijmoed L. L. P., Wong Y. S. (1990). Nutrient dynamics associated with leaf decomposition in a small subtropical mangrove community in Hong Kong. Bull Mar Sci 47(1): 68-78
- Thom, B.G., (1969). Problems of the development of Isla del Carmen, Campeche, Mexico. Ztschr. Geomorphologie, (N. F. Bd.) Neial Tolge Bd., Heft, 13 (4): 406-413 p
- Vargas, M. I., Yáñez-Arancibia, A. y Amezcua-Linares, F. (1981). Ecología y estructura de las comunidades de peces en áreas de *Rhizophora mangle* y *Thalassia testudinum* de la Isla del Carmen, Laguna de Términos, sur del Golfo de México. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, 8(1): 241-266

- Villeger, S. J., Ramos Miranda, D., Flores-Hernandez, y Mouillot, D. (2010). Contrasting changes in taxonomic vs. functional diversity of tropical fish communities after habitat degradation. *Ecological Applications*, 20(6), pp. 1512–1522
- Viso, A. C. y Marty J. C. (1993). Fatty acid from 28 marine microalgae. *Phytochemistry*, 34, 1521-153
- Volkman, J. K., y Johns, R. R. (1977). The geochemical significance of positional isomers of unsaturated fatty acids from intertidal zone sediment. *Nature*, 267, 693-694
- Volkman, J. K., Johns, R. B., Gillian, F. T., Perry, G. I. (1980). Microbial lipids of and intertidal sediment. I. Fatty acids and hydrocarbons. *Geochim Cosmochim Acta* 44:1133-1143
- Wafar, S., Untawale, A. G., Wafar, M. (1997). Litter fall and energy flux in a mangrove ecosystem. *Estuar Coast Shelf Sci* 44: 111-124
- Williams, P. M. (1965). Fatty acids derived from lipids of marine origin. *J. Fisheries Res. Board Can.*, 22: 1107-1122
- Wilson, J. y Sheaves, M. (2001). Short-term temporal variations in taxonomic composition and trophic structure of a tropical estuarine fish assemblage. *Marine Biology*, 139: 787–796
- Wootton, R. J. (1990). *Ecology of Teleost Fishes*. Chapman & Hall, New York. 404 pp
- Yamamuro, M. 1999. Importance of epiphytic cyanobacteria as food sources for heterotrophs in a tropical seagrass bed. *Coral Reefs*. 18: 263-271
- WSEARCH Software. 2008. Wsearch software version 32 [Internet]. RMIT Chemistry. Melbourne, Australia. Available from <http://www.wsearch.com.au> [downloaded 01 February 2008]

- Yáñez-Correa, A. (1963). Batimetría, salinidad, temperatura y distribución de los sedimentos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México. Bol. Inst. Geol Univ. Nal. Autón. México, No. 67 (1): 1-47. AYALA-CASTAÑARES, A., 1963. Sistemática y distribución de los foraminíferos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México: Bol. Inst. Geol. Univ. Nal. Autón. México, 67 (3); 1-130 p
- Yáñez, A. (1977). Taxonomía, ecología y estructura de las comunidades de peces en lagunas costeras con boca efímera del pacífico de México. Centro de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. 180 pp
- Yáñez-Arancibia, A. y Sánchez-Gil, P. (1986). Los Peces Demersales de la Plataforma Continental del Sur del Golfo de México. Vol. 1: Caracterización del Ecosistema y Ecología de las Especies, Poblaciones y Comunidades. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. Publicación Especial 9. 230 p
- Yáñez-Arancibia, A., Amezcua-Linares, F. y Day. Jr. J. W. (1980). Fish community structure and function in Terminos Lagoon, a tropical estuary in the Southern Gulf of Mexico. 465-482. pp. En: Kennedy, V. S. Estuarine Perspectives. Academic Press Inc. New York
- Yáñez-Arancibia, A., Lara-Domínguez, A. L. y Day, Jr. J. W. (1993). Interaction between mangrove and sea grass habitat mediated by estuarine nekton assemblages: coupling of primary and secondary production. Hidrobiología, 264: 1-12
- Yáñez-Arancibia, A., Lara-Domínguez, A. L., Chavance P. y Flores-Hernández, D. (1983). Environmental Behavior of Términos Lagoon Ecological System, Campeche México. An. Inst. Cien. Del Mar Y Limnol. UNAM, 10 (1): 137-176 Pp
- Yáñez-Arancibia, A., Lara-Domínguez, A. L., Sánchez-Gil, P., Rojas-Galaviz, J. L. y Álvarez-Guillén, H. (1988). Dinámica De Las Comunidades Nectónicas Costeras En El Sur Del Golfo de México. *In*: Yáñez-Arancibia, A. & J. W. Day,

