



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS



**PRODUCTORES PRIMARIOS Y SU RELACIÓN
CON LA DISTRIBUCIÓN DE LA ICTIOFAUNA EN
LAGUNA DE TÉRMINOS Y PLATAFORMA
CONTINENTAL ADYACENTE, CAMPECHE,
MÉXICO**

TESIS

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

PRESENTA

JAVIER ALFREDO ROMO RÍOS

LA PAZ, B. C. S., DICIEMBRE DE 2013



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 12 del mes de Noviembre del 2013 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:

“PRODUCTORES PRIMARIOS Y SU RELACIÓN CON LA DISTRIBUCIÓN DE LA ICTIOFAUNA EN LAGUNA DE TÉRMINOS Y PLATAFORMA CONTINENTAL ADYACENTE, CAMPECHE, MÉXICO”

Presentada por el alumno:

ROMO
Apellido paterno

RÍOS
materno

JAVIER ALFREDO
nombre(s)

Con registro:

B	1	1	0	4	1	6
---	---	---	---	---	---	---

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

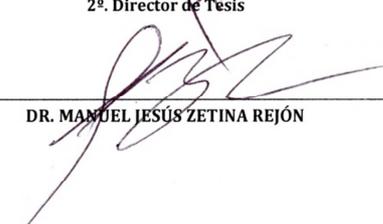


DR. SÉRGIO AGUÍNIGA GARCÍA
Director de Tesis

DR. FRANCISCO ARREGUÍN SÁNCHEZ
2º. Director de Tesis



DR. ALBERTO SÁNCHEZ GONZÁLEZ

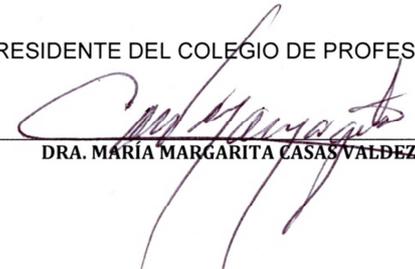


DR. MANUEL JESÚS ZETINA REJÓN



DR. ARTURO TRIPP VALDEZ

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



DRA. MARÍA MARGARITA CASAS VALDEZ





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

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 19 del mes Noviembre del año 2013
el (la) que suscribe ING. PESQ. JAVIER ALFREDO ROMO RÍOS alumno(a) del
Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS
con número de registro B110416 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS
manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:
DR. SERGIO AGUÍNIGA GARCÍA Y DR. FRANCISCO ARREGUÍN SÁNCHEZ
y cede los derechos del trabajo titulado:

"PRODUCTORES PRIMARIOS Y SU RELACIÓN CON LA DISTRIBUCIÓN DE LA ICTIOFAUNA
EN LAGUNA DE TÉRMINOS Y PLATAFORMA CONTINENTAL ADYACENTE, 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: romorios@gmail.com - saguiniga@gmail.com - farregui@ipn.mx
Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


ING. PESQ. JAVIER ALFREDO ROMO RÍOS
(nombre y firma)

DEDICATORIAS

A mis padres

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mis abuelos

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al programa Institucional de formación de investigadores (PIFI) del Instituto Politécnico Nacional y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado a través de las becas otorgadas, lo cual permitió llevar a cabo este trabajo.

Al Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México por su apoyo y facilidades para la realización de este trabajo y por apoyo logístico para la realización de los muestreos.

A los proyectos de investigación que contribuyeron con este ejercicio: “Long-term effects of environmental changes on the nekton biodiversity and the functioning of tropical estuaries”, fondo ANR-CONACyT, clave 111465. Esto implicó el financiamiento para la colecta, análisis de las muestras y acceso a información generada por los diferentes grupos de trabajo.

SIP 20120174. Isótopos de carbono, nitrógeno y PCBS en materia orgánica sedimentaria como indicadores de la variabilidad natural y antropogénico en ecosistemas selectos de la zona costera de Sinaloa, México.

SIP 20131266. Dinámica espacial de especies marinas.

SIP 20131458. Indicadores ecosistémicos de redes tróficas en el sur del Golfo de México.

SEP- CONACYT 155900. Procesos de auto-organización y orientadores ecológicos en redes tróficas de ecosistemas marinos.

Al Laboratorio de Espectrometría de Masas de Relaciones Isotópicas (LESMA) del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas por su apoyo y facilidades para la realización de este trabajo.

A mis directores: Dr. Sergio Aguiñiga García y Dr. Francisco Arreguín Sánchez por su dirección académica y todo el apoyo brindado a lo largo del ejercicio de tesis.

Al Doctor Sergio Aguiñiga por su amistad, toda su invaluable ayuda, consejos y por siempre estar en los momentos difíciles.

Al Doctor Francisco Arreguín Sánchez por su amistad, por confiar en mí.

Al Doctor Alberto Sánchez. Por sus comentarios y observaciones para concluir este trabajo y por su amistad.

A los Doctores Manuel J. Zetina Rejón y Arturo Tripp Valdez. Por sus comentarios, contribuciones y apoyo para concluir este proyecto.

A todo el comité revisor, un placer y honor trabajar con ustedes, mil gracias a cada uno.

A la Dra. Ana Judith Marmolejo Rodríguez, Dr. Enrique Hiparco Nava Sánchez y al Tec. Lab. Ángel Huberto Rubalcaba Díaz su apoyo y colaboración.

Gracias a la familia Aguíñiga-Frías. Por su amistad y su apoyo les estaré siempre agradecido.

A todos los amigos: Carmen Méndez Trejo, Francisco Mendoza portilla, Leyberth Fernández Herrera, Francisco Barrón y Armando Mendoza Flores por su amistad y apoyo.

A mis compañeros y profesores del departamento de Oceanología por sus críticas y discusiones durante los seminarios.

A toda la gente que se escapa de mi mente en este momento pero que contribuyó o estuvo al pendiente de mi estancia y trabajo en La Paz.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	I
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
1 INTRODUCCIÓN	1
2 ANTECEDENTES	4
2.1 Parámetros fisicoquímicos	4
2.1.1 Temperatura.....	4
2.1.2 Salinidad	5
2.2 Distribución de fitoplancton, pastos marinos, macroalgas y mangle	8
2.2.1 Pastos marinos (<i>Thalassia testudinum</i>).....	8
2.2.2 Macroalgas.....	9
2.2.3 Mangle.....	10
2.3 Isótopos estables de carbono y nitrógeno	11
3 ÁREA DE ESTUDIO	12
3.1 Localización.....	12
3.2 Temporadas climáticas.....	12
3.3 Régimen de los vientos e hidrología	12
3.4 Sedimentos	13
4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
5 HIPÓTESIS	16
6 OBJETIVOS	16
6.1 Objetivo general	16
6.2 Objetivos particulares:	16

7 MATERIAL Y MÉTODOS	17
7.1 Recolecta de muestras.....	17
7.1.1 Ictiofauna.....	18
7.1.2 Productores primarios (fitoplancton, pastos marinos, macroalgas, y mangle)	18
7.1.3 Materia orgánica sedimentaria (MOS).....	18
7.2 Preparación de muestras para análisis de isótopos estables.....	19
7.2.1 Ictiofauna.....	19
7.2.2 Productores primarios (fitoplancton, pastos marinos, macroalgas y mangle)	19
7.2.3 Materia orgánica sedimentaria (MOS).....	20
7.3 Determinación de isótopos de carbono y nitrógeno	20
7.4 Modelo de mezcla bayesiano	21
7.5 Análisis estadístico.....	21
8 RESULTADOS	21
8.1 Distribución espacio-temporal de la ictiofauna	21
8.2 Composición isotópica de carbono y nitrógeno	23
8.2.1 Productores primarios (Fitoplancton, pastos marinos, macroalgas y mangle)	23
8.2.2 Ictiofauna temporada de nortes.....	25
8.2.3 Ictiofauna temporada de secas	25
8.2.4 ictiofauna temporada de lluvias.....	26
8.2.5 Materia orgánica sedimentaria (MOS) en la temporada de nortes.....	32
8.2.6 Materia orgánica sedimentaria (MOS) en la temporada de lluvias.....	32
8.3 Contribución de productores primarios.....	37
8.3.1. Ictiofauna en la temporada de nortes	37
8.3.2 Ictiofauna en la temporada de secas.....	39
8.3.3 Ictiofauna en la temporada de lluvias	41

8.3.4 Materia orgánica sedimentaria (MOS) en la temporada de nortes	43
8.3.5 Materia orgánica sedimentaria (MOS) en la temporada de lluvias	44
9 DISCUSIÓN	45
9.1 Distribución de los productores primarios y la abundancia de la ictiofauna en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente.	45
9.2 Composición isotópica de carbono y nitrógeno	46
9.2.1 Productores primarios	46
9.2.2 Ictiofauna.....	47
9.2.3 Materia orgánica sedimentaria	48
9.3 Contribución relativa de los productores primarios	49
9.3.1 Ictiofauna.....	49
9.3.2 Materia orgánica sedimentaria	51
10 CONCLUSIONES	52
11 REFERENCIAS	53
12 ANEXOS	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. $\delta^{13}\text{C}$ de los productores primarios. Donde COD es: Carbono orgánico disuelto y CID es: carbono inorgánico disuelto .	3
Figura 2. Temperatura superficial en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche, México durante el año 2011.	6
Figura 3. Salinidad en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche, México durante el año 2011.	7
Figura 4. Distribución y cobertura de <i>T. testudinum</i> en Laguna de Términos, Campeche, México.	9
Figura 5. Estaciones de muestreo en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente en Campeche, México.	17
Figura 6. Mini nucleador de caja.	19
Figura 7. $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en los productores primarios en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche, México.	24
Figura 8. Cluster a partir de la Composición de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de las fuentes de Carbono y Nitrógeno.	24
Figura 9. $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la ictiofauna en Laguna de Términos, Campeche, México en la temporada de nortes.	27
Figura 10. $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la ictiofauna en Laguna de Términos, Campeche, México en la temporada de secas.	28
Figura 11. $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la ictiofauna en Laguna de Términos, Campeche, México en la temporada de lluvias.	29
Figura 12. $\delta^{13}\text{C}$ de la ictiofauna en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche, México.	30
Figura 13. $\delta^{15}\text{N}$ de la ictiofauna en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche, México.	31
Figura 14. $\delta^{13}\text{C}$ en la MOS en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche, México.	33
Figura 15. $\delta^{13}\text{C}$ en la MOS en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche, México.	34

Figura 16. $\delta^{15}\text{N}$ en la MOS en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche, México.	35
Figura 17. $\delta^{15}\text{N}$ en la MOS en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche, México.	36
Figura 18. Contribución de los productores primarios a la ictiofauna en la temporada de nortes.	37
Figura 19. Cluster de las contribuciones de los productores primarios a la ictiofauna en Laguna de Términos en la temporada de nortes.	38
Figura 20. Contribución de los productores primarios a la ictiofauna en la temporada de secas.	39
Figura 21. Cluster las contribuciones de los productores primarios a la ictiofauna en Laguna de Términos en la temporada de secas.	40
Figura 22. Contribución de los productores primarios a la ictiofauna en la temporada de lluvias.	41
Figura 23. Cluster de las contribuciones de los productores primarios a la ictiofauna en Laguna de Términos en la temporada de lluvias.	42
Figura 24. Contribución de los productores primarios a la MOS en la temporada de nortes.	43
Figura 25. Contribución de los productores primarios a la MOS en la temporada de lluvias.	44

GLOSARIO

Delta de flujo hipopícnico: Se origina por la sedimentación, en un espacio que suele tomar una forma triangular a partir de aguas afluentes que son menos densas que las receptoras, normalmente son deltas marinos. En este caso las aguas afluentes se mantienen en la superficie debido a su menor densidad y las sustancias que transportan se van precipitando en el fondo (OXFORD-COMPLUTENSE, 2000)

Desnitrificación: Es un proceso metabólico que usa el nitrato como aceptor terminal de electrones principalmente en condiciones anóxicas (ausencia de oxígeno). El proceso de reducción de nitratos hasta gas nitrógeno ocurre en etapas sucesivas, catalizadas por sistemas enzimáticos diferentes, apareciendo como productos intermedios nitritos, óxido nítrico y óxido nitroso (Michener & Lajtha, 2008).

Enriquecimiento isotópico: Incremento en la señal isotópica como resultado de la discriminación del isótopo pesado sobre el ligero por diferentes procesos físicos y biológicos (Michener & Lajtha, 2008).

Factor de condición: indica la relación volumétrica en función del peso, según la expresión matemática: $K = P100/L$, donde P es el peso en gramos y L la longitud en cm. Dicho factor puede indicar el estado nutritivo de los organismos y en cultivo es útil para comparar y cuantificar numéricamente la condición o estado en que el pez se encuentra pudiendo asociarse a una valoración de la contextura o estado de delgadez o gordura (Beckman, 1948).

Fraccionamiento isotópico: Es el fenómeno a través del cual la composición isotópica de un elemento de un determinado compuesto cambia por medio de la transición de este compuesto de un estado físico o de una composición química a otra. Se distinguen tres procesos de fraccionamiento isotópico dependientes de la masa, que son: el termodinámico (en los sistemas de equilibrio físico o químico), el cinético (en las reacciones bioquímicas de una única dirección o irreversibles) y el fraccionamiento de transporte durante los procesos difusivos (Michener & Lajtha, 2008).

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 (Michener & Lajtha, 2008).

Materia orgánica sedimentaria: Son el componente orgánico del suelo, esto incluye a animales y vegetales vivos, descompuestos o en proceso de descomposición. Por lo tanto este término incluye: materiales orgánicos identificables de alto peso molecular tales como polisacáridos y proteínas, sustancias más simples tales como azúcares, aminoácidos y otras moléculas pequeñas (Arche, 2010).

Nivel trófico: Posición que ocupa un organismo en la cadena trófica. El nivel trófico puede ser fraccional, lo cual indica que el nivel trófico puede variar temporal y espacialmente incluso en organismos de la misma especie respecto a los productores primarios quienes ocupan el primer nivel trófico (Michener & Lajtha, 2008).

Peso específico: Se lo define como la relación del peso del mineral con su volumen ($Pe = \text{Peso/volumen}$) (Ledanois, 1996).

Plantas C3: Este tipo de planta fija 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. Cobra 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) (Barceló Coll *et al.*, 1993).

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 la 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 porque la alta concentración de CO_2 en las células de la vaina impide la fotorrespiración. Esta variante del proceso de fijación confiere una EUA mayor, puesto que se fija más carbono por molécula de agua. Las plantas C4 tienen un mayor gasto energético

porque requieren la producción de una enzima extra. Pero lo compensan con una mayor EUA, mayor crecimiento y eficacia en la fotosíntesis a altas temperaturas (Barceló Coll *et al.*, 1993).

Uso eficiente del agua (EUA): Mide el carbono fijado por unidad de agua transpirada

(Barceló Coll *et al.*, 1993).

$\delta^{13}\text{C}$: Relación isotópica del $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ en relación a un estándar (Pee Dee Belemnite) y expresada en partes por mil. El valor $\delta^{13}\text{C}$ de una muestra orgánica refleja cambios estacionales de productividad primaria, zonación espacial (v.g. cerca y fuera de la costa) y proveniencia del tipo de planta (C3 o C4) ya que el valor isotópico de la muestra refleja la composición isotópica del entorno inmediato (Michener & Lajtha, 2008).

$\delta^{15}\text{N}$: Relación isotópica del $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ expresada en partes por mil sobre un estándar (Nitrógeno atmosférico). El valor $\delta^{15}\text{N}$ de una muestra orgánica refleja cambios estacionales de productividad primaria, procesos de fijación de nitrógeno, desnitrificación y posición en una red trófica (Michener & Lajtha, 2008).

RESUMEN

Las actividades antropogénicas en Laguna de Términos y la plataforma continental adyacente, generan efectos en la distribución espacial y temporal de los productores primarios, cambios en la biodiversidad y la estructura trófica. En el presente estudio se determinó la relación entre los productores primarios y la distribución de la ictiofauna, así como las contribuciones relativas de los productores primarios hacia la ictiofauna y a la materia orgánica sedimentaria (MOS). Se recolectó especímenes de productores primarios, ictiofauna y sedimento superficial en las temporadas de nortes, secas y lluvias, con el fin de realizar una prueba de independencia entre la distribución de los productores primarios y las abundancias de la ictiofauna. Posteriormente se determinó la composición isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) de cada espécimen. Se aplicó el modelo SIAR (Stable Isotope Analysis in R) para estimar las contribuciones relativas de los productores primarios a la ictiofauna y a la MOS. La distribución espacial de la ictiofauna guarda una relación con los productores primarios con un valor de $p \leq 0.05$, mientras que la composición isotópica de la ictiofauna presentó diferencias significativas, con un $p \leq 0.05$, entre zonas y entre épocas climáticas, mientras que la MOS no presentó diferencias estadísticas significativas. El mangle y los pastos marinos mostraron las mayores contribuciones a la ictiofauna para las temporadas de lluvias y secas, mientras que las macroalgas y el fitoplancton tuvieron las mayores aportaciones a la ictiofauna en la época de nortes. El mangle es el principal componente orgánico de la MOS en Laguna de Términos en nortes y lluvias, y parte fundamental de la materia orgánica exportada por el sistema lagunar a la plataforma adyacente en la época de nortes, en tanto que en la época de lluvias las contribuciones del fitoplancton son más conspicuas. Los resultados obtenidos confirman que las variaciones espaciales de los productores primarios regulan la distribución de los peces y por tanto el flujo energético en términos de carbono y nitrógeno de la materia orgánica en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, mientras que el grado de contribución de los productores primarios a la MOS se relaciona directamente con la extensión de la vegetación presente en el sistema, y el manglar es un componente importante de la exportación del sistema lagunar al mar adyacente.

ABSTRACT

Anthropogenic activities in Terminos Lagoon and continental shelf generate effects on spatial and temporal distribution of primary producers, changes in biodiversity and trophic structure. The present research aimed to determine the relationship between primary producers and the distribution of the ichthyofauna, and the relative contributions of the primary producers to the ichthyofauna and sedimentary organic matter (SOM). We collected specimens of primary producers; ichthyofauna and surface sediment in the windy seasons, dry and rainy, in order to make a test for independence between the distribution of primary producers and abundance of ichthyofauna. Subsequently we determined the isotopic composition ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) of each specimen. A SIAR model was developed (Stable Isotope Analysis in R) to estimate the relative contributions of primary producers to the Ichthyofauna and SOM. There is a relationship between the spatial distribution of the ichthyofauna and primary producers with a value of $p \leq 0.05$, whereas the isotopic composition of the ichthyofauna exhibited significant differences $p \leq 0.05$ between areas and seasons, while SOM did not show statistically significant differences. The mangrove and seagrass showed the greatest contributions to the ichthyofauna for the rainy and dry seasons, while macroalgae and phytoplankton had the largest contributions to the ichthyofauna of the windy season. The mangrove is the main organic component of SOM in Terminos Lagoon during the windy and rainy seasons, and fundamental part of organic matter exported from the lagoon system to the continental shelf during the windy season, while in the rainy season phytoplankton contributions are more conspicuous. The results confirm that the spatial variations of primary producers regulate the distribution of ichthyofauna and therefore the energy flow in terms of carbon and nitrogen of organic matter in Terminos Lagoon and the continental shelf, while the degree of contribution of primary producers to the SOM is directly related to the extent of vegetation present in the system, and the mangrove is an important component of the export of the lagoon system to continental shelf.

1 INTRODUCCIÓN

La caracterización geoquímica del material orgánico sedimentario resulta central para entender el origen y transferencia del carbono y nitrógeno dentro de los procesos biogeoquímicos. Asimismo, el origen y variabilidad espacio-temporal de los productores primarios afectan la biodiversidad y la estructura trófica de los ecosistemas costeros y del mar adyacente (Aguíñiga-García, 1999; Canuel *et al.*, 2007; Aguíñiga *et al.*, 2010). En los ecosistemas costeros, los productores primarios (fitoplancton, pastos marinos, mangles y macroalgas) son degradados y consumidos por diversas comunidades de especies que interactúan y que 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 (Colombo *et al.*, 1996; Canuel *et al.*, 2007).

Los cambios en la distribución espacio-temporal en la composición geoquímica de la materia orgánica sedimentaria (MOS) generan cambios funcionales en la biodiversidad y la estructura trófica de los ecosistemas (Duffy & Stachowicz, 2006). 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 mangle y fitoplancton por el ciclo microbiano). Estos procesos alteran de manera significativa la calidad de la materia orgánica disponible para los organismos que componen la trama trófica (Canuel *et al.*, 2007; Sánchez *et al.*, 2009), determinando el uso espacial del hábitat, las relaciones de crianza natural y el eventual cambio de especies residentes por especies oportunistas (Wilson & Sheaves, 2001; Villéger *et al.*, 2010). La MOS constituye un registro de los aportes orgánicos y las interacciones biogeoquímicas que ocurren en la escala espacio-temporal de los ecosistemas estuarino-lagunares. Su estudio permite explicar la ausencia o presencia de especies bentónicas relacionada a fuentes orgánicas específicas y a su asociación con ambientes óxicos o anóxicos en la escala temporal (Aguíñiga-García, 1999; Sánchez *et al.*, 2009). Esto es especialmente relevante en Laguna de Términos, Campeche, México, que es el ejemplo de un área bajo presión antropogénica, que ha impactado

la biodiversidad y los bienes y servicios que de ella se derivan. En este contexto, resulta de gran importancia determinar cuál reservorio de carbono y nitrógeno orgánico (fitoplancton, pastos marinos, macroalgas y mangle) es el contribuyente principal hacia la ictiofauna, y cómo este flujo energético varía en el espacio, entre las contrastantes temporadas de nortes, secas y lluvias, que caracterizan la región del suroeste de México; y si fuese el caso como es que esta dinámica influye en la estructura de las comunidades.