Jr. (Eds.). *Ecología De Los Ecosistemas Costeros En El Sur Del Golfo de México: La Región de la Laguna de Términos*. Universidad Nacional Autónoma De México, Pp. 357–379

- Yáñez-Arancibia, A., Sánchez-Gil, P. y Lara-Domínguez, A.L. (1985a). Inventario evaluativo de los recursos de peces marinos del sur del Golfo de México: Los recursos actuales, los potenciales reales y perspectivas. pp. 225-274. In A. Yáñez-Arancibia (ed.). Recursos pesqueros potenciales de México: La pesca acompañante del camarón. Progr. Univ. Alimentos, Inst. de Cienc. del Mar y Limnol. UNAM, Instituto Nacional de la Pesca. México
- Yáñez-Arancibia, A., y Day, J. W. Jr. (1988). Ecology of coastal ecosystems in the southern Gulf of Mexico: The Terminos Lagoon Region. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México
- Yasuda, F. B. (1960). The type of food habits of fishes assured by stomach contents examination. Japanese Soc. Sci. Fish., 1960. 653-662. 26 (2)
- Yunoki, K., Ishikawa, H., Fukui, Y. y Ohnishi, M. (2008). Chemical Properties of Epidermal Lipids Especially Sphingolipids of the Antarctic Minke Whale. Lipids 43:151–159
- Zetina-Rejón, M. J. (2004). Efectos de la pesca en ecosistemas inter-dependientes: “Laguna de Términos y Sonda de Campeche, México”. Tesis de Doctorado, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, México. 91pp

11. ANEXOS

Nomenclatura De Ácidos Grasos

Ácidos carboxílicos (R-COOH), La Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (UIQPA) nombra a los ácidos carboxílicos, anteponiendo la palabra ácido y adicionando la terminación “oico” al alcano correspondiente. En el caso de ácidos grasos saturados se ejemplifica con el ácido palmítico que presenta la fórmula condensada: $\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_{14} \text{COOH}$; fórmula simplificada: 16:0; nomenclatura UIQPA: ácido hexadecaenoico. Este es un ácido graso de 16 carbonos unidos por enlaces covalentes simples. Si presenta uno o más enlaces covalentes dobles (insaturaciones), estos se van a denominar con los números de cada uno de los carbonos que los contienen, contando a partir del radical -COOH. En el caso de los ácidos grasos monoenoicos se ejemplifica con el ácido palmitoleico que presenta la fórmula condensada: $\text{CH}_3 (\text{CH}_2)_5 \text{CH}=\text{CH} (\text{CH}_2)_7 \text{COOH}$; fórmula simplificada: 16:1n-7; nomenclatura UIQPA: ácido cis-9-exadecenoico. Este es un ácido graso de 16 carbonos con una insaturación en el carbono 9 contado a partir del radical -COOH. La fórmula simplificada, en su primer dígito, manifiesta el número de carbonos presentes en la cadena principal de la molécula del ácido graso; el segundo dígito, manifiesta el número de insaturaciones, existentes entre los carbonos de la cadena principal; si presenta un número al final con la letra n antepuesta, este manifiesta el número del carbono de la cadena principal que contiene la insaturación, contando a partir del grupo $-\text{CH}_3$ (contrario a la nomenclatura UIQPA), si presenta dos o más insaturaciones, estas se manifiestan cada 3 carbonos, por lo que no se especifica cada una de ellas. En el caso de ácidos grasos poliinsaturados se ejemplifica con el ácido eicosapentaenoico que presenta la fórmula condensada: $\text{CH}_3 [\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}]_5 (\text{CH}_2)_3 \text{COOH}$; fórmula simplificada: 20:5n-3; con nomenclatura UIQPA: ácido cis-5, 8, 11, 14, 17-eicosapentaenoico. Este es un ácido graso de 20 carbonos con 5 insaturaciones en los carbonos 5,8,11,14 y 17; contados a partir del radical -COOH (nomenclatura UIQPA) y la primera insaturación se cuenta en el carbono 3 a partir del grupo $-\text{CH}_3$ (nomenclatura común).

ANEXO 1. Ácidos grasos característicos de productores primarios, bacterias y zooplancton.

GRUPO	Saturados	Monoinsaturados	Polinsaturados	Otros
BACTERIAS	<u>15:0</u> ^(3,15) <u>17:0</u> ⁽⁷⁾ Anóxico <u>Iso 15:0</u> ^(3,7,15,16) <u>Iso 16:0</u> ^(3,7,15) <u>Iso 17:0</u> ^(3,7,15,16) <u>Anteiso 15:0</u> ^(3,7,15,16) <u>Anteiso 17:0</u> ^(7,13,15,16) 13:0 ^(3,15) 19:0 ⁽⁷⁾ 23:0 ^(3,6,15) 25:0 ^(3,15) Iso 14:0 ^(3,7,15) Iso 19:0 ^(3,7,15) <u>17:0</u> ^{Δ(20) Óxico} <u>19:0</u> ^{Δ(20) Óxico} <u>12:0</u> Anóxico 14:0 ^{(21) Anóxico} 16:0 ^{(21) Anóxico} 17:0 ^{(21) Anóxico} 18:0 ^{(21) Anóxico}	<u>18:1 n7c</u> ^(3,7,13,17) <u>15:1(n5)c</u> ^(3,15) 15:1(n7)c ^(3,15) 17:1(n5)c ^(3,15) 17:1(n7)c ^(3,15) 17:1(n8)c ^(3,7,15) 19:1(n5)c ^(3,15) 19:1(n7)c ^(3,15) 19:1(n8)c ^(3,15) 19:1(n9)c ^(3,15) <u>18:1 n9</u> ^{(20) Óxico}		Σ 15 + Σ 17 ⁽³⁾
Diatomeas	14:0 ^(1,9,10,11,14) 16:0 ^(1,7,13)	<u>16:1 n7c</u> ^(2,9,11,14,16,17)	<u>16:2n-4</u> ^(9,11) 16:2n-7 ⁽⁹⁾ 16:3n-4 ^(2,9,11) 16:4n-1 ^(2,9,11,14) <u>20:5n-3</u> ^(1,10,11,14,16,17) 18:2(n7) ⁽¹¹⁾	16:1/16:0 1.6 ⁽²²⁾ Σ16/ Σ18 > 2 ⁽²²⁾ 20:5 n3 / 22:6 n3 > 1 ⁽²²⁾
Flagelados			16:2n-6 ⁽⁹⁾ 16:3n-3 ^(9,10) 16:4n-3 ^(9,10,12) 18:5n-3 ^(7,9) 22:6n-3 ^(1,14,16,22) 18:4(n3) ^(7,9,12,14) 22:5(n3) ⁽¹⁹⁾	20:5 n3 / 22:6 n3 < 1 ⁽²²⁾
Chlorophyceae			18:3n-6 ⁽⁶⁾ 18:4n-3 ⁽¹⁷⁾ 22:6n-3 ⁽¹⁸⁾	
Plantas Vasculares	22:0 ⁽⁸⁾ 24:0 ^(4,8) 26:0 ^(4,8) 28:0 ^(4,8) 30:0 ⁽⁴⁾ 32:0 ⁽⁴⁾		18:2(n6) ^(5,6,8) 18:3(n3) ^(5,8,10)	

Continúa anexo 1...