Este tipo de problemas ecológicos se han abordado mediante el uso de isótopos estables y biomarcadores lipídicos, los resultados de estos estudios han demostrado cómo la variabilidad isotópica de la base de la trama trófica (productores primarios) se conserva hasta depredadores tope (Alfaro *et al.*, 2006; Menard *et al.*, 2007). Esto implica que la variabilidad espacial de la materia orgánica sedimentaria estaría imprimiendo una "marca de origen" a los organismos que consumen fuentes de carbono y nitrógeno específicas. Estas fuentes orgánicas son discernibles aplicando aproximaciones geoquímicas múltiples ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y ácidos grasos) en aquel tejido orgánico que se generó a partir del alimento ingerido y efectivamente asimilado.

El $\delta^{13}\text{C}$ es utilizado para indicar la contribución relativa de diferentes fuentes de producción primaria (Figura 1). Por el proceso de fotosíntesis, las plantas C3, a través del ciclo de Calvin, sintetizan una molécula de carbohidrato de 3 carbonos con una razón de los isótopos $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ que resulta diferente a la de las plantas C4, las cuales sintetizan un carbohidrato de 4 carbonos a través del ciclo de Hatch-Slack. De esta manera, una hoja de mangle (planta C3) tendrá un $\delta^{13}\text{C} = -27\text{‰}$ mientras que un pasto (planta C4) tendrá un $\delta^{13}\text{C} = -10\text{‰}$. Es importante destacar que la fuente de carbono inorgánico define la composición isotópica del productor primario. El fitoplancton es una planta C3, pero su fuente de carbono inorgánico es el bicarbonato disuelto en el agua por lo que su $\delta^{13}\text{C} = -21\text{‰}$, lo que contrasta con el mangle que obtiene su carbono inorgánico en forma CO_2 gaseoso de la atmósfera. De esta forma, el $\delta^{13}\text{C}$ refleja la fuente de alimentación autotrófica en la base de la red alimenticia (Deniro & Epstein, 1981) que puede ser utilizada como un indicador de las zonas de alimentación y consecuentemente, en el rastreo de los desplazamientos y

el patrón de migración de los animales entre regiones isotópicamente diferentes (Rau *et al.*, 1990).

Por otro lado, la técnica de isótopos estables supone que la composición isotópica de un organismo está dada por su dieta (Deniro & Epstein, 1981), debido a la acumulación del isótopo estable más pesado (^{13}C y ^{15}N) y la excreción diferencial del más ligero (^{12}C y ^{14}N) por parte del organismo. Esto resulta en un enriquecimiento en la razón isotópica del depredador con respecto a su presa. Este enriquecimiento de un nivel trófico a otro se estima en un incremento aproximado de 1 ‰ para el $\delta^{13}\text{C}$ y de 3-5 ‰ para el $\delta^{15}\text{N}$ (Deniro & Epstein, 1981; Post, 2002; Camalich-Carpizo, 2011).

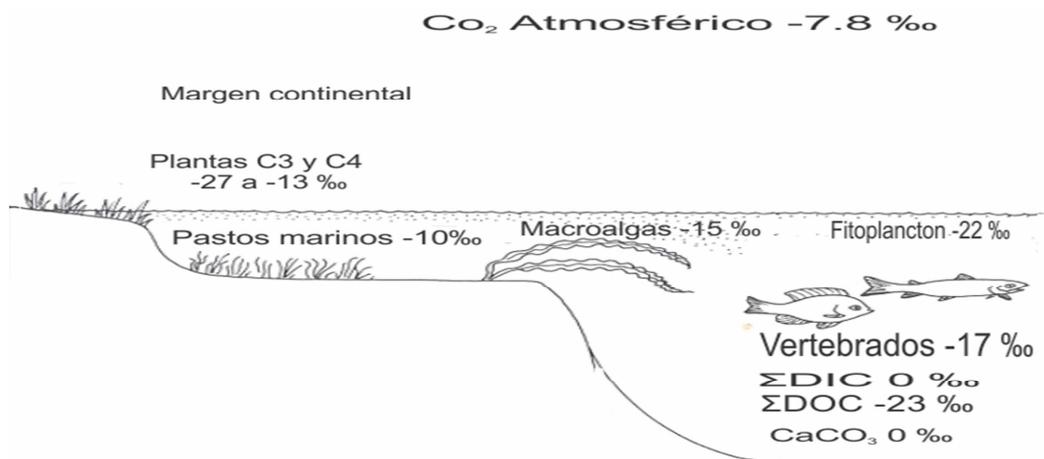


Figura 1. $\delta^{13}\text{C}$ de los productores primarios. Donde COD es: Carbono orgánico disuelto y CID es: carbono inorgánico disuelto (Boutton, 1991).

El $\delta^{15}\text{N}$ es un indicador de la posición trófica y su desviación estándar evidencia la variedad de recursos alimenticios que usa un organismo (Post, 2002; Bearhop *et al.*, 2004). De esta forma, los organismos que se alimenta de niveles tróficos más altos (carnívoros) tendrán valores de $\delta^{15}\text{N}$ superiores a los de organismos que se alimentan de niveles tróficos inferiores (herbívoros). Así, el uso de ambos isótopos permite conocer la posición trófica relativa de una especie y del posible hábitat que ocupa (Post, 2002).

En esta investigación se realizó una aproximación múltiple de la composición elemental e isótopos estables de carbono y nitrógeno en los productores primarios (macroalgas, fitoplancton, pastos marinos y mangle), materia orgánica sedimentaria y

tejido de ictiofauna, para evaluar la variabilidad espacio-temporal de la composición isotópica de los productores primarios, ictiofauna y MOS. Adicionalmente, se aplicó un modelo de mezcla tipo bayesiano: SIAR (Stable Isotope Analysis in R), para estimar la contribución relativa de los productores primarios a la MOS e ictiofauna y su relación con la distribución de la ictiofauna en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente.

2 ANTECEDENTES

Diversos estudios realizados en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente han tratado de determinar los factores que mantienen o ponen en peligro la biodiversidad de las comunidades icticas e inducen cambios en su estructura trófica y funcionamiento por efecto de las presiones antropogénicas y variabilidad climática. Es por ello que la descripción del origen y composición de la materia orgánica sedimentaria y la relación que existe con la biodiversidad, puede permitir entender la dependencia que existe entre ciertos grupos icticos y los productores primarios (Yáñez-Arancibia & J.W, 2005).

2.1 Parámetros fisicoquímicos

La temperatura y salinidad fueron proporcionadas por el proyecto ANR-CONACyT, clave 111465 (Anexo 1).

2.1.1 Temperatura

Durante la temporada de nortes, la temperatura promedio en la Laguna de Términos fue de 24.8°C, con máxima de 25.9°C y mínima de 24.1°C y en la plataforma continental adyacente, el valor promedio fue de 23.6°C, máxima de 24.5°C y mínimo de 23.3°C. De manera general existió una diferencia de 1.2°C entre Laguna de Términos y la plataforma continental adyacente en sus temperaturas promedio (Figura 2a). En la temporada de secas la temperatura promedio fue de 29.1°C, con una máxima de 30.2°C, mínima de 29.1°C en Laguna de Términos; mientras que, en la plataforma continental adyacente la temperatura media fue

27.4°C, máxima de 29.6°C y mínima de 26.2°C. La diferencia de temperatura fue 1.7°C para esta temporada (Figura 2b).

Laguna de Términos en la época de lluvias presentó una temperatura media de 30.3°C, con máxima de 31.0°C y mínima de 29.3°C. La temperatura media en la plataforma continental adyacente fue 28.3°C, máxima de 28.9°C y mínima de 27.5°C, observándose una diferencia de 2°C entre Laguna de Términos y la plataforma continental adyacente (Figura 2c).

2.1.2 Salinidad

La salinidad promedio presente en la temporada de nortes en Laguna de Términos fue 28.1 ‰, con máxima de 34.7‰ y una mínima de 17.2‰. En la plataforma continental adyacente la salinidad máxima registrada fue 38.9‰, la mínima de 34.4 ‰ y un valor promedio de 38.0‰. La salinidad de 32‰ en Boca de Puerto Real. Mientras que Boca del Carmen, la salinidad tuvo un valor promedio de 21‰ por efecto de la desembocadura de los ríos Palizada y Chumpan (Figura 3 a). La salinidad en la época de secas presento un máximo de 37.0‰, mínimo de 12.2‰ con un promedio de 30.4‰ en Laguna de Términos, mientras que en la plataforma continental adyacente se registraron un máximo de 36.6‰, mínimo de 30.3‰ y valor promedio de 34.6‰, persistió una mayor influencia de condición marina, con salinidades que fluctuaron entre 30‰ y 37‰. Por efecto de la intrusión de agua marina del Golfo de México y la zona influenciada por la descarga de los sistemas fluvio-lagunares en la temporada de secas presentó valores de salinidad que fluctuó entre 12.0‰ y 25.4‰, haciéndose más acentuado el gradiente en la porción sur-oriental (Figura 3b).

En la temporada de lluvias la salinidad media fue 27.5‰, con un intervalo de 34‰ a 2.1‰ en Laguna de Términos. En la plataforma continental adyacente, la salinidad tuvo con intervalos de 30.3‰ a 32.6‰ y un valor medio de 32.2‰. En la Boca de Puerto Real se observó una salinidad de 34‰. La región sur-oriental presento intervalos de salinidad de 2‰ a 16‰, en Boca del Carmen de 22‰ a 24‰ (Figura 3c).

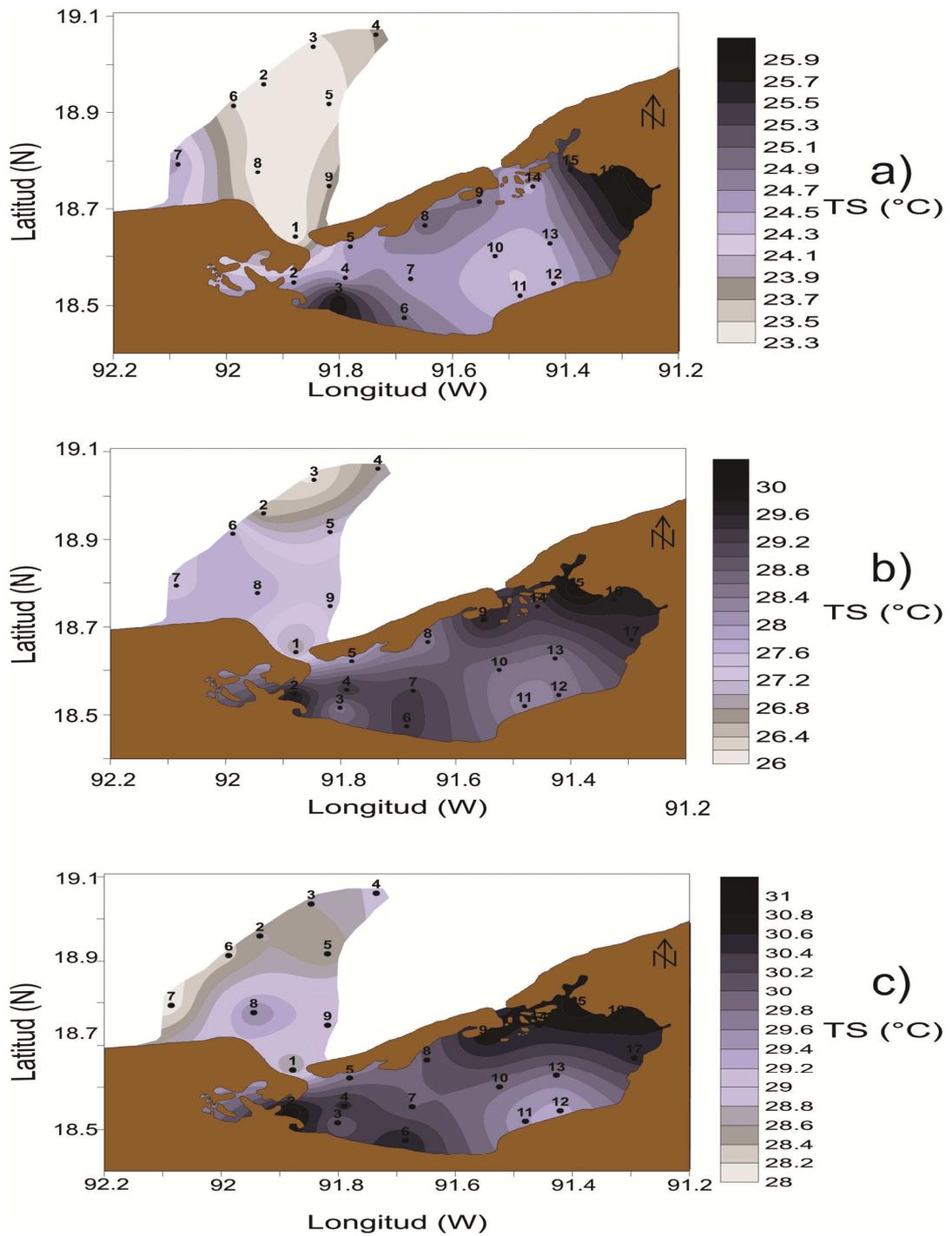


Figura 2. Temperatura superficial en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche, México durante el año 2011. Donde a) nortes, b) secas c) lluvias.

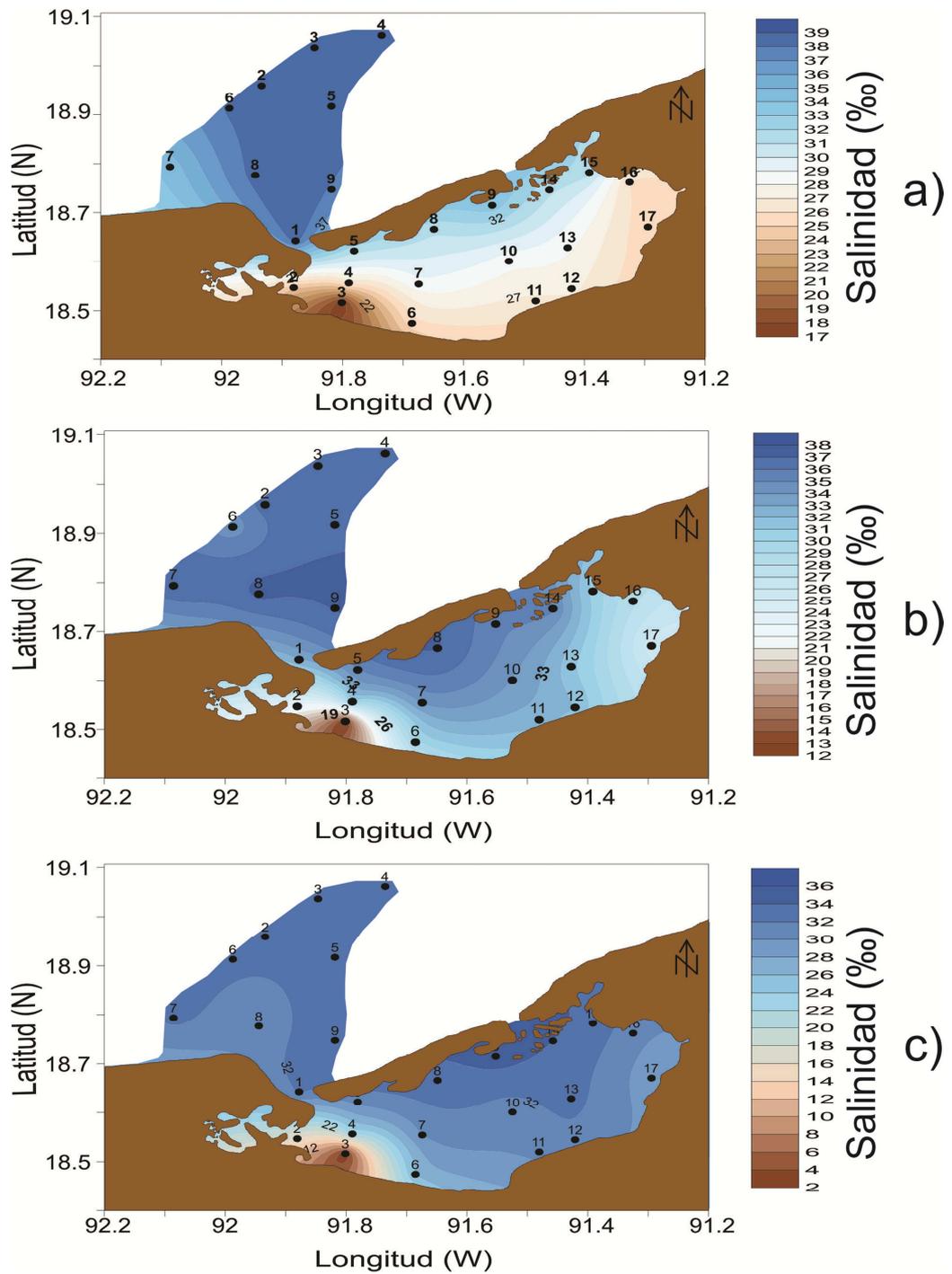


Figura 3. Salinidad en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche, México durante el año 2011. Donde a) nortes, b) secas c) lluvias.

2.2 Distribución de fitoplancton, pastos marinos, macroalgas y mangle

2.2.1 Pastos marinos (*Thalassia testudinum*)

La distribución de los pastos marinos y las macroalgas está regulada por las condiciones ambientales y afinidad a grupos texturales de sedimento. Los pastos marinos se distribuyen en sedimentos arenosos y lodosos principalmente en la costa sur de la Isla del Carmen, en la entrada de Puerto Real mientras que las macroalgas se localizan en sitios con sedimento arenoso como la parte central de Laguna de Términos. Los pastos marinos se distribuyen principalmente en el borde de la Isla del Carmen, cerca de la costa y no se encuentran en el sureste de la laguna (Raz-Guzmán & Barba-Macias, 2000). Su productividad varía entre 3 y 13 gr de peso seco/m²/día, con las tasas más altas presentándose durante la primavera en la zona de la Boca de Puerto Real (Moore & Wetzel, 1988).

Las praderas de pastos marinos, aparte de su función de productor primario, tiene valores agregados que los convierten en hábitat críticos, zona de refugio y de alimentación para postlarvas y juveniles del necton, zona de alimentación de adultos del necton (peces, tortugas) e intercambio energético con el hábitat de manglar.

Yáñez-Arancibia *et al.* (1983), reportan una pérdida de *T. testudinum* del 37.5% de la cobertura en la zona sureste de Laguna de Términos. En el año 1990, en el litoral interno de isla del Carmen existía el 58% de cobertura, mientras que en Boca de Puerto Real (Oeste-Este zona 2) era del 40% y en la zona de descarga de los ríos (Sur zona 3) del 12%. Para el año 2000 se redujo al 38%, 35% y 5% respectivamente (Figura 4) (Herrera-Silveira *et al.*, 2011).

Para el año 2010, el porcentaje de cobertura más alto fue en la región oeste (Boca de Puerto Real) con 20%, y en la parte sur en la descarga de los ríos (zona 3) prácticamente no existen pastos marinos. La pérdida de la cubierta vegetal en el sureste puede estar relacionado con la baja salinidad registrado en la zona (<10‰), así como la transparencia del agua baja (<20%). Ya que esta vegetación se asocia a altos valores de salinidad y transparencia y bajos niveles de carbonato de calcio (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1983; Raz-Guzmán & Barba-Macias, 2000; Herrera-Silveira *et al.*, 2011).

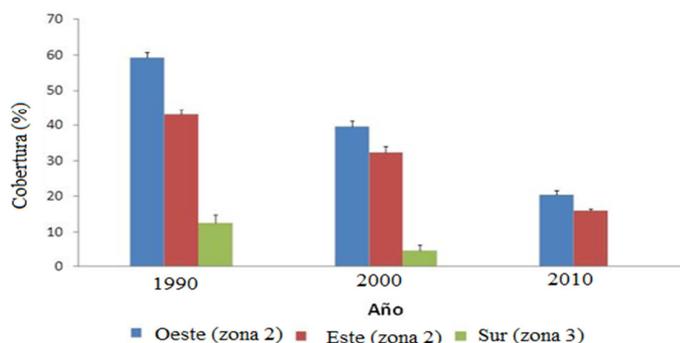


Figura 4. Distribución y cobertura de *T. testudinum* en Laguna de Términos, Campeche, México (Herrera-Silveira. *et al.*, 2011).

2.2.2 Macroalgas

La distribución de las macroalgas en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente se caracteriza por presentarse en el sustrato arenoso o arenolimoso donde se observan las algas como *Cladophora vagabunda*, *Vauceheria sp.* y *Enteromorpha lingulata*. En los sedimentos de granos gruesos, conchas o fragmentos de conchas se registraron las siguientes especies: *Gracilaria verrucosa*, *Spyridia filamentosa*, *Acanthophora spicifera*, *Hypnea cervicornis*, *H. cornuta*, *H. musciformis*, *Polysiphonia sp.*, *Enteromorpha lingulata*, *Aphanocapsa littoralis*; sobre grandes conchas de ostras: *Chondria baileyana*, *Gelidium pusillum* y *Dictyota ciliolata* (Conover, 1964).

Ortega (2009) menciona la importancia de las conchas como sustrato algal de bajo peso específico por lo que constituye una comunidad móvil por la acción de olas y corrientes. Las algas específicamente epirrísticas (sobre manglares) comprenden a *Bostrychia radicans*, *Caloglossa leprieurii* y *Microleus chthonoplastes*, aunque se encuentran presentes en limos.

Una parte importante de la vegetación está constituida por epifitas no estrictas, tales como *Herposiphonia secunda*, *Polysiphonia ferulácea*, *Polysiphonia sp.*, *Heterosiphonia crispella*, *Centroceras calvulatum*, *Enteromorpha flexuosa sub sp.*, *paradoxa*. Entre las algas no fijadas sobre algún sustrato o algas flotantes se encuentran *Caulerpa fastigiata var. confervoides*, *Chaetomorpha linum*, *Rhizoclonium africanum*, *R. kernerii* (Ortega, 2009).