Fanerógamas marinas			18:2n-6 ^(5,6,8,16) 18:3n-3 ^(5,8,10,16) 22:6n-3*	
Rhodophyceae			20:4n-6 ⁽¹⁷⁾	20:5 n3 / 20:4 n6 >10 ⁽²³⁾
Ubicuos	16:0 (1, 7, 13) 18:0 (1, 7, 13)	18:1(n9)c (1, 7)		
Zooplanton		20:1 ⁽²⁴⁾ 22:1 ⁽²⁴⁾		
Referencias: ¹ Sargent & Whittle, 1981, ² Bergé <i>et al.</i> , 1995, ³ Rajendnjan <i>et al.</i> , 1993, ⁴ Winnigama <i>et al.</i> , 1981, ⁵ Kharlamenko <i>et al.</i> , 2001, ⁶ Meziane & Tsuchiya 2000, ⁷ Sargent <i>et al.</i> , 1987, ⁸ Viso <i>et al.</i> , 1993, ⁹ Volkman <i>et al.</i> , 1989, ¹⁰ Viso & Marty 1993, ¹¹ Dunstan <i>et al.</i> , 1994, ¹² Renaud <i>et al.</i> , 1999, ¹³ Volkman <i>et al.</i> , 1998, ¹⁴ Ramos <i>et al.</i> , 2003, ¹⁵ Volkman <i>et al.</i> 1980, ¹⁶ Richoux & Froneman 2008, ¹⁷ Jaschinski <i>et al.</i> , 2011., ¹⁸ Vaskovsky <i>et al.</i> , 1996, ¹⁹ Galois <i>et al.</i> , 1996, ²⁰ Parkes y Taylor 1983, ²¹ Moss y Lewis 1967, ²² Parrish <i>et al.</i> , 2000, ²³ Khotimchenko & Vaskovsky, 1990, ²⁴ Falk-Petersen <i>et al.</i> , 2002.				

ANEXO 2. Perfil de Ácidos Grasos de los productores primarios por estación en Laguna de Términos. AGS: Ácidos Grasos Saturados, AGM: Ácidos Grasos Monoinsaturados, AGP (<20C): Ácidos Grasos Poliinsaturados menores de 20 Carbonos, AGP (> 20 C): Ácidos Grasos Poliinsaturados mayores de 20 Carbonos, AGB: Ácidos grasos de origen bacteriano.

A. Grasos	D.									
	<i>R. mangle</i>		Fitoplancton		<i>T. testudinum</i>			<i>dichotoma</i>		
	Est-16	Est-14	Est-11	Est-02	Est-10	Est-09	Est-05	Est-10	Est-05	Est-09
14:0	8.4	7.9	6.5	16.8	4.3	10.2	8.6	15.0	7.4	12.1
16:0	51.7	51.7	38.1	41.6	37.7	33.9	49.8	37.5	26.5	40.9
18:0	6.0	4.2	14.4	11.0	8.6	4.3	3.1	7.9	4.7	4.5
20:0	1.3	0.8	4.4	0.6	1.0	0.4	0.0	0.2	0.9	0.1
21:0	0.3	0.1	0.3	0.1	0.2				0.3	
22:0	1.7	1.3	2.0	0.6	1.2	1.1				0.3
23:0	0.8	0.3	0.2	0.2	0.6	0.1				0.0
24:0	1.7	1.0	0.6	0.6	3.3	3.1				0.3
Σ AGS	71.9	67.4	66.5	71.3	56.9	53.1	61.5	60.6	39.7	58.2

Continúa Anexo 2...

14:1						0.1				0.1
15:1							0.1		0.2	
16:1 n 11							0.6	0.8	0.2	
16:1 n 9	0.3	0.4	0.4	0.7	0.4	0.7	0.6	0.6	0.8	0.6
16:1 n 7	0.7	0.4	3.3	9.7	4.4	6.9	1.5	10.8	1.4	12.2
16:1 n 5		0.0	0.1	0.2	0.4	0.7	2.3	0.6	6.9	0.4
18: 1 n 11			0.5	0.9	0.0	0.1	1.2	0.2	1.4	0.4
18:1 n 9	11.8	10.4	12.5	3.2	6.4	11.7	16.2	6.9	16.5	7.6
18:1 n 7	1.0	0.8	1.0	2.5	4.1	3.6	1.2	2.5	1.9	2.4
18:1 n 5			0.1				0.2	0.0	1.0	0.0
20:1 n 11			1.8	0.5			1.1	0.2	2.0	0.2
20:1 n 9	0.2	0.1	2.6	0.3	0.5		0.5	0.1	1.0	
20:1 n 7			0.6		0.3				0.4	
22:1 n 9	2.1	2.8	0.9	1.1	0.3	0.7	1.9	2.2	0.4	0.1
22:1 n 7			0.4					0.1		
24:1			1.3	0.7						0.2
22:1 n 11 (13)			0.5							0.0
Σ AGM	16.0	14.8	25.8	19.7	16.9	24.3	27.3	25.1	34.0	24.1
16:2 n 4			0.1		0.5	0.4	0.1	0.7		0.5
16:3 n 3					0.5	4.5	0.4	0.7	0.3	0.9
16:4 n 3			0.2	0.3	0.4			0.7	0.2	0.4
16:4 n 1			0.0							
18:2 n 6	2.6	3.4	0.3	0.2	7.8	3.5	1.1	0.8	2.0	1.4
18:2 n 4	0.3				1.0	4.4			0.4	
18:3 n 6	0.1		0.5	0.1	0.4	0.2	0.1	0.4	0.9	0.2
18:3 n 4		0.0	0.0						0.4	