2.2.3 Mangle

Las cuatro especies reportadas para México están presentes en Laguna de Términos: *Rizophora mangle* o mangle rojo en las márgenes de los ríos, lagunas y costas, por lo general los suelos inundados, *Laguncularia racemosa* o mangle blanco encontrado en suelos inundados con altos niveles de salinidad, *Avicennia germinans* o mangle negro sobre suelos arenosos que se inundan sólo durante una parte del año o en años de precipitación máxima, *Conocarpus erecta* o botoncillo en su mayoría sobre suelos arenosos y arcillosos con baja salinidad que ocasionalmente inundadas durante la estación lluviosa (Agraz *et al.*, 2012).

En general, los bosques que bordean a la Laguna de Términos presentan una fisonomía en un 50% de tipo ribereño, 38.5% de borde, 10% de cuenca y 1.5% de matorral. Esta zonificación es atribuida a las condiciones ambientales heterogéneas que caracterizan al sistema lagunar, debido a que éste recibe grandes volúmenes de flujos de agua dulce de la cuenca que drena en la península de Yucatán, de las tierras bajas de Tabasco y de la sierra de Chiapas y Guatemala; así como por el acarreo de nutrientes terrigénicos al sistema lagunar, el tipo de suelo y las actividades antrópicas que se desarrollan en la región de la Laguna de Términos (Agraz *et al.*, 2012).

Resulta relevante que la fisonomía dominante de los manglares de la Laguna de Términos sigue siendo responsable de la alta productividad y biodiversidad que se registra actualmente (Agraz *et al.*, 2012). Diversos autores reconocen que los bosques de mangle con fisonomía ribereña y de borde, son los que contribuyen con la mayor producción de hojarasca, manteniendo una rica y compleja cadena alimenticia caracterizada por una elevada producción pesquera (Agraz *et al.*, 2012).

Por otra parte, las masas de agua eurihalinas y la disponibilidad de oxígeno del agua intersticial de óxica a hipóxica prevaletentes en la mayor parte de la Laguna de Términos, determinan la dominancia de: mangle negro (*A. germinans*) con 77.4% presentando mecanismos de excreción, exclusión, acumulación de sal y capacidad de desarrollarse en condiciones de baja concentración de oxígeno. Mangle blanco (*L. racemosa*) presento una dominancia de 22.2%, glándulas excretoras de sal; el mangle rojo (*R. mangle*), es una especie con baja capacidad de tolerancia a la

salinidad y bajas concentraciones de oxígeno (Agraz *et al.*, 2012). Se ha observado que durante la época de lluvias y la de nortes se aporta el mayor volumen de hojarasca a la laguna, lo cual fertiliza las aguas favoreciendo aumentos en la biomasa de consumidores (Barreiro-Güemes, 1999; Agraz *et al.*, 2012).

2.3 Isótopos estables de carbono y nitrógeno

Estudios anteriores aplicando isótopos estables de carbono en productores primarios, detritus y MOS, han determinado que existen dos áreas isotópicamente diferentes. Una al noreste del sistema (litoral interno de Isla del Carmen y Boca de Puerto Real) con valores de $\delta^{13}\text{C}$ más pesados de -6.4‰ a -17.2‰ , y otra al oeste, suroeste y sur (Boca del Carmen y la zona de descarga de los ríos) con valores más ligeros de -15.3‰ a -24.2‰ (Raz-Guzmán & de la Lanza, 1991). Organismos bentónicos como los juveniles del camarón *Litopenaeus setiferus*, presentan un variación isotópica que refleja debido a los patrones de migración (noreste al sureste) en Laguna de Términos por lo que la variación en la composición isotópica del $\delta^{13}\text{C}$ de pesados (-8.9‰) a ligeros (-24.2‰), por efecto de alimentación con fuentes de diferente origen (Lanza & Guzmán, 1993).

Gonneea *et al.* (2004), a partir de la composición isotópica de los productores primarios y la MOS de un núcleo de alta resolución en tres lagunas de la península de Yucatán, México (Laguna de Celestun, Laguna Chelem y Laguna de Términos), y con aplicación de un diagrama ternario, determino para Laguna de Términos en una escala de 160 años, que el fitoplancton y el mangle son las principales fuentes de materia orgánica en años recientes, observando tasas de sedimentación de carbono orgánico más altas en los márgenes de la laguna, donde los manglares son la vegetación dominante. Mientras que para la región central, existió una disminución de la contribución de los mangles y pastos marinos, estas fluctuaciones son consecuencia de la variabilidad climática de la región, sin embargo no discriminaron la variabilidad natural de aquella inducida por impacto antropogénico.

3 ÁREA DE ESTUDIO

3.1 Localización

Laguna de Términos es la laguna costera más grande de México, localizada al sur del Golfo de México con un área de 1600km² y profundidad promedio de 4 m. La laguna se encuentra separada del mar abierto por la Isla del Carmen y presenta dos bocas de conexión con el mar (Carmen y Puerto Real) ambas con un canal entre 14 y 18 m de profundidad. La boca de Puerto Real tiene un ancho promedio de 3.2 km, presenta aguas marinas transparentes y un delta de flujo hipopícnico. La boca del Carmen de 3.9 km de ancho presenta una influencia fluvial derivada del río Palizada, el cual ocasiona poca transparencia del agua debido al material terrígeno en suspensión (Borges Souza, 2004).

La marea en la Laguna de Términos es de tipo mixto (diurnas y semidiurnas) siendo las componentes diurnas las dominantes; el rango entre pleamar media y bajamar media en la Isla del Carmen es de 0.43 m y el promedio de la pleamar máxima es de 0.40 m y -0.70 m. La marea viva y la marea muerta tienen un período aproximado de 14 días (SEMARNAP-INE, 1997).

3.2 Temporadas climáticas

Se han determinado tres temporadas climáticas: temporada de lluvias (junio a octubre); temporada de nortes (octubre a febrero), caracterizada por vientos del norte acompañados con lluvias ocasionales y temporada de secas (marzo a mayo) (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1988). La temporada climática de nortes, se genera por la acción de los vientos provenientes del norte que llegan a la costa de Campeche después de recorrer el Golfo de México (Grivel Piña, 1979).

3.3 Régimen de los vientos e hidrología

En Laguna de Términos existen dos sistemas de vientos dominantes: a) noroeste (octubre-marzo) con velocidades promedio mayores de 8 m/s, y b) nortenoeste y este-sureste (marzo-septiembre), con una velocidad media que varía entre 4 y 6 m/s (Yáñez-Arancibia & Day, 1982).

En la temporada de lluvias se caracteriza por presentar una precipitación de 100 mm/mes, iniciando en junio finaliza en octubre (fin de lluvias e inicio de nortes). En la región, se conserva una ligera disminución en la precipitación durante los meses de noviembre a febrero (nortes) y se registran los valores mínimos de febrero a mayo (secas). El aporte de sedimento a la laguna deriva de los ríos:

1) El río Palizada con una descarga de $238.126 \text{ m}^3/\text{s}$, desemboca en las Lagunas del Vapor y San Francisco. Esta descarga se conecta con la Laguna de Términos por medio de una boca Chica de 7 m de ancho y 15 m de profundidad (Herrera Silveria *et al.*, 2002).

2) El río Candelaria con una descarga de $35.09 \text{ m}^3/\text{s}$ que desembocan en la Laguna de Panlau y se conecta a la Laguna de Términos a través de una boca de 40 m de ancho.

3) El río Chumpán (s/d) y Mamantel con una descarga de $1.67 \text{ m}^3/\text{s}$ (Borges-Souza, 2004).

3.4 Sedimentos

Las tendencias espaciales de los parámetros texturales del sedimento (tamaño de grano medio, selección y asimetría) son indicadores de las trayectorias netas de transporte y los destinos finales de depositación del material sedimentario (Sánchez *et al.*, 2009, 2010). Los sedimentos en Laguna de Términos son de origen biogénico y terrígeno, presentando variaciones espacio-temporales asociados al patrón de circulación suroeste-noreste presente en el sistema, eventos meteorológicos, descargas fluviales y a la actividad antropogénica de la región. En una comparación de la composición y distribución de los sedimentos 1963 y 2001-2002 solo presentó diferencias significativas en la Cuenca Central (Borges-Souza, 2004).

Las fuentes principales de sedimentos terrígenos son las cuencas de los ríos Chumpán y Palizada (a través del río Usumacinta vertiente del Golfo de México); las fuentes de aporte de sedimentos carbonatados son el Golfo de México a través de las Bocas de Puerto Real y Boca del Carmen, los cuales son transportados por las corrientes de marea (Borges-Souza, 2004).

La distribución de los sedimentos superficiales, está relacionada con el patrón de circulación dominante del agua que ingresa a la laguna, procedente de la provincia calcárea, a través de la Boca de Puerto Real y fluye hacia fuera de la laguna por la Boca del Carmen, situada en la provincia terrígena. La distribución de carbonato de calcio en los sedimentos sugiere que los materiales biogénicos se han introducido por las corrientes intermareales a partir de la plataforma continental adyacente, que invaden a la laguna a través del Canal de Puerto Real (Yáñez-Correa, 1963; Borges-Souza, 2004).

La Laguna de Términos presenta cinco tipos de sedimentos distribuidos de la siguiente manera (Borges-Souza, 2004):

1. Arenas, 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, y 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 litoral continental.
5. Arcillas-limosas aportadas por vía fluvial hacia la laguna interior.

4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los ecosistemas estuarinos mantienen una alta diversidad de hábitats como humedales de manglar, praderas de pastos marinos con sustratos lodosos y arenosos. Las perturbaciones naturales y antropogénicas que incurren sobre estos hábitats y sus comunidades, altera la calidad de los reservorios de carbono y nitrógeno, induciendo diferentes respuestas en el flujo energético y el funcionamiento del ecosistema.

Laguna de Términos junto con la plataforma continental adyacente forman un complejo ecológico de gran importancia, por lo que se mantiene un interés primario sobre la biología, así como los planes de conservación y las actividades de pesquerías (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1983; 1982; Yáñez-Arancibia & J.W, 2005). Esta laguna ha sido severamente impactada por actividades antropogénicas durante las últimas décadas (pesquería del camarón, urbanización de la Isla del Carmen y la deforestación de humedales para fines de agricultura intensiva) (Ramos Miranda *et al.*, 2008).

Estudios previos han establecido un fuerte cambio en las condiciones ambientales como la pérdida de la vegetación acuática sumergida y cambios en las condiciones hidrológicas, principalmente en pérdida de las condiciones estuarinas y disminución de la transparencia del agua en los últimos 20 años (Ramos Miranda *et al.*, 2005). La variabilidad de la cobertura de *Thalassia testudinum* que en 1990 disminuyó en comparación con 1980, ha provocado la disminución de especies como el *Sphoeroides testudineus*, *Archosargus rhomboidalis* y *Ariopsis felis* y el incremento significativo de los peces de la familia Gerridae, como consecuencia de las características funcionales ligadas a los diferentes hábitats definidos por los productores primarios (Villalobos Zapata *et al.*, 2001; Villeger *et al.*, 2010). Así como cambios en la estructura trófica de las comunidades de peces y la disminución de la contribución relativa de los pastos marinos a la materia orgánica sedimentaria y un incremento de la contribución del fitoplancton y del mangle (Gonneea *et al.*, 2004; Sosa-López *et al.*, 2005). No obstante, no existen trabajos en el área de estudio que a partir de la composición isotópica de los productores primarios, MOS e ictiofauna, que determinen la contribución relativa en términos de carbono y nitrógeno de los

productores primarios a la MOS e ictiofauna en la escala espacio-temporal y su relación con la distribución de la ictiofauna en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente. Esto es importante ya que la disminución de un productor primario (v.g. pastos marinos) puede amenazar la existencia de peces que necesitan de pastizales para alimentarse y reproducirse, así como cambios en el origen de la MOS.

5 HIPÓTESIS

La distribución de los peces en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche, México es en gran medida determinada por las contribuciones de los productores primarios siendo el vínculo la MOS.

6 OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Determinar la variabilidad espacial de los productores primarios y su relación con la distribución de la ictiofauna en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche, México.

6.2 Objetivos particulares:

- Describir la variabilidad de los productores primarios en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente y su relación con la variación de la distribución de la ictiofauna.
- Determinar la variabilidad espacio-temporal del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de los productores primarios, ictiofauna y de la MOS.
- Cuantificar la contribución relativa de los productores primarios hacia la MOS e ictiofauna.

7 MATERIAL Y MÉTODOS

7.1 Recolecta de muestras

La recolecta de las muestras se realizó en los meses de noviembre y marzo (temporada climática representativa de nortes), mayo (temporada climática representativa de secas) y septiembre (temporada climática representativa de lluvias) del año 2011. El diseño de muestreo consideró la zonación propuesta por Villéger *et al.*, (2010) compuesta de 17 estaciones distribuidas espacialmente dentro Laguna de Términos, comprendiendo Boca del Carmen (zona 1), el litoral interno de isla del Carmen y Boca de Puerto Real (zona 2), la desembocadura de los ríos (Palizada, Chumpan y el sistema Candelaria-Panlau) (zona 3) y el centro de la cuenca (zona 4), y 9 estaciones en la plataforma continental adyacente (Figura 5).

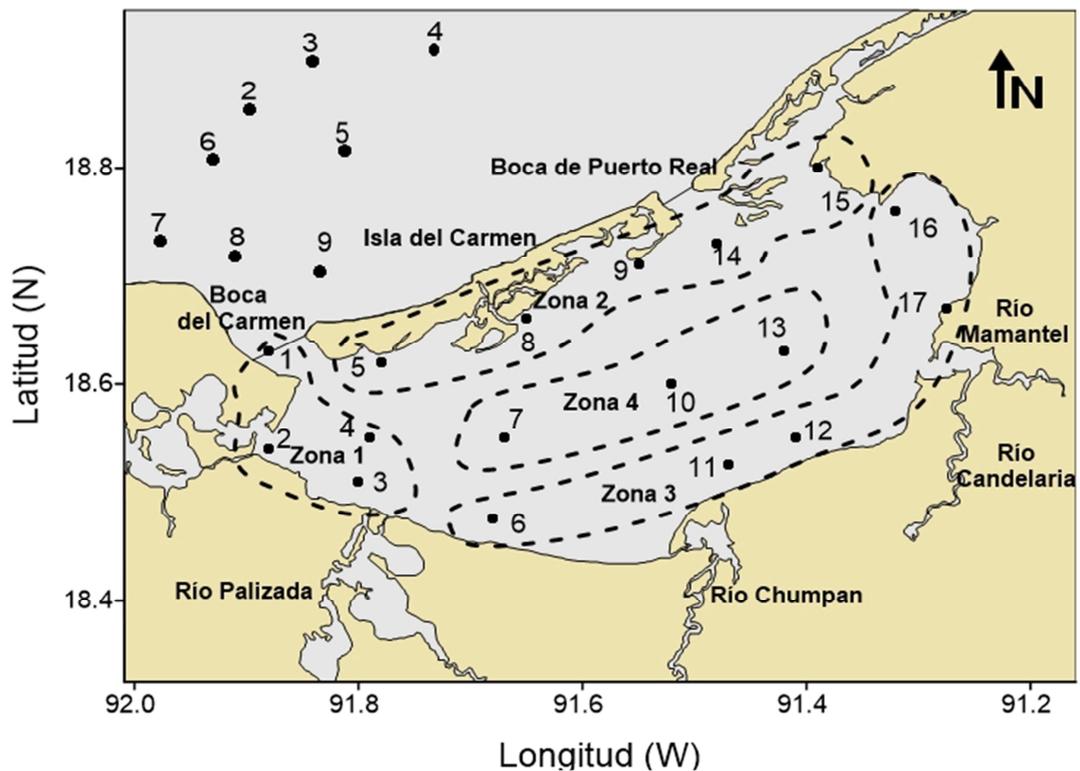


Figura 5. Estaciones de muestreo en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente en Campeche, México.

7.1.1 Ictiofauna

Las capturas de la ictiofauna en Laguna de Términos fueron diurnas a una profundidad menor a 4 m. Se utilizó una red de prueba camaronera (chango) con luz de malla de 2 de pulgadas.

Los arrastres fueron con una velocidad promedio de 2 nudos con 12 minutos de duración. El muestreo en la plataforma continental adyacente, se realizó en una red de 9 estaciones distribuidas desde Boca del Carmen hasta la isobata de los 20 metros, efectuándose a bordo de un buque camaronero "Chilam Balam" de doble aparejo de 18.5 m de eslora. El arte de pesca utilizada fue una red camaronera de tipo comercial con una abertura de 30 pies (9 m) y malla de 1 1/3". Estas capturas fueron diurnas y nocturnas a una velocidad promedio de 2 nudos, durante media hora. Una vez recuperada las redes los organismos colectados fueron separados, etiquetados y pesados para después ser congelados hasta su identificación y disección en la Universidad Autónoma de Campeche (UAC).

7.1.2 Productores primarios (fitoplancton, pastos marinos, macroalgas, y mangle)

Se colectaron 10 g de macroalgas, pastos y mangle en cada uno en los sitios donde estuvieron presentes. Las muestras colectadas fueron puestas en bolsas de plástico y conservadas en frío hasta llegar al laboratorio. Para el fitoplancton, se realizaron arrastres con una red de plancton de 20 μm de luz de malla, el arrastre duro 5 minutos a una velocidad de 2 nudos, hasta conseguir un filtrado visible. La muestra retenida en el copo se colecto en un vial de vidrio o plástico con tapón hermético para su posterior congelamiento a -20°C .

7.1.3 Materia orgánica sedimentaria (MOS)

El muestreo del sedimento superficial se realizó en Laguna de Términos y la plataforma continental adyacente. Para el muestreo del sedimento se utilizó un nucleador de caja (Figura 6). El sedimento colectado se coloca en viales de vidrio de 15 ml y congelados a -20°C .



Figura 6. Mini nucleador de caja.

7.2 Preparación de muestras para análisis de isótopos estables

7.2.1 Ictiofauna

En el laboratorio los organismos fueron lavados e identificados utilizando los trabajos de Castro-Aguirre *et al.* (1999); Cervigón (1992) y Carpenter *et al.* (2002). Se obtuvo la talla total (cm) y el peso total (g) de cada individuo. Posteriormente se extrajo el tejido muscular en la región dorsal (aproximadamente 0.5 g), procurando seleccionar ejemplares de tallas similares (de preferencia adultos o los juveniles “más grandes”).

Las muestras se preservaron en viales de cristal de 10 mL con taparosca de baquelita colocando un papel aluminio entre la tapa y el vial para que se guardaran en frío (-20°C) para el análisis isotópico posterior. Las muestras fueron liofilizadas, maceradas en un mortero de ágata, obteniendo una muestra de 2 mg en una microbalanza Mettler Toledo con 0.1 µg de precisión y empacadas en cápsulas de estaño.

7.2.2 Productores primarios (fitoplancton, pastos marinos, macroalgas y mangle)

Las muestras de fitoplancton, pastos marinos, macroalgas y mangle fueron liofilizadas y molidas. El vial se preservó en un desecador, posteriormente el componente planctónico fue fraccionado por tamaño y guardado en frío (-20°C) para su análisis isotópico.

El siguiente paso consistió en introducir los frascos con las muestras previamente congeladas en el equipo liofilizador, para después pesar 6 mg de muestra y finalmente empacar en capsulas de estaño.

7.2.3 Materia orgánica sedimentaria (MOS)

El sedimento descongelado se homogenizó para tomar una alícuota de aproximadamente 2 g, el material carbonatado observable (conchas, restos y caracoles) fue extraído con pinzas, y el sedimento fue traspasado a contenedores de plástico en los que se adicionó ácido clorhídrico al 10% para eliminar carbonatos. Después fue lavado con agua destilada para eliminar sales.

Este procedimiento se realizó bajo una campana de extracción para ácidos de flujo continuo y se repitió hasta que cesara la efervescencia del material carbonatado para después liofilizarlo, una vez seco el sedimento, se pesó 5 mg en cápsulas de estaño.

7.3 Determinación de isótopos de carbono y nitrógeno

Para obtener los valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, las muestras empacadas en cápsulas de estaño, fueron introducidas en un analizador elemental Costech en interface con un espectrómetro de masas. Los resultados son expresados por medio de la siguiente ecuación:

$$\delta^{15}\text{N} \text{ ó } \delta^{13}\text{C} = [(R \text{ muestra}/R \text{ estándar})-1] * 1000$$

Donde:

R= $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ o $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ respectivamente

Estándar = Nitrógeno atmosférico (N) y Vienna Pee Dee Belemnite (C).

La precisión analítica de la medición del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ fue menor a 0.02‰ determinada en estándares primarios (urea, nitrato de potasio y sulfato de amonio).

7.4 Modelo de mezcla bayesiano

La determinación de las contribuciones relativas de los productores primarios a la composición de la materia orgánica y a la ictiofauna, se realizó mediante el software R 2.15 (www.r-project.org). Utilizando el paquete SIAR (Stable Isotope Analysis in R, Parnell *et al.*, 2010; www.cran.r-project.org/Package=siar), considerando los valores $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de las muestras y el enriquecimiento isotópico promedio ($\delta^{15}\text{N}=3.54\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C}= 1.52\text{‰}$) (Parnell *et al.*, 2010). Esto conduce a la inclusión de un término de error residual y a la generación de posibles soluciones de contribución, como distribuciones de probabilidad.

7.5 Análisis estadístico

A partir de valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la ictiofauna, MOS y productores primarios. Se aplicaron pruebas de normalidad, Kolmogorov- Smirnov, Kruskal-Wallis y de comparación múltiple. A las contribuciones relativas de los productores primarios a la ictiofauna y a la MOS, se les realizó un análisis de conglomerados y componentes principales utilizando el paquete vegan (vegan: Community Ecology Package, Dixon, 2003; www.cran.r-project.org/Package=vegan), desarrollado en el software R 3.02 (www.r-project.org). La representación espacial del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la MOS se realizó con el Golden Software Surfer 11 (www.goldensoftware.com/products/surfer).

8 RESULTADOS

8.1 Distribución espacio-temporal de la ictiofauna

Durante las temporadas climáticas de nortes, secas y lluvias en Laguna de Términos y plataforma adyacente se capturaron un total de 3555 organismos, que representan 17 familias y 25 especies (Anexos 2, 3 y 4).