Continúa Anexo 2...

18:3 n 3	2.9	5.6	0.1	0.0	4.3	2.3	0.4	0.2	1.2	1.4
18:4 n 3			0.1		0.2		0.8	0.3	4.1	0.3
18:4 n 1									0.4	
Σ AGP (< 20 C)	5.9	9.0	1.4	0.6	15.1	15.2	2.9	3.9	9.8	5.0
20:2 n 6	0.4	0.2	0.1	0.7	1.1	0.6	0.0		0.2	
20:3 n 6							0.2		0.6	0.3
20:4 n 6					1.3	0.7	1.7	1.7	4.9	2.1
20:4 n 3									0.5	0.0
20:5 n 3	0.0		0.1		1.0	0.6	1.5	2.0	2.2	2.8
22:4 n 6	0.4	0.3					0.3	0.0	2.2	0.2
22:5 n 6										0.2
22:4 n 3	0.2	0.3		0.2	0.6	0.3				
22:5 n 3					0.0	0.0				0.5
22:6 n 3	0.9	4.5	0.6	0.2	0.5	0.2		0.6		2.3
Σ AGP (> 20 C)	1.9	5.4	0.8	1.1	4.4	2.4	3.6	4.3	10.5	8.3
i15:0	0.4	0.2	0.4	1.1	0.6	0.5	0.2	0.8	0.4	0.4
ai15:0	0.3	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.3	0.0	0.1
i16:0	0.5	0.3	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6	0.9	0.7	0.4
ai16:0	0.0	0.0	0.0		0.2				0.3	
ai17:0	0.2	0.0	0.1	0.2	0.3	0.0	0.2	0.4	1.6	0.2
i17:0	0.2	0.2	0.6	0.6	0.5	0.2	0.3	0.5	0.7	0.4
17:0	1.8	2.0	1.4	2.5	2.3	0.7	0.6	0.9	0.6	0.7
15:0	0.6	0.4	2.3	2.0	1.9	2.0	2.5	1.4	1.1	1.1
17:1	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	1.0	0.3	1.1	0.6	1.1
Σ AGB	4.3	3.4	5.6	7.3	6.7	5.0	4.7	6.2	6.0	4.4

ANEXO 3. Perfil de ácidos grasos de productores primarios. **R.m** (*Rhizophora mangle*) **Ft.** (Fitoplancton), **T.t** (*Thalassia testudinum*), **D.d** (*Dichotoma dichotoma*), **F.d** (Florideophyceae).

A. Grasos	R.m	D.E	Ft.	D.E	T.t	D.E	D.d.	D.E	Fd.	D.E
14:0	8.1	± 0.4	11.6	±7.2	7.3	4.1	8.6	0.00	11.5	3.9
16:0	51.7	± 0.1	39.9	±2.4	35.8	2.7	49.8	0.00	34.9	7.5
18:0	5.1	± 1.3	12.7	±2.4	6.4	3.1	3.1	0.00	5.7	1.9
20:0	1.0	± 0.4	2.5	±2.7	0.7	0.4	0.0	0.00	0.4	0.4
21:0	0.2	± 0.1	0.2	±0.2	0.1	0.1	0.0	0.00	0.1	0.2
22:0	1.5	± 0.2	1.3	±1.0	1.2	0.1	0.0	0.00	0.1	0.1
23:0	0.6	± 0.3	0.2	±0.0	0.4	0.3	0.0	0.00	0.0	0.0
24:0	1.4	± 0.5	0.6	±0.0	3.2	0.2	0.0	0.00	0.1	0.2
14:1	0.0	± 0.0	0.0	±0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.1
15:1	0.0	± 0.0	0.0	±0.0	0.0	0.0	0.1	0.00	0.1	0.1
16:1 n 11	0.0	± 0.0	0.0	±0.0	0.0	0.0	0.6	0.00	0.3	0.4
16:1 n 9	0.4	± 0.1	0.5	±0.2	0.6	0.2	0.6	0.00	0.7	0.1
16:1 n 7	0.5	± 0.2	6.5	±4.5	5.6	1.8	1.5	0.00	8.2	5.9
16:1 n 5	0.0	± 0.0	0.2	±0.1	0.5	0.1	2.3	0.00	2.6	3.7
18: 1 n 11	0.0	± 0.0	0.7	±0.3	0.1	0.1	1.1	0.00	0.7	0.7
18:1 n 9	11.1	± 1.0	7.8	±6.6	9.1	3.7	16.2	0.00	10.3	5.3
18:1 n 7	0.9	± 0.2	1.8	±1.0	3.8	0.4	1.2	0.00	2.3	0.3
18:1 n 5	0.0	± 0.0	0.0	±0.0	0.0	0.0	0.2	0.00	0.3	0.5
20:1 n 11	0.0	± 0.0	1.1	±0.9	0.0	0.0	1.1	0.00	0.8	1.1
20:1 n 9	0.1	± 0.0	1.4	±1.7	0.3	0.4	0.5	0.00	0.4	0.5
20:1 n 7	0.0	± 0.0	0.3	±0.4	0.2	0.2	0.0	0.00	0.1	0.2
22:1 n 9	2.4	± 0.5	1.0	±0.1	0.5	0.2	1.9	0.00	0.9	1.1
22:1 n 7	0.0	± 0.0	0.2	±0.3	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.1
24:1	0.0	± 0.0	1.0	±0.4	0.0	0.0	0.0	0.00	0.1	0.1
22:1 n 11 ⁽¹³⁾	0.0	± 0.0	0.2	±0.3	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0
16:2 n 4	0.0	± 0.0	0.1	±0.1	0.4	0.1	0.1	0.00	0.4	0.4
16:3 n 3	0.0	± 0.0	0.0	±0.0	2.5	2.8	0.4	0.00	0.6	0.3
16:4 n 3	0.0	± 0.0	0.3	±0.0	0.2	0.3	0.0	0.00	0.4	0.3
16:4 n 1	0.0	± 0.0	0.0	±0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0
18:2 n 6	3.0	± 0.6	0.2	±0.1	5.6	3.0	1.1	0.00	1.4	0.6
18:2 n 4	0.2	± 0.2	0.0	±0.0	2.7	2.4	0.0	0.00	0.1	0.3
18:3 n 6	0.1	± 0.1	0.3	±0.3	0.3	0.2	0.1	0.00	0.5	0.4
18:3 n 4	0.0	± 0.0	0.0	±0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.1	0.2
18:3 n 3	4.2	± 1.9	0.1	±0.0	3.3	1.5	0.4	0.00	0.9	0.6
18:4 n 3	0.0	± 0.0	0.1	±0.1	0.1	0.1	0.8	0.00	1.5	2.2
18:4 n 1	0.0	± 0.0	0.0	±0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.1	0.2
20:2 n 6	0.3	± 0.1	0.4	±0.4	0.9	0.4	0.0	0.00	0.1	0.1

Continúa Anexo 3...