En la temporada de nortes se observaron 665 individuos de 7 familias, siendo las especies *Diapterus rhombeus* y *Eucinostomus argenteus* las que mostraron mayores abundancias con 158 organismos (23.7% de la abundancia total) y 150 (22.5% de la abundancia total) respectivamente, mientras que las menos abundantes

fueron *Lutjanus synagris*, *Acanthostracion quadricornis* y *Eugerres plumieri* con 10 (1.50% de la abundancia total), 18 organismos (2.7% de la abundancia total) y 19 organismos (2.80% de la abundancia total) (Anexos 2 y 5).

La mayor abundancia se presentó en la zona 2 (litoral interno de Isla del Carmen) y zona 3 (zona de descarga de los rios) con 246 organismos (37% de la abundancia total) y 242 organismos (36% de la abundancia total). *D. rhombeus* y *E. argenteus* mostraron mayores abundancias en la zona 3 y en la zona 1 (Boca del Carmen) y abundancias proporcionales en la zona 2 (litoral interno de isla del Carmen) y zona 4 (región central), mientras que *L. synagris* y *E. plumieri* mostraron presencia solo en la zona 2 y zona 3 (Anexos 2 y 5).

En la temporada de secas se observaron 661 individuos de 13 familias, las especies *Ariopsis felis* y *Sphoeroides testudineus* fueron las más abundantes con 146 organismos (22.1% de la abundancia total) y 99 organismos (15% de la abundancia total) respectivamente. Las menos abundantes fueron *Polydactylus octonemus* y *Trichiurus lepturus* con 4 organismos (0.6% de la abundancia total) proporcionalmente (Anexos 3 y 6).

La mayor abundancia se presentó en la zona 2 con 268 organismos (40.5% de la abundancia total) mientras que la menor abundancia se presentó en la zona 4 con 95 organismos (14.4% de la abundancia total). *A. felis* y *S. testudineus* mostraron mayor presencia en la zona 2 y menor presencia en la zona 1. *Polydactylus octonemus* solo se presentó en la zona 1 y 3 mientras que *T. lepturus* se mostró ausente en la zona 2 (Anexos 3 y 6).

En la temporada de lluvias se observaron 2187 individuos de 17 familias, las especies más abundante fueron *Eucinostomus argenteus* y *Diapterus rhombeus* con 755 organismos (34.5% de la abundancia total) y 345 organismos (15.8% de la abundancia total) respectivamente. Las especies menos abundantes fueron *Menticirrhus americanus* con 1 (0.01% de la abundancia total), *Anchoa lyolepis* y *L. synagris* con 4 organismos (0.20% de la abundancia total) respectivamente (Anexos 4 y 7).

Las mayores abundancias se registraron en la zona 2 y en la zona 3 con 787 organismos (36% de la abundancia total) y 784 organismos (35.8% de la abundancia total), mientras que la menor abundancia la registró la zona 4 con 225 organismos (10.3% de la abundancia total). *E. argenteus*, *E. gula* y *D. rhombeus*, fueron abundantes en la zonas 2 y 3. *M. americanus* solo mostró presencia en la zona 1, mientras que *L. synagris* en la zona 1 y 2 por su parte *A. lyolepis* solo mostro presencia en la zona 4 (Anexos 4 y 7).

Considerando las abundancias ponderadas de la ictiofauna en las zonas descritas por Villeger *et al.* (2010) en las temporadas de nortes, secas y lluvias (Anexos 2, 3 y 4), así como la distribución de los productores primarios, se realizó una tabla de contingencia (Anexos 5, 6 y 7) con prueba de Chi-cuadrado de independencia (Anexos 6, 8 y 10), encontrando que existe relación entre la distribución de los productores primarios y la abundancia espacio-temporal de la ictiofauna en Laguna de Términos con un valor de $p \leq 0.05$.

8.2 Composición isotópica de carbono y nitrógeno

8.2.1 Productores primarios (Fitoplancton, pastos marinos, macroalgas y mangle)

Los productores primarios colectados en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente registraron un amplio intervalo de valores de $\delta^{13}\text{C}$ de -11.5‰ a -28.2‰, lo cual indica que aprovechan fuentes de carbono orgánico de muy diversa naturaleza. El mangle (planta C3) mostró un $\delta^{13}\text{C}=-28.2\text{‰}$, el pasto marino (planta C4) tuvo un $\delta^{13}\text{C}=-11.0\text{‰}$ y las macroalgas un $\delta^{13}\text{C}=-21.2\text{‰}$. El fitoplancton presentó un $\delta^{13}\text{C}=-20.7\text{‰}$ (Figura 7).

Con respecto a la composición del $\delta^{15}\text{N}$ se observa que varía de 4.3‰ a 6.6‰, por tener diferentes orígenes de nitrógeno orgánico. Los pastos marinos mostraron un $\delta^{15}\text{N}=4.3\text{‰}$, el fitoplancton mostró un $\delta^{15}\text{N}=5.0\text{‰}$, el mangle y las macroalgas mostraron composiciones de $\delta^{15}\text{N}$ de 6.0‰ a 6.6‰ (Figura 8). El análisis de clúster a partir de la composición isotópica discrimina dos grupos los de las plantas C3 y C4 (Figura 8).

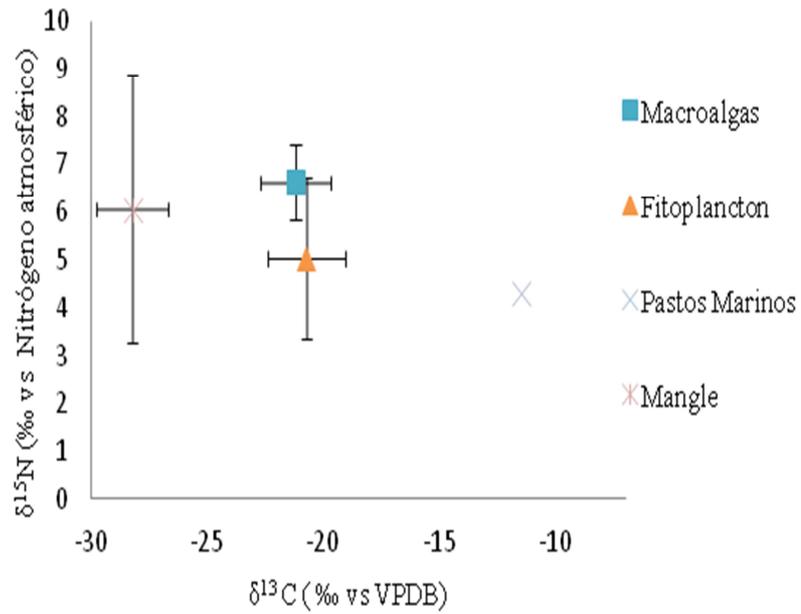


Figura 7. $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en los productores primarios en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche, México.

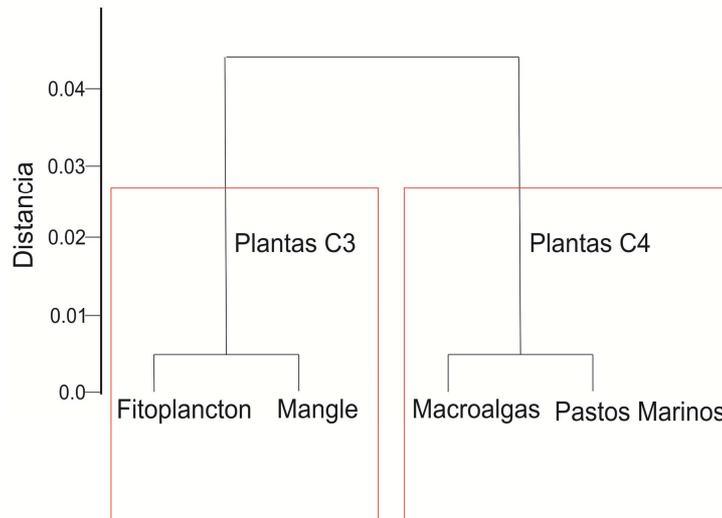


Figura 8. Cluster a partir de la Composición de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de las fuentes de Carbono y Nitrógeno.

8.2.2 Ictiofauna temporada de nortes

Para la temporada de nortes en Laguna de Términos, se analizaron 36 organismos, correspondientes a 13 especies. Se encontraron valores de $\delta^{13}\text{C}$ máximos de -15.1‰ , y mínimos de -20.5‰ pertenecientes a *Eugerres plumieri* y *Lutjanus synagris*, capturados en la zona 2 y 3 respectivamente (Figura 7 y Anexo 8). El $\delta^{15}\text{N}$ presentó valor máximo de 14.4‰ , y mínimo de 10.4‰ , correspondientes a *Gymnura micrura* capturados en la zona 1 y *Prionotus scitulus*, en las zonas 2 y 4 respectivamente (Figura 9 y Anexo 8).

En la plataforma continental adyacente en la temporada de nortes se analizaron 183 organismos, correspondientes a 42 especies, encontrando valores de $\delta^{13}\text{C}$ máximo de -10.8‰ , y mínimo de -25.1‰ pertenecientes a *Synodus foetens* y *Diapterus auratus* respectivamente (Anexos 9 y 10). *Sphyraena guachancho* y *Caranx hippos* presentaron un $\delta^{15}\text{N}$ de 14.2‰ mientras que *Synodus foetens* exhibió el valor más bajo de 9.5‰ (Anexos 9 y 10).

En Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, los valores $\delta^{13}\text{C}$ son menores en la zona 3 (-22.7‰) con respecto a la zona 1 y 2 (-13.5‰ y -14.3‰) respectivamente (Figura 12 a). Para el $\delta^{15}\text{N}$, la zona 1 tuvo el valor mayor (12.4‰) con respecto a la ictiofauna presente en la zona 2 de 8.8‰ (Figura 13a).

8.2.3 Ictiofauna temporada de secas

En la temporada de secas se analizaron 82 organismos que comprendieron a 23 especies, el $\delta^{13}\text{C}$ de la ictiofauna mostró valor máximo de -12.3‰ , mínimo de -20.2‰ perteneciente a *Narcine brasiliensis* y *Chaetodipterus faber* capturados en la zona 2 y 3. El $\delta^{15}\text{N}$ presentó valor máximo de 13.7‰ y mínimos de 9.0‰ , correspondientes a las especies *Cynoscion nebulosus* capturado en la zona 1 y *Eucinostomus argenteus*, capturado en las zonas 2 y 4, mientras que la plataforma continental adyacente se analizaron 208 organismos, correspondientes a 30 especies (Figura 10 y Anexo 11).

El $\delta^{13}\text{C}$ presentó máximo de -14.2‰ y mínimo de -22.8‰ pertenecientes *Narcine brasiliensis* y *Pomacanthus paru* respectivamente y el $\delta^{15}\text{N}$ máximo de 13.9‰ y mínimo de 9.4‰ , de las especies *Caranx hippos* y *Eustomias crossotus*,

respectivamente (Anexos 12 y 13). La composición isotópica del $\delta^{13}\text{C}$ de la ictiofauna mostró valor de -20.8‰ en la zona 3 de -12.3‰ y -11.5‰ y en la zona 2 y en la plataforma continental adyacente respectivamente (Figura 12b). La máxima composición isotópica del $\delta^{15}\text{N}$ fue 13.9‰ en la plataforma continental adyacente y la mínima fue 7.2‰ en la zona 3, (Figura 13b).

8.2.4 ictiofauna temporada de lluvias

Para la temporada de lluvias se analizaron 138 organismos, correspondientes a 25 especies en Laguna de Términos, encontrando valor de $\delta^{13}\text{C}$ máximos de -11.3‰ y mínimo de -25.1‰ pertenecientes a *Orthopristis chrysoptera* y *Anchoa lyolepis*, capturados en la zona 2 y 1 (Figura 11 y Anexo 14). Para $\delta^{15}\text{N}$ se obtuvo un valor máximo de 13.4‰ y valor de mínimo de 9.1‰, para las especies *Strongylura notata* y de la familia Gobiidae, capturados en la zona 2 y en las zonas 1 respectivamente (Figura 11 y Anexo 14). La composición isotópica del $\delta^{13}\text{C}$, mostró valor de -25.1‰ en la zona 1 y de -12.3‰ y -11.3‰ en la plataforma continental adyacente y zona 2, respectivamente (Figura 12c). El $\delta^{15}\text{N}$ mostró valor de 13.8‰ y de 8.1‰ en la zona 1 y 2, respectivamente (Figura 13c).

La composición isotópica de la ictiofauna en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente presenta diferencias significativas con un valor de $p \leq 0.05$, entre zonas y entre épocas climáticas (Anexos 19 y 20), difiriendo significativamente con un valor de ($p \leq 0.05$, entre lluvias vs nortes, lluvias vs secas y nortes vs secas).

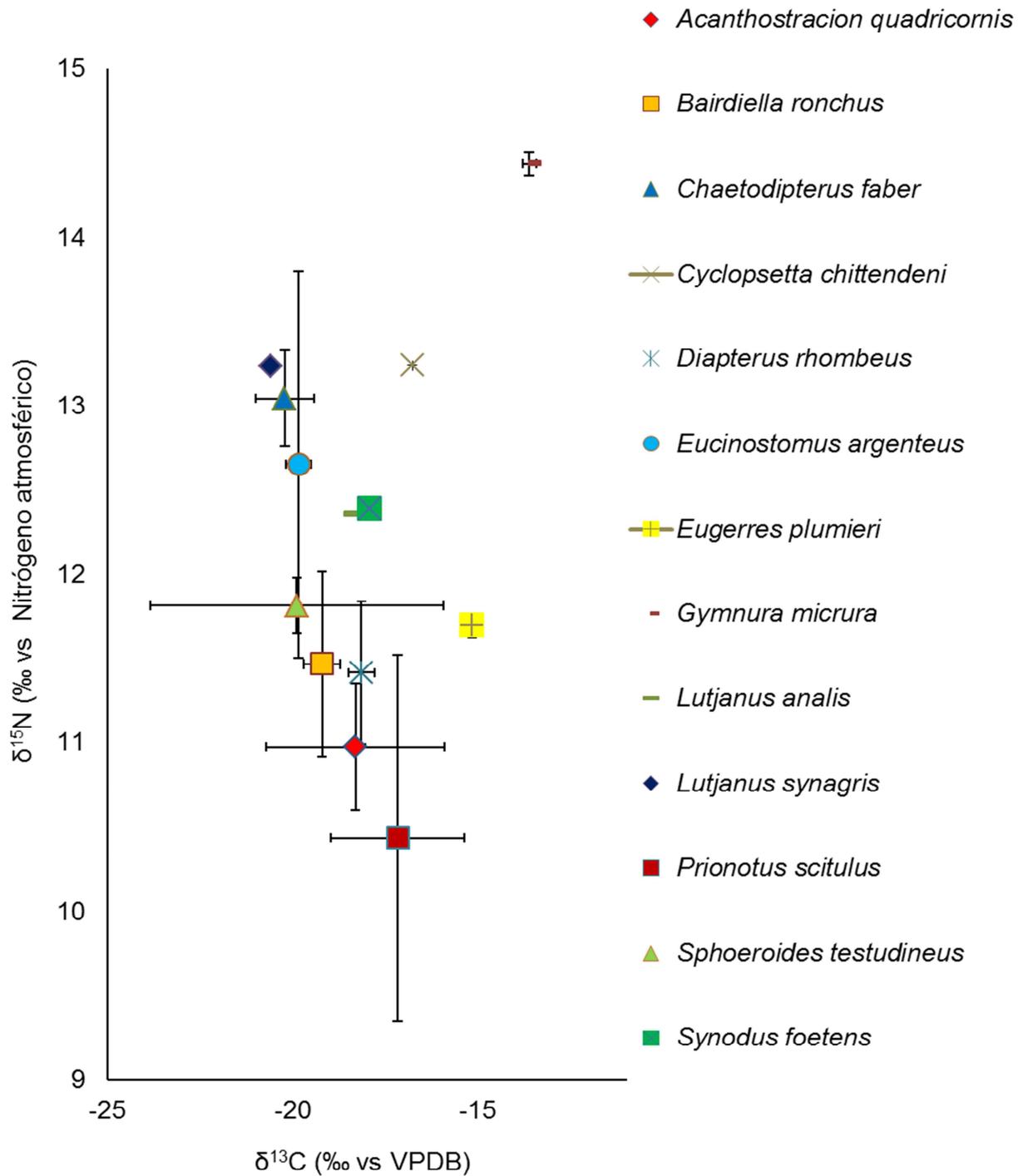


Figura 9. $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la ictiofauna en Laguna de Términos, Campeche, México en la temporada de nortes.

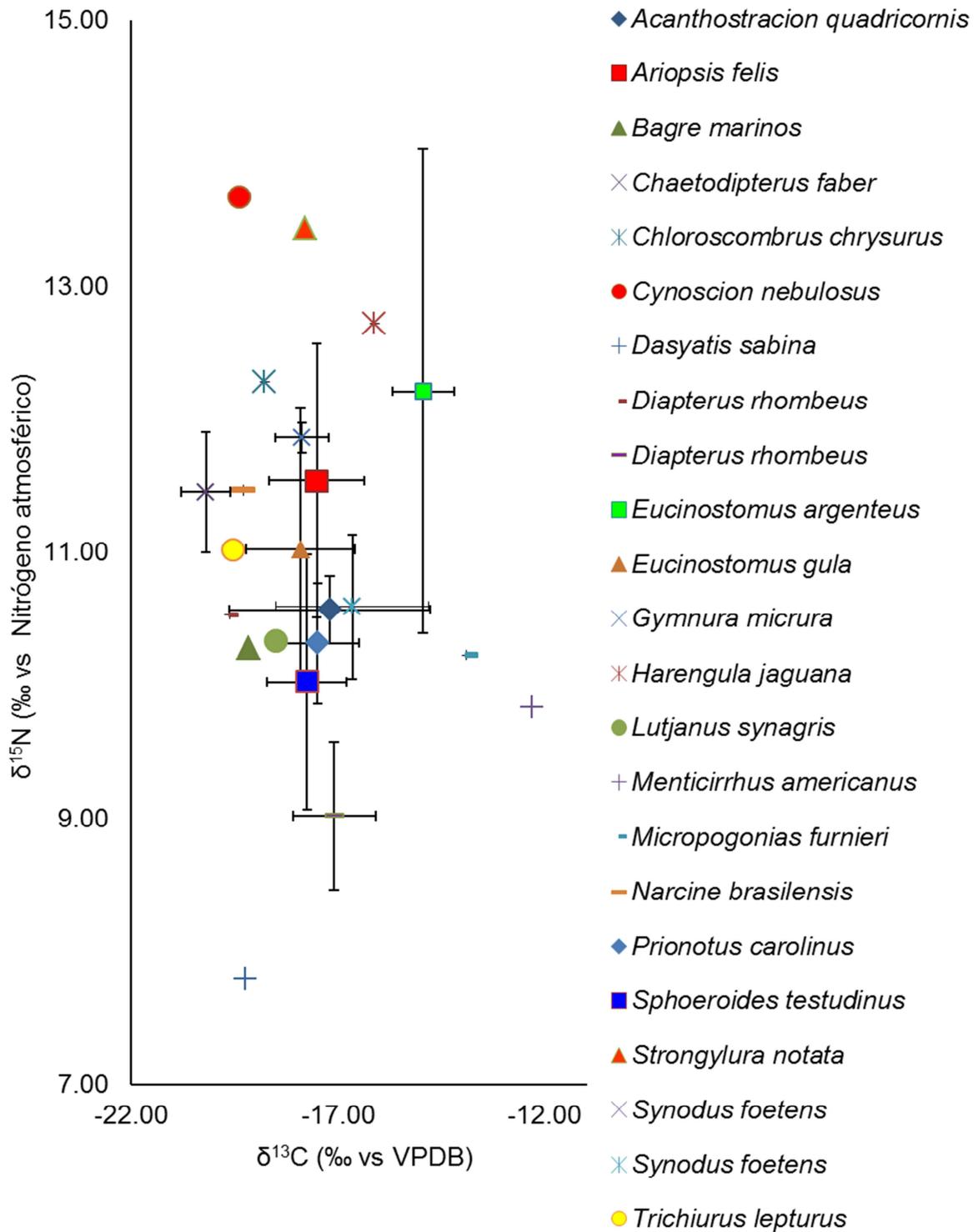


Figura 10. $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la ictiofauna en Laguna de Términos, Campeche, México en la temporada de secas.

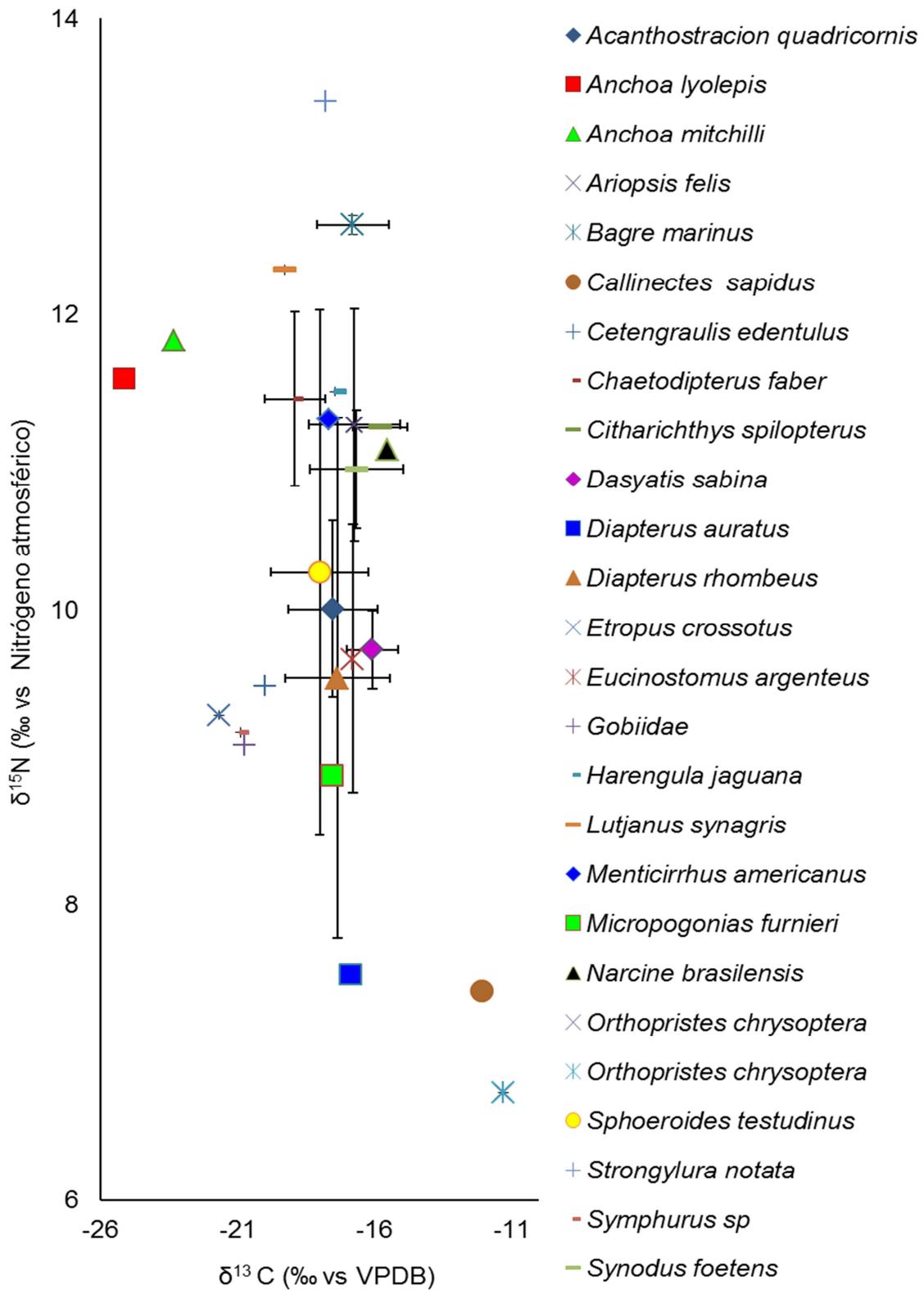


Figura 11. $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la ictiofauna en Laguna de Términos, Campeche, México en la temporada de lluvias.

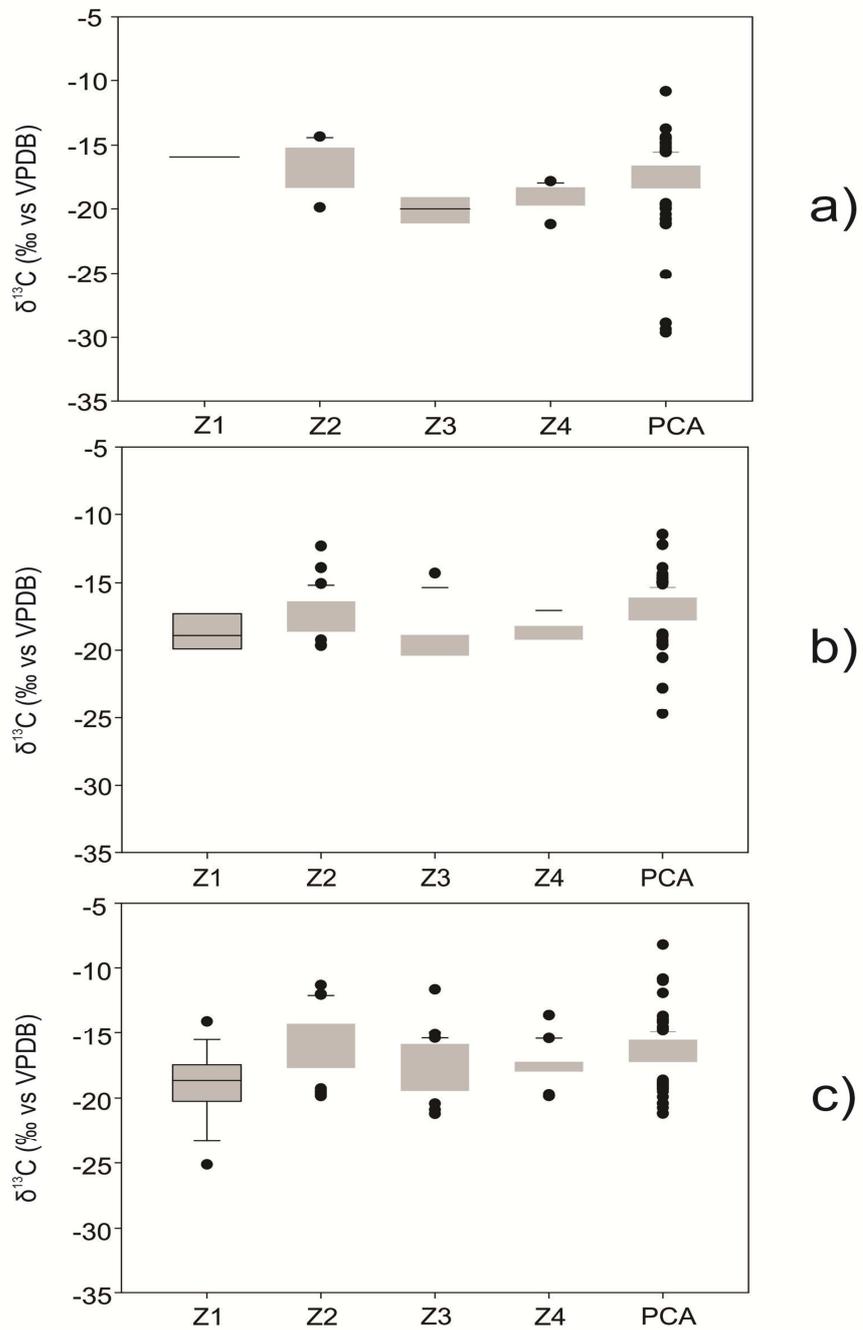


Figura 12. $\delta^{13}\text{C}$ de la ictiofauna en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche, México. Correspondientes a tres temporadas climáticas: a) nortes, b) secas y c) lluvias. Donde Z1: zona 1, Z2: zona 2, Z3: zona 3, Z4: zona 4 y PCA: plataforma continental adyacente.

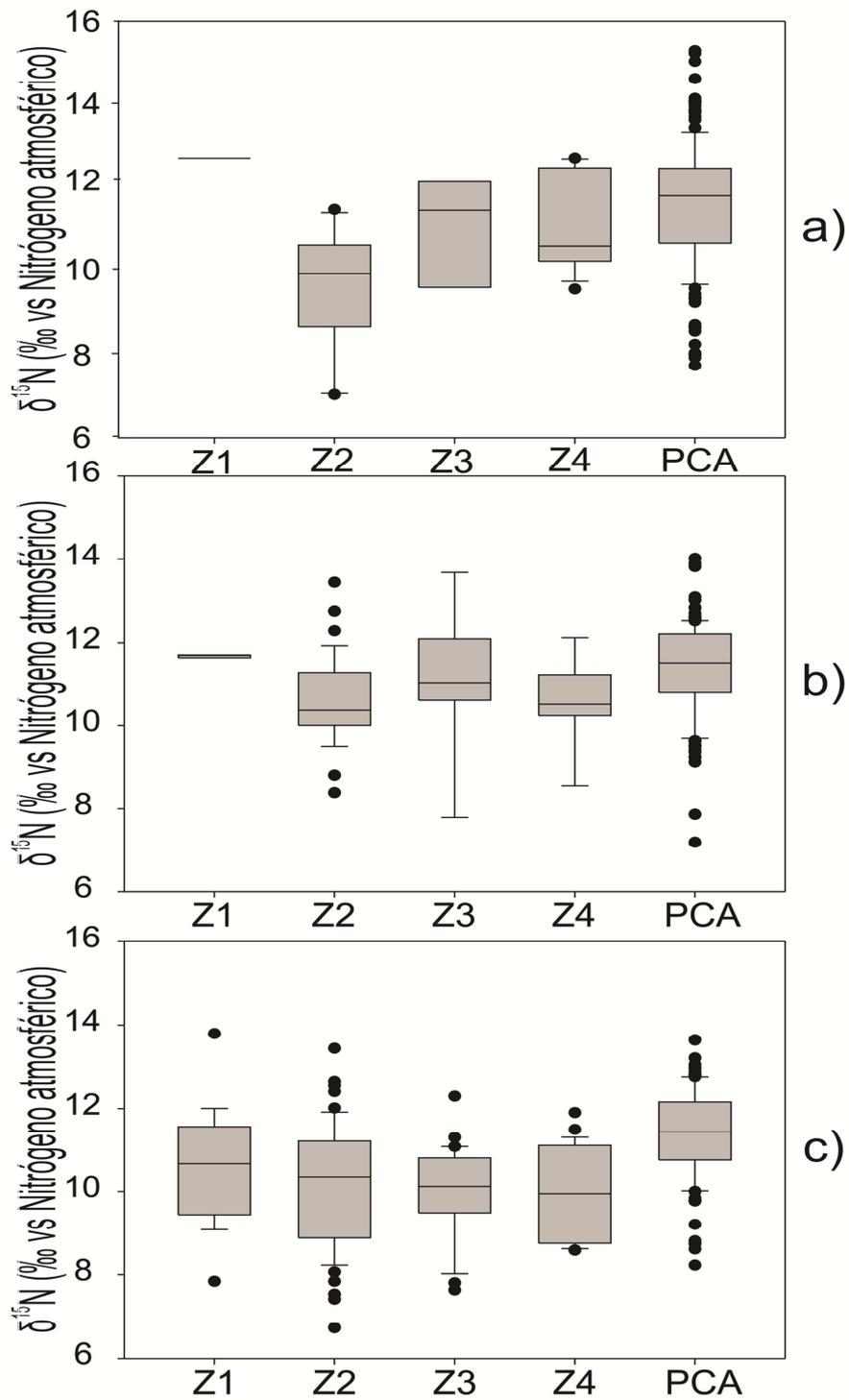


Figura 13. $\delta^{15}\text{N}$ de la ictiofauna en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche, México. Correspondientes a tres temporadas climáticas: a) nortes, b) secas y c) lluvias. Donde Z1: zona 1, Z2: zona 2, Z3: zona 3, Z4: zona 4 y PCA: plataforma continental adyacente.

8.2.5 Materia orgánica sedimentaria (MOS) en la temporada de nortes

En la temporada de nortes el $\delta^{13}\text{C}$ en la MOS mostró los valores más enriquecidos en la zona 2 (Boca de Puerto Real y en el litoral interno de Isla del Carmen) de $-19.4\pm 6\text{‰}$ a $-16.7\pm 2\text{‰}$, que se distribuyen en dirección hacia la zona 4 (región más profunda). Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ menos enriquecidos de $-23.8\pm 2\text{‰}$ a $-22.8\pm 0.6\text{‰}$ ocurren en la zona 3 (área de descarga de los ríos) y la zona 1 (Boca del Carmen) extendiéndose hacia la plataforma continental adyacente como resultado del patrón de circulación del sistema (Figura 14a y 15a).

El $\delta^{15}\text{N}$ en la MOS mostró los valores menos enriquecidos en Boca de Puerto Real y en la zona norte dentro de la Laguna de Términos de $2.3\pm 1\text{‰}$ a $3.7\pm 0.5\text{‰}$, que se distribuyen lo largo de Isla del Carmen en dirección la plataforma continental adyacente. Por otra parte el $\delta^{15}\text{N}$ más enriquecido como de $3.9\pm 1\text{‰}$ ocurre en el área de descarga de los ríos extendiéndose hacia la región central (Figura 16a y 17a).

8.2.6 Materia orgánica sedimentaria (MOS) en la temporada de lluvias

En la temporada de lluvias la distribución el $\delta^{13}\text{C}$ en la MOS mostró los valores más enriquecidos en la zona 2 (Boca de Puerto Real y en el litoral interno de Isla del Carmen) de $-19\pm 6\text{‰}$ a -18.1‰ , que se distribuyen en dirección hacia la zona 4 (región más profunda). Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ menos enriquecidos de $-23\pm 0.1\text{‰}$ a $-20\pm 2\text{‰}$ ocurren en la zona 3 (área de descarga de los ríos) y la zona 1 (Boca del Carmen) extendiéndose hacia la plataforma continental adyacente como resultado del patrón de circulación del sistema (Figura 14b y 15b).

El $\delta^{15}\text{N}$ en la MOS mostró los valores menos enriquecidos en Boca de Puerto Real y en la zona norte dentro de la Laguna de Términos de $2.4\pm 0.7\text{‰}$ a $3.5\pm 1\text{‰}$, que se distribuyen lo largo de Isla del Carmen en dirección la plataforma continental adyacente. Por otra parte el $\delta^{15}\text{N}$ más enriquecido como de $4\pm 0.5\text{‰}$ ocurre en el área de descarga de los ríos extendiéndose hacia la región central (Figura 16b y 17b). La MOS no presentó diferencias significativas con un valor de $P\geq 0.6822$, entre la composición isotópica de las zonas y entre épocas climáticas.

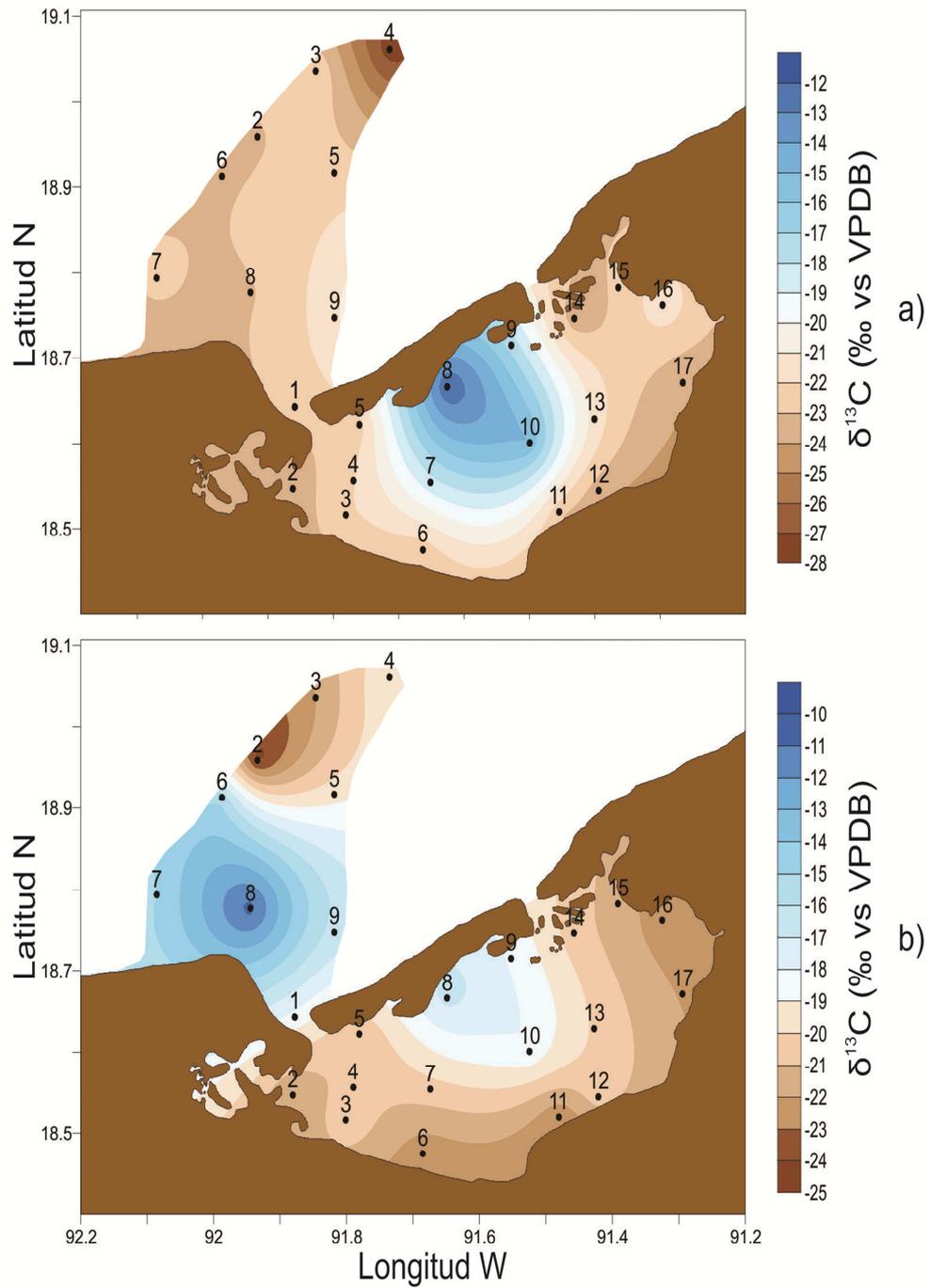


Figura 14. $\delta^{13}\text{C}$ en la MOS en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche, México. Correspondientes a dos temporadas climáticas: a) Nortes, b) lluvias.

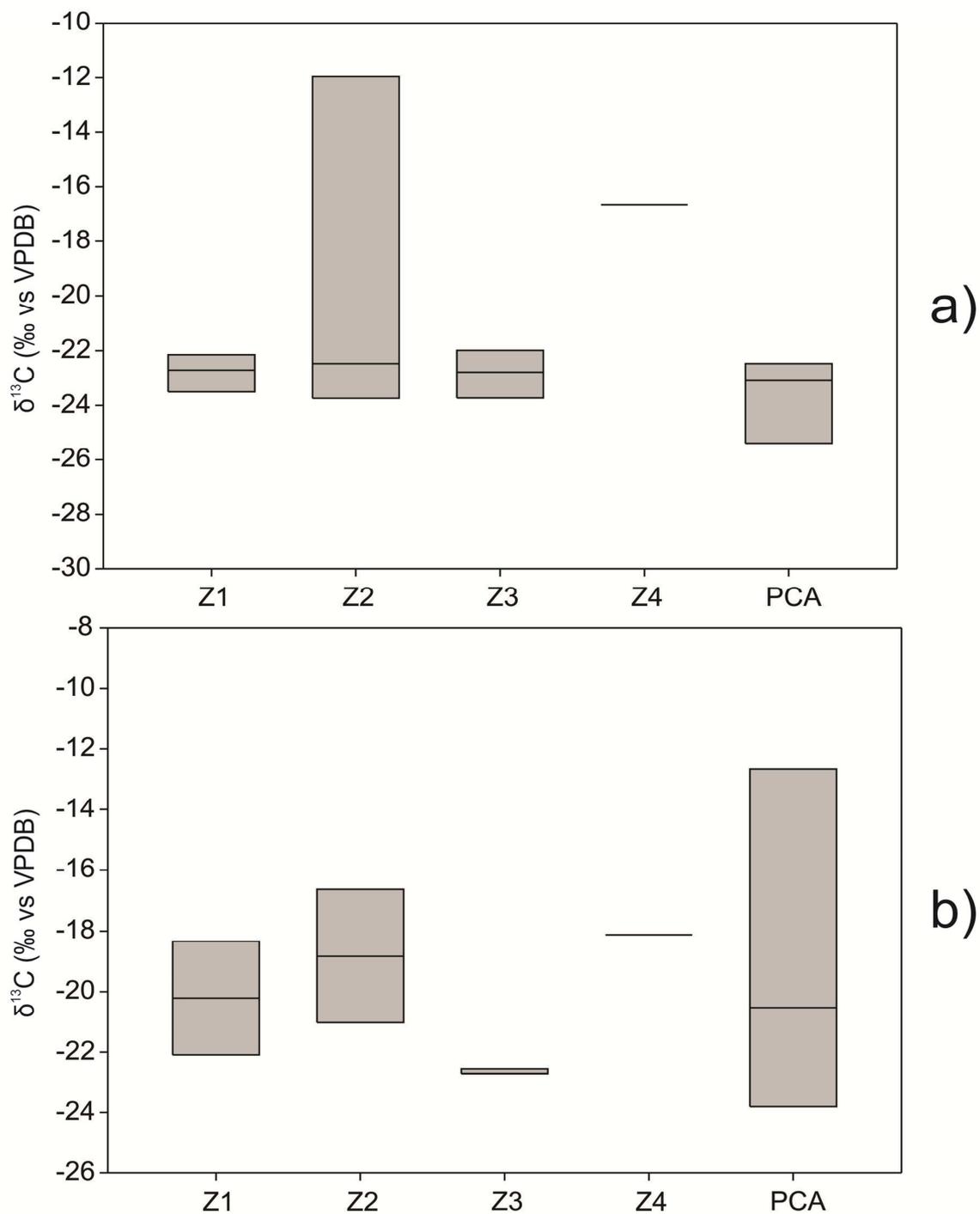


Figura 15. $\delta^{13}\text{C}$ en la MOS en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche, México. Correspondientes a dos temporadas climáticas: a) Nortes, b) secas. Donde Z1: zona 1, Z2: zona 2, Z3: zona 3, Z4: zona 4 y PCA: plataforma continental adyacente.