20:3 n 6	0.0	± 0.0	0.0	± 0.0	0.0	0.0	0.2	0.00	0.3	0.3
20:4 n 6	0.0	± 0.0	0.0	± 0.0	1.0	0.4	1.7	0.00	2.9	1.8
20:4 n 3	0.0	± 0.0	0.0	± 0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.2	0.3
20:5 n 3	0.0	± 0.0	0.1	± 0.1	0.8	0.3	1.5	0.00	2.3	0.4
22:4 n 6	0.4	± 0.0	0.0	± 0.0	0.0	0.0	0.3	0.00	0.8	1.2
22:5 n 6	0.0	± 0.0	0.0	± 0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.1	0.1
22:4 n 3	0.3	± 0.1	0.1	± 0.1	0.4	0.2	0.0	0.00	0.0	0.0
22:5 n 3	0.0	± 0.0	0.0	± 0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.2	0.3
22:6 n 3	2.7	± 2.5	0.4	± 0.2	0.3	0.1	0.0	0.00	1.0	1.2
i15:0	0.3	± 0.2	0.8	± 0.5	0.5	0.0	0.2	0.00	0.5	0.2
ai15:0	0.2	± 0.2	0.2	± 0.0	0.1	0.1	0.0	0.00	0.1	0.1
i16:0	0.4	± 0.2	0.2	± 0.1	0.5	0.0	0.6	0.00	0.7	0.3
ai16:0	0.0	± 0.0	0.0	± 0.0	0.1	0.1	0.0	0.00	0.1	0.2
ai17:0	0.1	± 0.1	0.2	± 0.1	0.1	0.2	0.1	0.00	0.7	0.8
i17:0	0.2	± 0.0	0.6	± 0.0	0.4	0.2	0.3	0.00	0.5	0.2
17:0	1.9	± 0.1	1.9	± 0.8	1.5	1.1	0.6	0.00	0.7	0.2
15:0	0.5	± 0.1	2.1	± 0.2	2.0	0.1	2.5	0.00	1.2	0.2
17:1	0.3	± 0.0	0.4	± 0.1	0.7	0.4	0.3	0.00	0.9	0.3

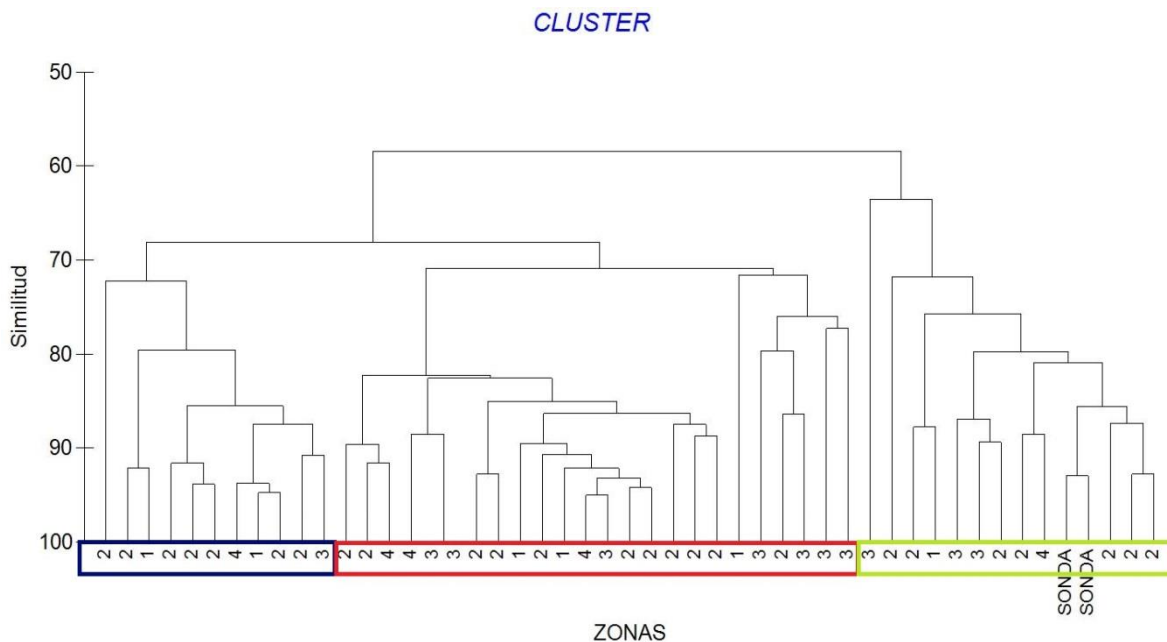
ANEXO 4. Composición de ácidos grasos de la ictiofauna, agrupamiento por tipos de AG. AGS: Ácidos Grasos Saturados, AGM: Ácidos Grasos Monoinsaturados, AGP: Ácidos Grasos Poliinsaturados, AGB: Ácidos grasos de origen bacteriano. Temporadas, LL: Lluvias, S: Secas, Estaciones: PR: Puerto Real, BC: Boca del Carmen, Sond: Sonda.

Ictiofauna	Época	Estación	TIPOS DE ÁCIDOS GRASOS (%)			
			AGS.	AGM	AGP	AGB
<i>A. felis</i>	LL	15	33.11	15.69	48.87	2.33
<i>A. felis</i>	LL	PR	31.45	11.87	53.89	2.79
<i>A. felis</i>	LL	15	33.79	17.66	46.06	2.49
<i>A. felis</i>	LL	14	37.93	25.51	27.07	9.49
<i>A. felis</i>	LL	17	37.02	26.08	29.56	7.34
<i>A. felis</i>	LL	Sond2	30.11	18.19	47.07	4.63
<i>A. felis</i>	LL	Sond6	32.7	20.42	43.16	3.73
<i>A. felis</i>	S	PR	36.78	18.02	42.12	3.09
<i>A. felis</i>	S	14	40.23	22.36	32.33	5.08
<i>A. felis</i>	S	13	36.55	19.33	42.1	2.03
<i>D rhombeus</i>	LL	11	41.57	16.48	37.2	4.75
<i>D rhombeus</i>	LL	12	32.22	12.27	48.62	6.89
<i>D rhombeus</i>	LL	16	32.22	12.27	48.62	6.89
<i>D rhombeus</i>	LL	17	53.77	12.3	27.22	6.7
<i>D rhombeus</i>	LL	16	34.96	20.39	35.39	9.26
<i>D rhombeus</i>	LL	10	29.45	14.72	49.15	6.68
<i>D rhombeus</i>	S	10	27.21	12.84	55.12	4.83
<i>D rhombeus</i>	S	6	40.78	20.04	33.49	5.69
<i>H. jaguana</i>	LL	BC	42.95	11.51	42.68	2.85
<i>H. jaguana</i>	LL	PR	53.19	20.4	22.05	4.36
<i>H. jaguana</i>	S	PR	48.07	9.84	39.55	2.54
<i>H. jaguana</i>	S	BC	41.64	14.07	41.41	2.88
<i>H. jaguana</i>	S	BC	57.65	11.43	26.88	4.04
<i>L. synagris</i>	LL	5	30.56	16.96	47.69	4.79
<i>L. synagris</i>	LL	9	29.72	15.43	49.57	5.28
<i>L. synagris</i>	S	11	37.58	16.36	40.75	4.6
<i>S. foetens</i>	LL	4	29.54	10.44	57.4	2.62
<i>S. foetens</i>	LL	16	26.98	10.15	59.16	3.71
<i>S. foetens</i>	LL	14	29.42	9.59	58.19	2.8
<i>S. foetens</i>	LL	9	30.16	10.85	55.88	3.1
<i>S. foetens</i>	LL	15	37.48	16.73	40.41	5.38
<i>S. foetens</i>	LL	14	34.01	12.9	50.33	2.76
<i>S. foetens</i>	S	15	33.93	11.45	51.33	3.3

Continúa Anexo 4...

<i>S. foetens</i>	S	14	32.49	11.9	53.66	1.95
<i>S. foetens</i>	S	9	32.26	8.9	55.26	3.58
<i>S. foetens</i>	S	10	27.38	9.05	61.03	2.55
<i>S. testudineus</i>	LL	4	38.4	4.99	53.58	3.03
<i>S. testudineus</i>	LL	5	32.55	11.25	51.2	5
<i>S. testudineus</i>	LL	7	33.15	9.34	53.89	3.62
<i>S. testudineus</i>	LL	12	33.03	11.51	51.92	3.55
<i>S. testudineus</i>	LL	15	32.68	8.98	56.08	2.26
<i>S. testudineus</i>	LL	15	34.59	13.23	47.97	4.2
<i>S. testudineus</i>	LL	16	28.42	9.75	57.62	4.21
<i>S. testudineus</i>	LL	5	33.31	13.99	47.91	4.8
<i>S. testudineus</i>	S	15	36.37	12.33	48.25	3.05
<i>S. testudineus</i>	S	14	33.95	9.97	53.65	2.44
<i>S. testudineus</i>	S	5	30.51	9.91	56.41	3.17
<i>S. testudineus</i>	S	9	35.64	12.91	49.46	1.98
<i>S. testudineus</i>	S	1	31.28	8.47	57.05	3.2

ANEXO 5. Análisis de CLUSTER de la ictiofauna categorizado por zonas (Villegier *et. al.*, 2010)



ANEXO 6. Gráfica de proporciones de AG característicos de las distintas fuentes orgánicas en el sedimento de Laguna de Términos, Campeche