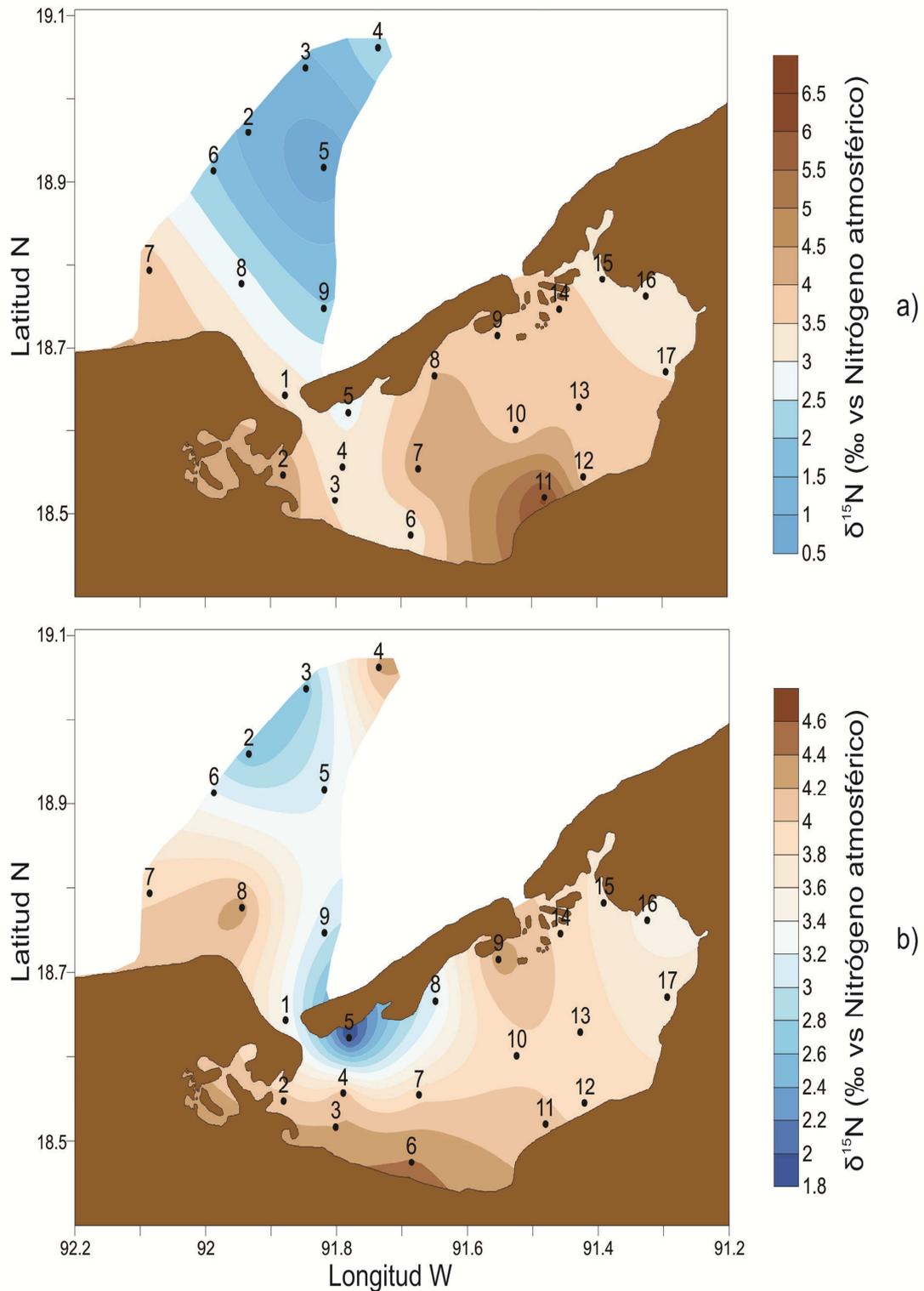


Figura 16. $\delta^{15}\text{N}$ en la MOS en Laguna de Términos y plataforma adyacente, Campeche, México. Correspondientes a dos temporadas climáticas: a) nortes, b) lluvias.

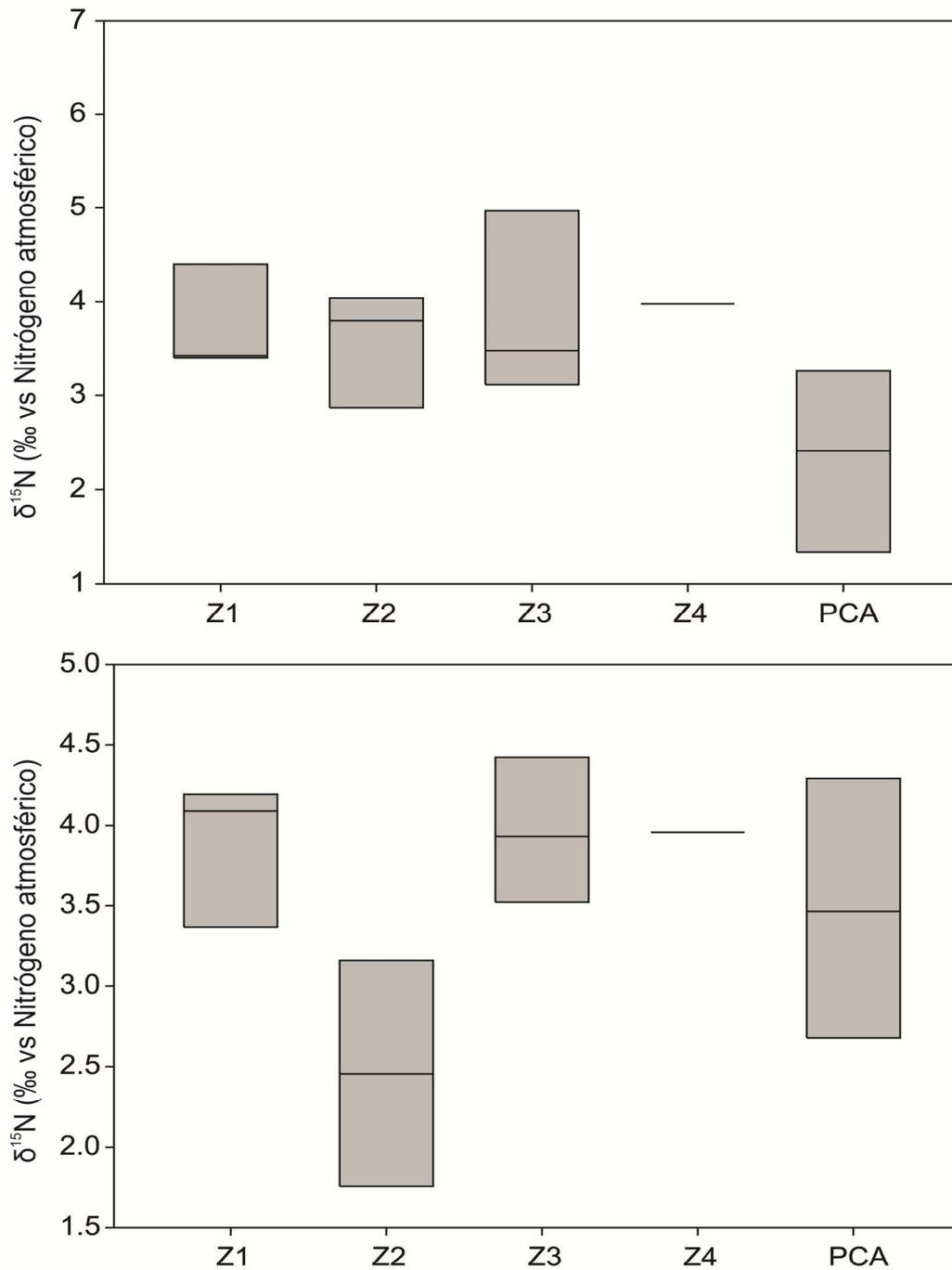


Figura 17. $\delta^{15}\text{N}$ en la MOS en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche, México. Correspondientes a dos temporadas climáticas: a) nortes, b) lluvias. Donde Z1: zona 1, Z2: zona 2, Z3: zona 3, Z4: zona 4 y PCA: plataforma continental adyacente.

8.3 Contribución de productores primarios

8.3.1. Ictiofauna en la temporada de nortes

En la temporada de nortes, en la zona de descarga de ríos (zona 3), la contribución del mangle a la ictiofauna fue $55\pm 10\%$, pero hacia la región central (zona 4), la contribución del mangle a la ictiofauna es del $29\pm 1\%$. Por otro lado, la contribución de los pastos marinos en el área de isla del Carmen (zona 2) y la región central (zona 4), mostraron contribuciones que van de $29\pm 4\%$ al $43\pm 0.6\%$. Las macroalgas mostraron contribuciones importantes hasta de 60% a la ictiofauna en Boca del Carmen zona 1. La plataforma continental adyacente presenta contribuciones proporcionales de los pastos marinos y mangle, 34% y 30% respectivamente (Figura 18).

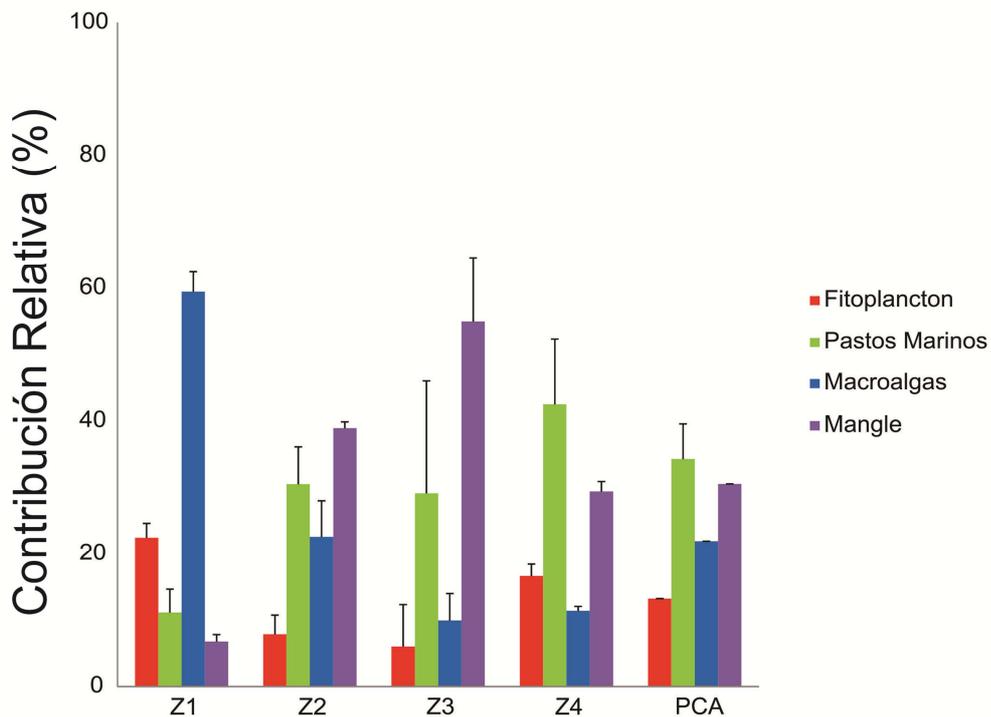


Figura 18. Contribución de los productores primarios a la ictiofauna en la temporada de nortes. Donde Z1: zona 1, Z2: zona 2, Z3: zona 3, Z4: zona 4 y PCA: plataforma continental adyacente.

Con la finalidad de estudiar la importancia que tienen estas fuentes de materia orgánica para la ictiofauna es importante estimar la contribución a especies específicas.

De los cuatro flujos energéticos que se identifican para Laguna de Términos, los pastos marinos son muy importantes para: *Gymnura micrura*, *Eugerres plumieri* y *Cyclopsetta chittendeni* con contribuciones que van $42\pm 10\%$ hasta $75\pm 4\%$, mientras que las macroalgas resultan ser importantes para *Acanthostracion quadricornis* y *Prionotus scitulus* con contribuciones de $60\pm 28.4\%$ a $67\pm 18\%$. Contrastando con *Sphoeroides testudineus*, en donde las contribuciones tanto de fitoplancton como de macroalgas fueron proporcionalmente sustanciales (Figura 19, Anexos 18 y 19).

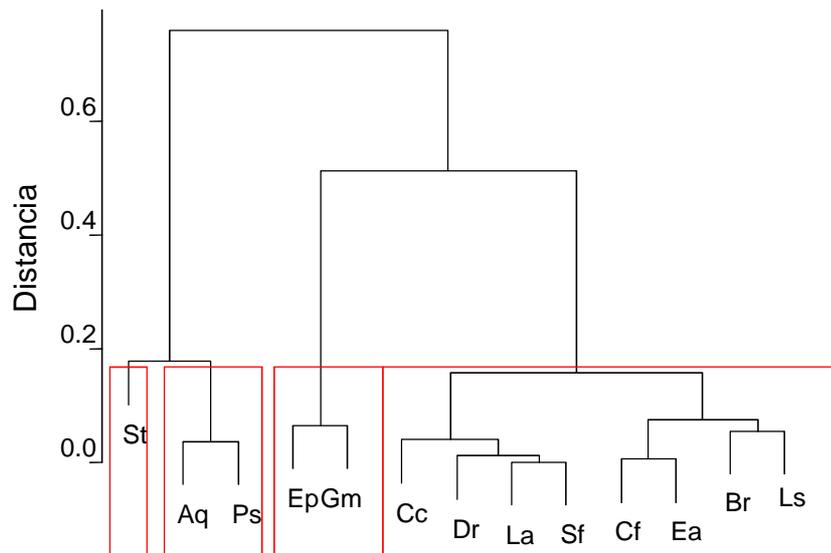


Figura 19. Cluster de las contribuciones de los productores primarios a la ictiofauna en Laguna de Términos en la temporada de nortes. Nombres de las especies: Gm: *Gymnura micrura*, Ep: *Eugerres plumieri*, Ps: *Prionotus scitulus*, Aq: *Acanthostracion quadricornis*, St: *Sphoeroides testudineus*, Sf: *Synodus foetens*, La: *Lutjanus analis*, Ls: *Lutjanus synagris*, Dr: *Diapterus rhombeus*, Cc: *Cyclopsetta chittendeni*, Ea: *Eucinostomus argenteus*, Cf: *Chaetodipterus faber*, Br: *Bairdiella ronchus*.

El mangle fue importante para *Lutjanus synagris*, *Eucinostomus argenteus* y *Chaetodipterus faber* mostrando contribuciones de $44\pm 10\%$ a $55\pm 6.3\%$, y contribuciones correspondientes entre el mangle y los pastos marinos para las siguientes especies *Synodus foetens*, *Lutjanus analis*, *Diapterus rhombeus* y *Bairdiella ronchus* (Anexos 18 y 19).

8.3.2 Ictiofauna en la temporada de secas

Para la temporada de secas se observa que las macroalgas tienen un rol apreciable de contribución a la ictiofauna con $92\pm 2\%$ en la zona 3, mientras que las menores contribuciones ocurren en la zona 1 con $38\pm 23\%$. Al igual que en la época de nortes, los pastos marinos mostraron ser la segunda fuente en orden de importancia de energía en la zona 2 y la tercera en la zona 1 con $14\pm 8\%$ a $23\pm 15\%$. Los pastos marinos no fueron relevantes en la zona 3 con una contribución del 2%. En la plataforma continental adyacente se observó que las contribuciones de las macroalgas y fitoplancton fueron proporcionales con $43\pm 1\%$ (Figura 20).

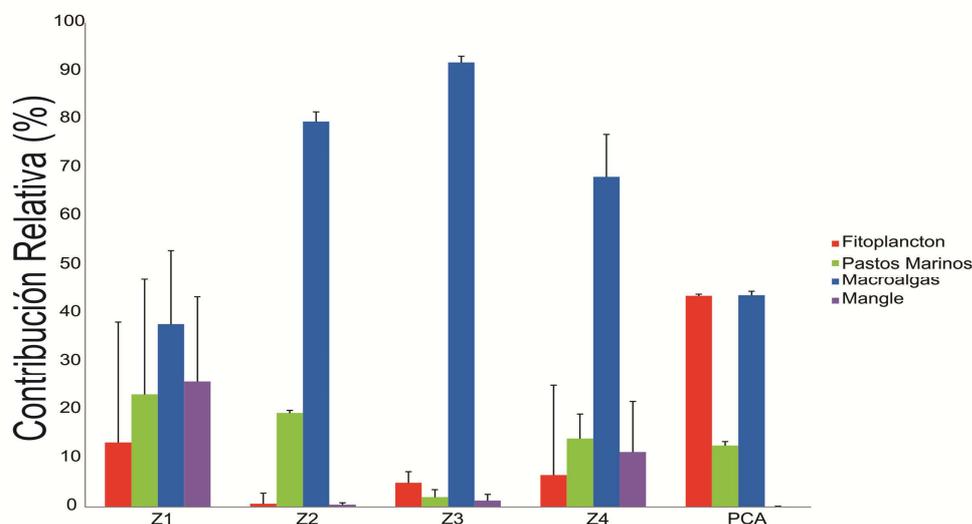


Figura 20. Contribución de los productores primarios a la ictiofauna en la temporada de secas. Donde Z1: zona 1, Z2: zona 2, Z3: zona 3, Z4: zona 4 y PCA: plataforma continental adyacente.

Al igual que en la época de nortes *Gymnura micrura* mostró contribuciones importantes por parte de los pastos marinos (Figura 21, Anexos 20 y 21), de la misma manera para *Eucinostomus gula*, *Menticirrhus americanus*, *Eucinostomus argenteus*, *Narcine brasiliensis* y *Polydactylus octonemus* las contribuciones fluctuaron entre $60\pm 6.6\%$ y $74\pm 9\%$.

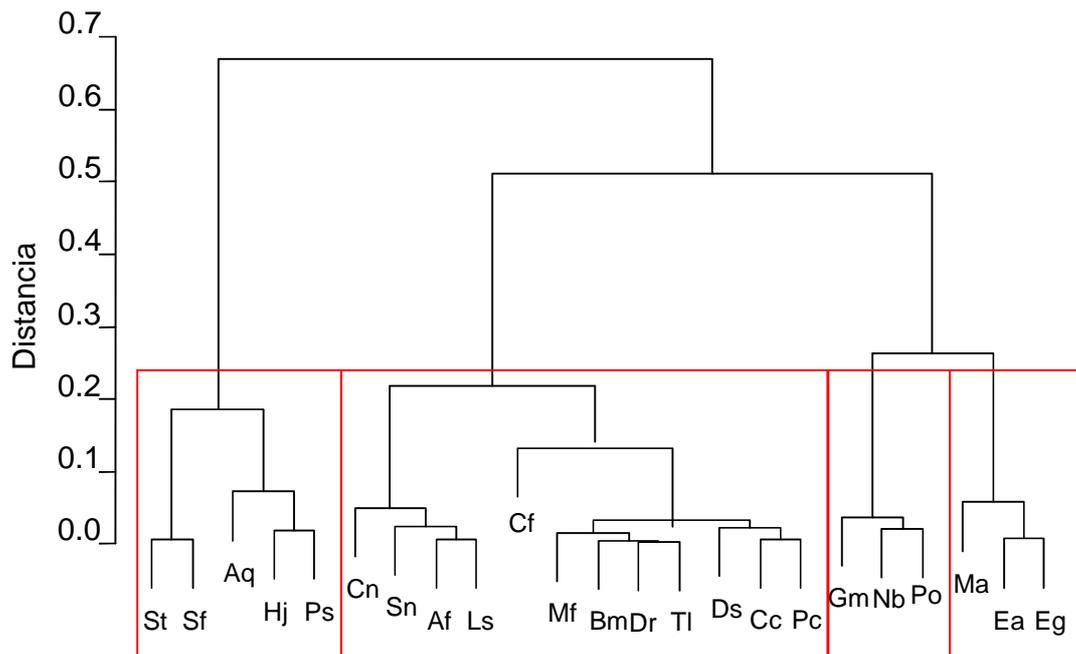


Figura 21. Cluster las contribuciones de los productores primarios a la ictiofauna en Laguna de Términos en la temporada de secas. Nombres de las especies : Aq: *Acanthostracion quadricornis*, Af: *Ariopsis felis*, Bm: *Bagre marinus*, Cf: *Chaetodipterus faber*, Cc: *Chloroscombrus chrysurus*, Cn: *Cynoscion nebulosus*, Ds: *Dasyatis sabina*, Dr: *Diapterus rhombeus*, Ea: *Eucinostomus argenteus*, Eg: *Eucinostomus gula*, Gm: *Gymnura micrura*, Hj: *Harengula jaguana*, Ls: *Lutjanus synagris*, Ma: *Menticirrhus americanus*, Mf: *Micropogonias furnieri*, Nb: *Narcine brasiliensis*, Pc: *Prionotus carolinus*, Po: *Polydactylus octonemus*, Ps: *Prionotus scitulus*, St: *Sphoeroides testudineus*, Sn: *Strongylura notata*, Sf: *Synodus foetens*, Tl: *Trichiurus lepturus*.

Las macroalgas fueron importantes para *Sphoeroides testudineus* ($72\pm 6\%$), *Synodus foetens* ($66\pm 5\%$), *Acanthostracion quadricornis* ($39 \pm 23\%$), *Harengula jaguana* ($53\pm 28\%$) y *Prionotus scitulus* ($45\pm 17\%$) (Anexos 20 y 21). Las contribuciones del manglar fueron conspicuas para *Chaetodipterus faber* y *Cynoscion nebulosus* ($50\pm 10\%$).

Para *Strongylura notata*, *Ariopsis felis* y *Lutjanus synagris*, los pastos marinos y el mangle mostraron ser proporcionalmente importantes. Mientras que las macroalgas y el mangle fueron importantes para: *Trichiurus lepturus*, *Chloroscombrus chrysurus*, *Prionotus carolinus*. Contribuciones equilibradas de los productores primarios (macroalgas, fitoplancton y mangle) se observaron para *Micropogonias furnieri*, *Bagre marinus*, *Diapterus rhombeus*, *Dasyatis sabina* (Anexos 20 y 21).

8.3.3 Ictiofauna en la temporada de lluvias

En la temporada de lluvias, las contribuciones relativas de las macroalgas a la ictiofauna fueron importantes en las áreas con cercanía de los ríos, en Boca del Carmen y en la parte central de Laguna de Términos con contribuciones que van del 75 ± 3 al $95\pm 2\%$. Por otra parte, el fitoplancton mostró ser la fuente de mayor contribución en las zonas con influencia marina en la parte norte de isla del Carmen y en la plataforma continental adyacente, los pastos marinos fueron la segunda fuente de contribución con $23\pm 2\%$ en Laguna de Términos la plataforma continental adyacente (Figura 22).

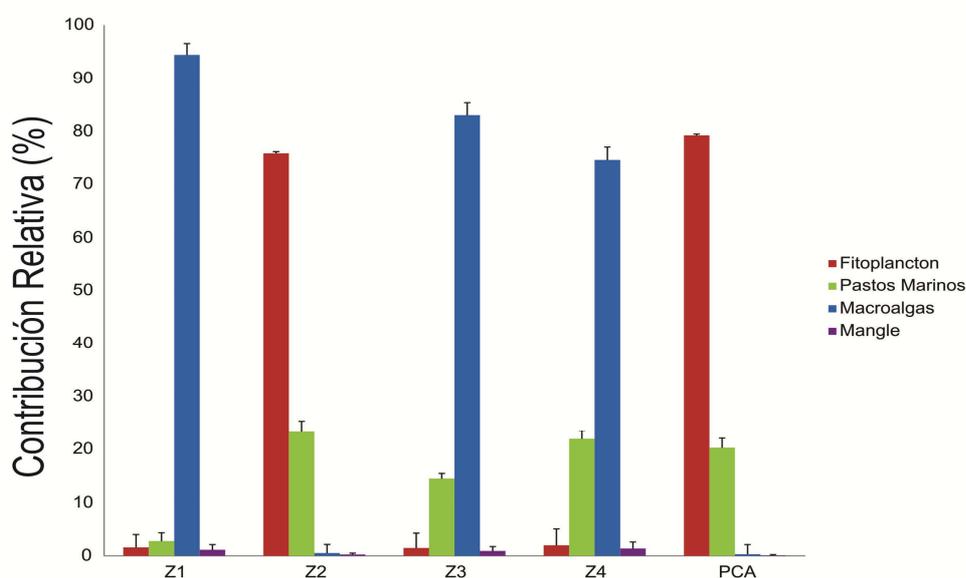


Figura 22. Contribución de los productores primarios a la ictiofauna en la temporada de lluvias. Donde Z1: zona 1, Z2: zona 2, Z3: zona 3, Z4: zona 4 y PCA: plataforma continental adyacente.

El mangle mostró contribuciones importantes para especies de la familia *Engraulidae* (*Anchoa lyolepis* y *Anchoa mitchilli*) con $52\pm 11\%$ a $66\pm 12\%$. El fitoplancton es fuente importante para especies de la familia *Gerreidae* (*Diapterus rhombeus* y *Eucinostomus gula*) con contribuciones de $42\pm 21\%$ a $71\pm 5\%$. Las macroalgas mostraron ser significativas para *Ariopsis felis*, *Sphoeroides testudineus*, *Acanthostracion quadricornis*, *Eucinostomus argenteus* y *Synodus foetens* con contribuciones que van de $66\pm 6\%$ a $84\pm 4\%$. El fitoplancton mostró contribuciones considerables para *Eucinostomus gula*, como de $71\pm 6\%$ (Figura 23, Anexos 22 y 23).

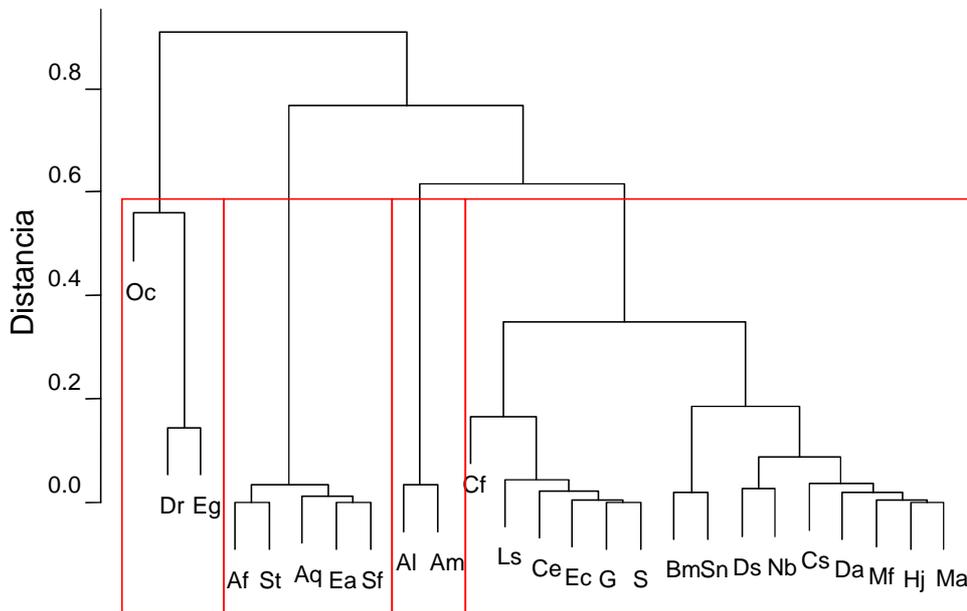


Figura 23. Cluster de las contribuciones de los productores primarios a la ictiofauna en Laguna de Términos en la temporada de lluvias. Nombres de las especies : Aq: *Acanthostracion quadricornis*, Al: *Anchoa lyolepis*, Am: *Anchoa mitchilli*, Af: *Ariopsis felis*, Bm: *Bagre marinus*, Ce: *Cetengraulis edentulus*, Cf: *Chaetodipterus faber*, Cs: *Citharichthys spilopterus*, Ds: *Dasyatis sabina*, Da: *Diapterus auratus*, Dr: *Diapterus rhombeus*, E: *Etropus crossotus*, Ea: *Eucinostomus argenteus*, Eg: *Eucinostomus gula*, G: *Gobiidae*, Hj: *Harengula jaguana*, Ls: *Lutjanus synagris*, Ma: *Menticirrhus americanus*, Mf: *Micropogonias furnieri*, Nb: *Narcine brasiliensis*, Oc: *Orthopristis chrysoptera*, St: *Sphoeroides testudineus*, Sn: *Strongylura notata*, S: *Symphurus sp*, Sf: *Synodus foetens*.

Los pastos marinos y el mangle mostraron ser importantes para *Lutjanus synagris*, *Bagre marinus*, *Citharichthys spilopterus*, *Strongylura notata*, mientras que para *Cetengraulis edentulus*, *Etropus crossotus*, *Symphurus* y especies de la familia Gobiidae las macroalgas, mangle y pastos marinos tuvieron contribuciones proporcionales. (Figura 25). *Bagre marinus*, *Harengula jaguana*, *Citharichthys spilopterus*, *Dasyatis sabina*, *Menticirrhus americanus* y *Strongylura notata*, mostraron contribuciones equivalente de pastos marinos y mangle (Anexos 22 y 23).

8.3.4 Materia orgánica sedimentaria (MOS) en la temporada de nortes

En la temporada de nortes, las contribuciones relativas de los productores primarios a la materia orgánica sedimentaria mostraron en general un dominio importante por parte del mangle y fitoplancton en el sistema. La contribución del manglar fue proporcional en la zona de descarga de los ríos y Boca del Carmen de hasta $74 \pm 4\%$. En la zona 2 (Isla del Carmen) la contribución más conspicua fue el fitoplancton con $95 \pm 3\%$. La contribución del $84 \pm 4\%$ del mangle a la MOS en la plataforma adyacente indica que el detritus de manglar es un componente importante del drenaje exportado por el sistema lagunar y probablemente costero (Figura 24).

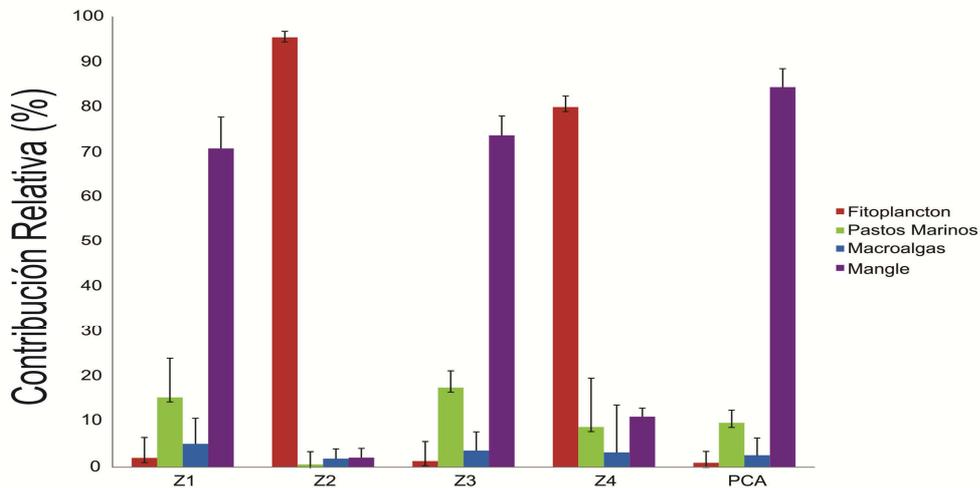


Figura 24. Contribución de los productores primarios a la MOS en la temporada de nortes. Donde Z1: zona 1, Z2: zona 2, Z3: zona 3, Z4: zona 4 y PCA: plataforma continental adyacente.

8.3.5 Materia orgánica sedimentaria (MOS) en la temporada de lluvias

En la temporada de lluvias, las contribución más conspicua fue el fitoplancton con $75\pm 4\%$ en la zona norte de Laguna de Términos y en Boca del Carmen, la contribución del fitoplancton mostró ser proporcional a la de los pastos marinos con $25\pm 12\%$, (Figura 25) en contraste con la zona de descarga de los ríos donde el mangle fue el que tuvo las mayores contribuciones con $67\pm 5\%$.

A diferencia de la temporada de nortes el fitoplancton mostró ser la fuente de materia orgánica más importante en la plataforma continental adyacente con contribuciones de $93\pm 4\%$.

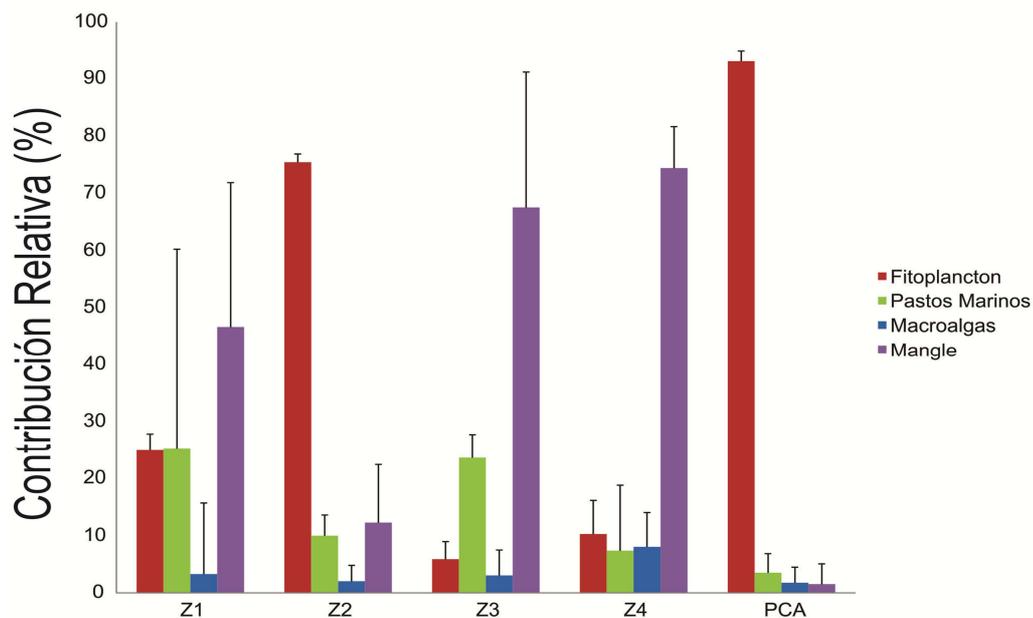


Figura 25. Contribución de los productores primarios a la MOS en la temporada de lluvias. Donde Z1: zona 1, Z2: zona 2, Z3: zona 3, Z4: zona 4 y PCA: plataforma continental adyacente.

9 DISCUSIÓN

9.1 Distribución de los productores primarios y la abundancia de la ictiofauna en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente.

La relación del componente ictiofaunístico con la distribución de los productores primarios (fitoplancton, pastos marinos, macroalgas, y mangle) presentes en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, es el resultado del uso que le dan las especies como área de crianza y crecimiento, y a las necesidades tróficas o ciclos reproductivos (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1993). La distribución de *Thalassia testudinum* (Figura 4), coincide con las mayores abundancias obtenidas en la zona 2 de especies como *Acanthostracion quadricornis*, *Lutjanus synagris*, *Sphoeroides testudineus*, *Synodus foetens*, *Ariopsis felis*, *Prionotus scitulus*, *Eucinostomus argenteus*, *Eucinostomus gula*, *Eugerres plumieri* y *Orthopristis chrysoptera* (Anexos 2, 3 y 4).

En el caso particular *Ariopsis felis* mostró ser una especie dominante en la época de secas. A diferencia de *Lutjanus synagris* que mostro no ser una especie dominante en el sistema, sin embargo, tanto *Ariopsis felis* y *Lutjanus synagris* evidenciaron mayor abundancia en la zona 2 (Anexos 3 y 6), zona en donde Herrera-Silveira *et al.* (2011) reporta presencia de pastos marinos, esto podría ser ocasionado por la eficiente utilización por parte de la ictiofauna de la oferta energética que proporcionan los epibiontes en las hojas de *Thalassia testudinum* (Nagelkerken *et al.*, 2000; Allen Peña *et al.*, 2004)

El sitio de alimentación es primordial para la selección del hábitat por los peces y constituye un aspecto importante de su actividad diaria de protección y crianza, en estado juvenil dependen de estos ecosistemas de forma cíclica o temporal para completar sus ciclos vitales (Sheridan & Minello, 2003; Allen Peña *et al.*, 2004).

Especies de la familia Gerridae fueron las más abundantes en las tres épocas del año (nortes, secas y lluvias) coincidiendo con lo reportado por Aguirre-León *et al.* (1982) y Ayala-Pérez *et al.* (2001) quienes mencionan que en Laguna de Términos se ha establecido una reasignación de la biomasa de las especies caracterizada por los niveles tróficos intermedios a carnívoros y de herbívoros a detritívoros. Así, varias especies entre ellas *Bairdiella chrysoura* muestran una tendencia negativa en su

biomasa total. En cambio la biomasa de los guerreidos detritívoros (*E. argenteus*, *E. plumieri* y *D. rhombeus*) ha aumentado significativamente .

Respecto a la vegetación acuática sumergida se ha observado que estos hábitats son fácilmente afectados 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.*, 2005; Sosa-López *et al.*, 2005).

Villalobos-Zapata *et al.* (2001), indicaron que las áreas de pastos marinos han disminuido significativamente en el litoral interno de la Isla del Carmen derivado del impacto del huracán Roxana en 1995, el aumento de actividades urbanas que llevan a un nivel creciente de nutrientes en el sistema y la extracción de arena en el litoral interno de la Isla del Carmen y la Boca de Puerto Real. Por lo anterior, el aumento significativo de los peces de la familia Gerridae podría ser consecuencia de la pérdida de *Thalassia testudinum* (Villalobos Zapata *et al.*, 2001; Villegger *et al.*, 2010). Provocando que especies con características funcionales ligadas a estos hábitats disminuyan su abundancia.

9.2 Composición isotópica de carbono y nitrógeno

9.2.1 Productores primarios

Los pastos marinos, macroalgas y manglares son hábitats de importancia ecológica en la ontogenia de muchas especies marinas, estuarinas y de agua dulce (Shervette *et al.*, 2007). La composición isotópica de los productores primarios presentes en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente permite discriminarlos y que sean trazables en una red trófica (Figura 8).

En nuestro estudio los valores isotópicos de los pastos marinos (Figura 13), coinciden con los reportes de Raz-Guzmán & De la Lanza (1991) y Gonneeá *et al.* (2004). Las diferencias en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ es un reflejo de la fuente de carbono inorgánico de cada productor primario (Deniro & Epstein, 1981).

El $\delta^{15}\text{N}$ presenta valores enriquecidos en los productores primarios, los pastos presentan valores de $4.3 \pm 1.6\text{‰}$, el fitoplancton de $5 \pm 1.7\text{‰}$, las macroalgas de $6.6 \pm 0.8\text{‰}$ y el mangle de $6.07 \pm 1.5\text{‰}$. Lo anteriormente mencionado puede ser reflejo

de la variabilidad espacial entre sitios impactados por actividad antropogénica y los no impactados como lo describe Gonneea *et al.* (2004); ya que el enriquecimiento de los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en la vegetación puede ser causado por procesos de desnitrificación dentro del sistema o a la entrada de nitrógeno de origen antropogénico cuya firma isotópica es más pesada (Mariotti *et al.*, 1981; Rivera-Monroy & Twilley, 1996; Lapointe *et al.*, 2001). Sin embargo, el muestreo en los productores primarios no fue enfocado a discriminar esta variabilidad.

9.2.2 Ictiofauna

Peterson (1985) y Kang *et al.* (2003) han demostrado que el uso y la importancia de los productores primarios como fuente de materia orgánica, y que la composición del $\delta^{13}\text{C}$ puede cambiar considerablemente en los sistemas estuarino-lagunar y mar adyacente.

La composición del $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la ictiofauna de Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, mostro ser diferente, entre zonas y entre temporadas. De manera general, en las temporada de nortes, secas y lluvias, se observó que la ictiofauna presente en la zona de descarga de los ríos presentó composiciones $\delta^{13}\text{C}$ muy ligeras (~ -20 a -23‰) asociados a el aporte del manglar, en comparación con ictiofauna presente en la región central y el litoral interno de isla del Carmen y Boca de Puerto Real (~ -19 a -11‰) asociados al aporte de los pastos marinos y como consecuencia de las variaciones interespecíficas, de los diferentes grupos taxonómicos, asociados a sus hábitos alimenticios y al hábitat en el que se encuentran (Hobson & Welch, 1992; Vizzini *et al.*, 2002).

Deegan & Garritt (1997) en un análisis de la composición isotópica de los productores primarios, encontraron que la ictiofauna tiende a presentar una composición isotópica de la materia orgánica disponible localmente. Se observó un enriquecimiento de $\delta^{15}\text{N}$ con el nivel trófico. Los valores más altos se encontraron en cuatro depredadores ($\sim 13\text{‰}$) (*Lutjanus synagris*, *Gymnura micrura*, *Cyclopsetta chittendeni* y *Chaetodipterus faber*).

9.2.3 Materia orgánica sedimentaria

La caracterización isotópica de la MOS en Laguna de Términos en las temporadas de nortes y lluvias no presentó diferencias significativas en su composición isotópica; contrario a lo que se esperaba, la firma isotópica de la MOS en esas dos temporadas son muy semejantes. Al igual que lo reportado por Raz-Guzmán & De la Lanza (1991) en la época de nortes y de lluvias, la distribución espacial de $\delta^{13}\text{C}$ presentó valores más enriquecidos en Boca de Puerto Real, y en la zona norte dentro de la Laguna de Términos (Figuras 14 y 15), como resultado de la presencia de praderas de *T. testudinum* en esa zona y al componente fitoplanctónico procedente de la plataforma continental adyacente por Boca de Puerto Real. Sin embargo existe una disminución del $\delta^{13}\text{C}$ por efecto de la materia orgánica de origen terrígeno en la desembocadura de los ríos Palizada, Candelaria y Chumpan.

Las composiciones del $\delta^{13}\text{C} = -22\text{‰}$, que se observaron en la Boca de Carmen y que se extienden en dirección a la plataforma continental adyacente, por efecto de la mezcla de materia orgánica de origen terrestre-marino es consecuencia de la hidrodinámica, procesos de sedimentación y el intercambio de materia orgánica de Laguna de Términos con la plataforma continental adyacente (Shultz & Calder, 1976).

El $\delta^{15}\text{N}$ en la zona de descarga de los ríos fue de 3.1‰ a 6.5‰, hacia la Boca del Carmen permanecen valores de 3.4‰. mientras que en el litoral interno de Isla del Carmen se observaron valores de 0.5‰, dichas composiciones se aproximan a la atmosférica (0‰), evidenciando procesos de fijación por parte de pastos marinos que existen en esa zona (Minagawa & Wada, 1986; Gu & Alexander, 1993)

Valores del $\delta^{15}\text{N} > 4\text{‰}$ sugieren procesos de desnitrificación y reciclaje de nutrientes dentro del ecosistema. Se ha propuesto que la alta actividad microbiana presente en el manglar es responsable de retener los pocos nutrientes dentro del sistema (Alongi *et al.*, 1993).

Rivera-Monroy & Twilley (1996) reportó que la pérdida de nitrógeno por desnitrificación en el manglar de Laguna de Términos, fue insignificante. La detección de tasas bajas de desnitrificación sugirió que existe una fuerte competencia entre las bacterias y las plantas por el nitrógeno disponible en el

ecosistema. Probablemente el NO_3^- , es convertido a NH_4^- para posteriormente ser asimilado por bacterias y plantas, conservando así al nitrógeno dentro del ecosistema. Sin embargo, la zonas de manglares reciben descargas de aguas residuales, y se han observado altas tasas de desnitrificación, proponiéndose una correlación positiva entre tasas de desnitrificación y concentración de nitratos (Rivera-Monroy & Twilley, 1996).

9.3 Contribución relativa de los productores primarios

9.3.1 Ictiofauna

Las contribuciones relativas del mangle fueron muy variables mientras que la de los pastos marinos fue muy constante. De manera general en la época de nortes en la zona de descarga de ríos, la contribución del mangle a la ictiofauna fue de $55 \pm 10\%$, pero hacia la zona profunda de la Laguna, la contribución del mangle a la ictiofauna fue de $29 \pm 1\%$, esto puede deberse a que las raíces de manglar les ofrece protección y la materia orgánica como resultado de la dinámica del detritus, asegura la disponibilidad de alimento (Vega- Cendejas, 1998).

Por otro lado, la contribución de los pastos marinos en el área de Isla del Carmen ($29 \pm 4\%$) y en la parte central al ($43 \pm 0.6\%$), ponen en evidencia la importancia de los pastos marinos como fuente de carbono y nitrógeno, ya que su estructura funciona como hábitat de una diversidad de especies epifitas, por lo que se considera que estos peces utilizan a los organismos epibiontes como fuente de alimento, lo cual coincide con la propuesta de (Raz-Guzmán & Barba-Macias, 2000). Las macroalgas mostraron contribuciones importantes hasta de 60% a los peces localizados en la zona de Boca del Carmen. Al igual que en la zona 4 la plataforma continental adyacente presenta contribuciones proporcionales por parte de los pastos marinos y mangle de $34 \pm 0\%$ a $30 \pm 0\%$ respectivamente. En un estudio enfocado a macroalgas y peneidos realizado por Stoner & Zimmerman (1988), reportaron que en una laguna rodeada de manglar en Puerto Rico, que la proporción de isótopos de carbono tanto del camarón como en sus presas sugiere que la mayoría del origen de su carbono proviene de algas bénticas más que de los manglares.

En la zona de descarga de los ríos, las macroalgas mostraron contribuciones muy notables, en secas $92\pm 2\%$ y en lluvias $95\pm 2\%$, los pastos marinos mostraron ser la segunda fuente de energía en el litoral interno de Isla de Carmen con contribuciones que van de $14\pm 8\%$ a $23\pm 2\%$ y en la plataforma continental adyacente se observó que las contribuciones tanto de las macroalgas como del fitoplancton fueron proporcionales con $43\pm 0.8\%$ en secas. Sin embargo en lluvias el fitoplancton mostró, ser la fuente de mayor contribución con $93\pm 3.2\%$ en las zonas con influencia marina en la parte norte de isla del Carmen y en la plataforma continental adyacente. Dado el potencial de amplio movimiento de energía (carbono) y los nutrientes en sistemas estuarios, los consumidores pueden ser segregados de los autótrofos de los que dependen (Kneib, 2002).

T. testudinum, presenta contribuciones relevantes en la época de nortes y de secas para especies de la familia Gerreidae (*Eugerres plumieri*, *Eucinostomus gula* y *Eucinostomus argenteus*), y para *Gymnura micrura*. Esto podría deberse al uso que le dan como área de cría y alimentación a las fanerógamas marinas, por ser ecosistemas altamente diversificados y productivos, ya que como reporta Ayala-Pérez *et al.* (2001), las mayores abundancias de estos organismos está fuertemente asociado a praderas de *T. testudinum*. Por otra parte, *Harengula jaguana*, *Dasyatis sabina* y *Menticirrhus americanus*, muestran contribuciones proporcionales de pastos marinos y mangle para la época de lluvias, ese comportamiento de contribución se mantuvo para el *Lutjanus synagris* y *Strongylura notata* en la época de nortes y de secas, una posible causa de dicho comportamiento es que el *Lutjanus synagris*, utiliza las zonas de canales de mangle como refugio durante el día y los pastos para forrajear en la noche (Hettler & William, 1989).

De las dos Especies de la familia Ariidae (*Ariopsis felis* y *Bagre marinus*), el *Bagre marinus* exhiben contribuciones proporcionales de pastos marinos y manglar en época de secas y lluvias. Sin embargo, *Ariopsis felis* solo lo muestra en la época de secas, esto puede ser consecuencia de la dominancia de *Ariopsis felis* donde interaccionan fanerógamas marinas y manglar (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1983, 1985). Las contribuciones del manglar fueron conspicuas para *Chaetodipterus faber* y *Cynoscion nebulosus*, en la época de secas y en la época de lluvias lo fue para dos

especies de la familia *Engraulidae* (*Anchoa lyolepis* y *Anchoa mitchilli*), esto puede ser consecuencia que especies de la familia *Engraulidae* (*Anchoa lyolepis* y *Anchoa mitchilli*) las encuentras con abundancia en los manglares (Vega-Cendejas, 2004).

9.3.2 Materia orgánica sedimentaria

De acuerdo con las contribuciones relativas al sedimento superficial, estimadas a partir del modelo bayesiano de mezcla, el manglar es una fuente dominante en el sistema de Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, tanto en la época de nortes como en la época de lluvias. En la época de nortes, la MOS en la zona de descarga de los ríos y en Boca del Carmen presenta un comportamiento proporcional en las contribuciones del manglar de los pastos marinos (Figuras 24 y 25).

En la zona central e Isla del Carmen la contribución más conspicua fue el fitoplancton en la temporada de nortes con contribuciones de $75\pm 4\%$ a $95\pm 3\%$, esto refleja la influencia del componente fitoplanctónico proveniente del sistema adyacente por Boca de Puerto Real.

Por otra parte la contribución del $84\pm 4\%$ a la MOS en la plataforma continental adyacente indica que el detritus de manglar es un componente importante del material exportado por el sistema lagunar al mar adyacente en la temporada de nortes, por la circulación de la laguna y por la descarga fluvial del Río Palizada.

Este flujo es 6 veces mayor que el que entra a la laguna por la Boca de Puerto Real (Soberón Chávez *et al.*, 1988). En la época de lluvias, el fitoplancton mostró contribuciones de $75\pm 4\%$ en Isla del Carmen y en la plataforma continental adyacente con contribuciones de $93\pm 4\%$ a la MOS. Sin embargo, en Boca del Carmen la contribución del fitoplancton mostró un comportamiento proporcional al de los pastos marinos de $25\pm 12\%$. El mangle fue la fuente más conspicua en la zona de descarga de los ríos, la zona central y Boca del Carmen con contribuciones con contribuciones de hasta $67\pm 5\%$.

10 CONCLUSIONES

Las variaciones espaciales de los productores primarios regulan la distribución de los peces y por tanto el flujo energético en términos de carbono y nitrógeno de la materia orgánica en Laguna de Términos y mar adyacente. La ictiofauna presente en el litoral interno de Isla del Carmen, Boca de Puerto Real presenta valores más enriquecidos resultado de una estructura trófica basada en vegetación sumergida (pastos marinos y macroalgas) mientras que la ictiofauna de la región fluvio-lagunar (zona 3) presento valores menos enriquecidos de $\delta^{13}\text{C}$, como resultado de una fuente de alimentación basada en el mangle a través de vía detritus.

Contribuciones tan altas como 60% del material orgánico proveniente del mangle y de 40% de los pastos marinos indican la dependencia e importancia que representan, como fuente inicial de energía.

El enriquecimiento isotópico del $\delta^{13}\text{C}$ en la MOS de Laguna de Términos describe una zona con influencia marina (litoral interno de Isla del Carmen y Boca de Puerto Real) y una zona con influencia terrígena (zona de descarga de los rios), mientras que el $\delta^{15}\text{N}$ es más enriquecido en el área de descarga de los ríos posiblemente por efecto de desnitrificación o nitrógeno de origen antropogénico presente en las subcuencas y menos enriquecido en Boca de Puerto Real y litoral interno de Isla del Carmen por procesos de fijación de nitrógeno por los pastos marinos.

En Laguna de Términos el principal origen de la materia orgánica es autóctono con altas contribuciones provenientes del manglar en la zona de descarga de los rios tanto en la temporada de nortes y lluvias, por lo que el grado de contribución de los productores primarios ala MOS en Laguna de Términos, se relaciona directamente con la extensión de la vegetación presente en el sistema.

La materia orgánica proveniente del manglar es un componente importante de la exportación del sistema lagunar al mar adyacente en la temporada de nortes por efecto del patrón de circulación del sistema.

11 REFERENCIAS

- Agraz, H., C.M., Osti S, J., Chan K, C.A., Gómez R, D., Castillo D, S., Expósito D, G., Márquez, É., Acosta, J., Reyes C, J. & Conde M, K.P. 2012. Diagnóstico para la Conservación y Restauración de esta Área de Protección de Flora y Fauna.
- Aguíñiga-García, S, Sánchez, A., & 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*, 30: 1692–1700.
- 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.
- Aguirre-León, A., Yáñez-Arancibia, A. & Amezcua-Linares, F. 1982. Taxonomía, diversidad, distribución y abundancia de las mojarra de la Laguna de Términos sur del Golfo de México, (Pisces: Gerreidae). *An. Inst. Cienc. Mar. Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 9: 213–250.
- Alfaro, A.C., Thomas, F., Sergent, L., & Duxbury, M. 2006. Identification of trophic interactions within an estuarine food web (northern New Zealand) using fatty acid biomarkers and stable isotopes. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 70: 271–286.
- Allen Peña, T., Jiménez, M., & Villafranca, S. 2004. Abundancia y riqueza específica de la ictiofauna asociada con *Thalassia testudinum* en el Golfo de Cariaco, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 52: 973–980.
- Alongi, D.M., Christoffersen, P., & Tirendi, F. 1993. The influence of forest type on microbial-nutrient relationships in tropical mangrove sediments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 171: 201–223.
- Arche, A. 2010. Sedimentología: del proceso físico a la cuenca sedimentaria (Editorial CSIC - CSIC Press).
- Ayala-Pérez, L.A., Gómez-Montes, B.A., & Ramos Miranda, J. 2001. Distribución, abundancia y parámetros poblacionales de la mojarra *Diapterus rhombeus* (Pisces: Gerreidae) en la Laguna de Términos, Campeche, México. *Revista de Biología Tropical*, 49: 635–642.
- B J Peterson, R.W.H. 1985. Multiple stable isotopes used to trace the flow of organic matter in estuarine food webs. *Science* (New York, N.Y.), 227: 1361–1363.

- Barceló Coll, J., G, N.R., B, S.G., & R, S.T. 1993. Fisiología Vegetal (Ediciones Pirámide, S.A.).
- Barreiro-Güemes, M.T. 1999. Aporte de hojarasca y renovación foliar del manglar en un sistema estuarino del Sureste de México. *Revista de Biología Tropical*, 47: 729–737.
- Bearhop, S., Adams, C.E., Waldron, S., Fuller, R.A., & Macleod, H. 2004. Determining trophic niche width: a novel approach using stable isotope analysis. *Journal of Animal Ecology*, 73: 1007–1012.
- Beckman, W.C. 1948. The Length-Weight Relationship, Factors for Conversions between Standard and Total Lengths, and Coefficients of Condition for Seven Michigan Fishes. *Transactions of the American Fisheries Society*, 75: 237–256.
- 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.
- Boutton, T.W. 1991. Stable carbon isotope ratios of natural materials: II. Atmospheric, terrestrial, marine, and freshwater environments. *In Carbon Isotope Techniques*, p. 173.
- Camalich-Carpizo, J.M. 2011. Registro de la variabilidad Oceanográfica en peces demersales y depredadores tope de la Zona Oceánica Frontal de Bahía Magdalena, México. CICIMAR-IPN.
- Canuel, E.A., Spivak, A.C., Waterson, E.J., & 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.
- Carpenter, K.E., Commission, E., & Nations, F. and A.O. of the U. 2002. The Living Marine Resources of the Western Central Atlantic: Introduction, molluscs, crustaceans, hagfishes, sharks, batoid fishes and chimaeras (Food and Agriculture Organization of the United Nations).
- Castro-Aguirre, J.L., Pérez, H.E., & Schmitter-Soto, J.J. 1999. Ictiofauna estuarino-lagunar y vicaria de México (Editorial Limusa).
- Cervigón, F. 1992. Tiburones, peces batoideos y peces óseos. En: Cervigón, F., R. Cipriani, W. Fischer, L. Garibaldi, M. Hendrickx, A. J. Lemus, R. Márquez, J. M. Poutiers, G. Robaina & B. Rodríguez. Fichas FAO de identificación de especies para los fines de

- la pesca. Guía de campo de las especies comerciales marinas y de aguas salobres de la costa septentrional de Sur América. FAO, Roma 513.
- Colombo, J.C., Silverberg, N., & Gearing, J.N. 1996. Biogeochemistry of organic matter in the Laurentian Trough, II. Bulk composition of the sediments and relative reactivity of major components during early diagenesis. *Marine Chemistry*, 51: 295–314.
- Conover, J.T. 1964. The Ecology, Seasonal Periodicity, and Distribution of Benthic Plants in some Texas Lagoons. *Botanica Marina*, 7: 4–41.
- De la Lanza, G. & Guzman, A.R. 1993. O^c del zooplancton, crustaceos decapodos y anfipodos de Laguna de Terminos, Campeche (México), con referencias a fuentes de alimentación y posición trófica. *Ciencias Marinas*, 19: 245–264.
- Deegan, L. A., & Garritt, R. H. 1997. Evidence for spatial variability in estuarine food webs. *Marine ecology progress series*. Oldendorf, 147(1): 31-47.
- Deniro, M.J., & Epstein, S. 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45: 341–351.
- Dixon, P. 2003. VEGAN, a package of R functions for community ecology. *Journal of Vegetation Science*, 14: 927–930.
- Duffy, J.E., & Stachowicz, J.J. 2006. Why biodiversity is important to oceanography: potential roles of genetic, species, and trophic diversity in pelagic ecosystem processes. *Marine Ecology Progress Series*, 311: 179–189.
- Gonñee M. E., Adina Paytan & Jorge A. Herrera-Silveira 2004. Tracing organic matter sources and carbon burial in mangrove sediments over the past 160 years. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 61: 211-227.
- Grivel Piña, F. 1979. Variaciones del nivel medio del mar puertos del Golfo de México y Mar Caribe. Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México. Universidad de Texas: 308.
- Gu, B., & Alexander, V 1993. Estimation of N₂ fixation based on differences in the natural abundance of ¹⁵N among freshwater N₂-fixing and non-N₂-fixing algae. *Oecologia*, 96: 43–48.
- Herrera Silveria, J., Silva Casarín, A., Salles Alfonso De Almeida, P., Villalobos Zapata, G.J., Medina Gomez, I., Espinal González, J.C., Zaldiver Jiménez, A., Trejo Peña, J., González Jáuregui, M. & Cu Escamilla, A.D. 2002. Análisis de Calidad Ambiental

- usando indicadores hidrobiológicos y modelo hidrodinámico actualizado de la Laguna de Términos (CINVESTAV-IPN U. Mérida, EPOMEX-UAC; Inst. Ingeniería -UNAM).
- Herrera-Silveira., J.A., Arellano Méndez, L., & Morales Ojeda, S. 2011. 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.
- Hettler, J., & William, F. 1989. Food Habits of Juveniles of Spotted Seatrout and Gray Snapper in Western Florida Bay. *Bulletin of Marine Science*, 44: 155–162.
- Hobson, K.A., & Welch, H.E. (1992). Determination of trophic relationships within a high Arctic marine food web using $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis. *Marine Ecology Progress Series*, 84: 9–18.
- Kang, C., Kim, J.B., Lee, K., Kim, J.B., Lee, P., & Hong, J. 2003. Trophic importance of benthic microalgae to macrozoobenthos in coastal bay systems in Korea: dual stable C and N isotope analyses. *Marine Ecology Progress Series*, 259: 79–92.
- Kneib, R.T. (2002). Salt Marsh Ecoscapes & Production Transfers by Estuarine Nekton in the Southeastern United States. In *Concepts and Controversies in Tidal Marsh Ecology*, M.P. Weinstein, and D.A. Kreeger, eds. (Springer Netherlands): 267–291.
- Lapointe, B.E., Barile, P.J. & Yentsch, C.S. 2001. Final Report – Discrimination of Nitrogen Sources to Harmful Macroalgal Blooms on Coral Reeds off Southeast Florida. Florida Institute of Oceanography.
- Ledanois, J.-M. 1996. Magnitudes, Dimensiones y Conversiones de unidades (Equinoccio).
- Mariotti, A., Germon, J.C., Hubert, P., Kaiser, P., Letolle, R., Tardieux, A. & Tardieux, P. 1981. Experimental determination of nitrogen kinetic isotope fractionation: Some principles; illustration for the denitrification and nitrification processes. *Plant Soil*, 62: 413–430.
- Menard, F., Potier, M., Lorrain, A., Sabatié, R., Cherel, Y., Romanov, E. & Marsac, F. 2007. Trophic ecology of several tropical top predators: a comparative approach between the Indian and the Atlantic oceans. En: *Abstracts of Climate impacts on oceanic top predators*. La Paz, B.C.S. México, 136: 57.
- Michener, R., & Lajtha, K. (Eds.). (2008). *Stable isotopes in ecology and environmental science*. Wiley. com.

- Minagawa, M & Wada, E. 1986. Nitrogen isotope ratios of red tide organisms in the East China Sea: A characterization of biological nitrogen fixation. *Marine Chemistry*, 19: 245–259.
- Moore, K.A. & L. Wetzel, Y.R. 1988. The distribution and productivity of seagrasses in the Términos Lagoon. In: *Ecología de los ecosistemas costeros en el sur del Golfo de México: La región de la Laguna de Términos*. A. Yáñez Arancibia & J.W. Day Jr. Inst. Cienc. Del Mar y Limnol. UNAM. Coast. Ecol. Inst. LSU. Editorial Universitaria México DF Cap. 12:207–220.
- Nagelkerken, I., Dorenbosch, M., Verberk, W.C.E.P., Morinire, E.C. de la & Velde, G. van der. 2000. Day-night shifts of fishes between shallow-water biotopes of a Caribbean bay, with emphasis on the nocturnal feeding of Haemulidae and Lutjanidae. *Marine Ecology Progress Series*, 194: 55–64.
- Ortega, M.M. 2009. Observaciones del fitobentos de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Anales del Instituto de Biología serie Botánica*, 66.
- Oxford-Complutense. 2000. Diccionario de ciencias de la tierra (Editorial Complutense).
- Parnell, A.C., Inger, R., Bearhop, S. & Jackson, A.L. 2010. Source Partitioning Using Stable Isotopes: Coping with Too Much Variation. *PLoS ONE*, 5: e9672.
- Post, D.M. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology*, 83: 703–718.
- Ramos Miranda, J., Mouillot, D., Hernandez, D.F., Lopez, A.S., Chi, T.D. & Perez, L.A. 2005. 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., Mouillot, D., Sosa Lopez, A., Do Chi, T. & Flores Hernández, D. 2008. How much variation can be explained by seasonal, spatial and environmental effects in nekton assemblages of the Terminos Lagoon? *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 18: 508–517.
- Raz-Guzmán, A. & Barba-Macias, E. 2000. Seagrass biomass, distribution and associated macrofauna in southwestern of Mexico coastal lagoons. *Biol. Mar. Mediterranean*, 7(2): 271.

- Raz-Guzmán, A. & 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.
- Rivera-Monroy, V.H., & Twilley, R.R. 1996. The relative role of denitrification and immobilization in the fate of inorganic nitrogen in mangrove sediments (Terminos Lagoon, Mexico). *Limnology and Oceanography*, 41(2): 284–296.
- Sánchez, A., Aguíñiga, S., Lluch-Belda, D., Camalich-Carpizo, J., Del Monte-Luna, P., Ponce-Díaz, G. & 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.
- Sánchez, A., Choumiline, Evgueni, Estela López-Ortiz, Blanca, Aguíñiga, Sergio, Sánchez-Vargas, Lilia, Romero-Guadarrama, Armando, & Rodríguez-Meza, Durga. 2010. Patrón de transporte de sedimento en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México, inferido del análisis de tendencias granulométricas. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 38(2): 167-177.
- SEMARNAP-INE 1997. Programa de Manejo del Area de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos, México. SEMARNAP, México D.F., 166.
- Sheridan, P. & Minello, T.J. 2003. Nekton use of different habitat types in seagrass beds of Lower Laguna Madre, Texas. *Bulletin of Marine Science*, 72: 37–61.
- Shervette, V.R., Ibarra, N. & Gelwick, F. 2007. Influences of Salinity on Growth and Survival of Juvenile Pinfish *Lagodon rhomboides* (Linnaeus). *Environ Biol Fish*, 78: 125–134.
- Shultz, D.J. & Calder, J.A. 1976. Organic carbon $^{13}C^{12}C$ variations in estuarine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 40: 381–385.
- Soberón Chávez, G., Yáñez-Arancibia, A. & Day, Jr., J.W. 1988. Fundamentos para un modelo ecológico preliminar de la Laguna de Términos, Cap. 20: 381-414: 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, Editorial Universitaria, México: 518.

- Sosa-López, A., Mouillot, D., Chi, T.D. & Ramos-Miranda, J. 2005. Ecological indicators based on fish biomass distribution along trophic levels: an application to the Terminos coastal lagoon, Mexico. *ICES J. Mar. Sci.*, 62: 453–458.
- Stoner, A. W. & Zimmerman., R.J. 1988. Food pathways associated with penaeid shrimp in a mangrove-fringed estuary. *Fishery Bulletin*, 86(3): 543–551.
- Vega- Cendejas, M.E. 1998. Trama trófica de la comunidad nectónica asociada al ecosistema de manglar en el litoral norte de Yucatán. Tesis Doctor en Ciencias (Biología). Univ. Nal. Autón. México, Fac. Ciencias.
- Vega-Cendejas, M.E. 2004. Ictiofauna de la Reserva de la Biosfera Celestún, Yucatán: una contribución al conocimiento de su biodiversidad. . *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 75(1): 193–206.
- Villalobos Zapata, G. J., Palacio Aponte, G., Sosa López, A., Alvares Guillen, H., Reda, A., Zetina Tapia, R., Tafoya, O., González Jáuregui, M., Cu Escamilla, A.D. & Borges Souza, G. 2001. Ecología del paisaje y diagnóstico ambiental del ANP “Laguna de Términos” Informe Final. P. SISIERRA 20000706030 Centro EPOMEX-UAC-37.
- Villéger, S., Miranda, J.R., Hernández, D.F. & Mouillot, D. 2010. Contrasting changes in taxonomic vs. functional diversity of tropical fish communities after habitat degradation. *Ecological Applications*, 20: 1512–1522.
- Vizzini, S., Sarà, G., Michener, R. & Mazzola, A. 2002. The role and contribution of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile organic matter for secondary consumers as revealed by carbon and nitrogen stable isotope analysis. *Acta Oecologica*, 23: 277–285.
- Wilson, J. & Sheaves, M. 2001. Short-term temporal variations in taxonomic composition and trophic structure of a tropical estuarine fish assemblage. *Marine Biology*, 139: 787–796.
- 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*, (1): 1–47.
- Yáñez-Arancibia, A. & J. W. Day, Jr. 1982. *Ecological characterization of Términos Lagoon, a tropical lagoon-estuarine system in the Southern Gulf of Mexico*, p. 431-440. In:

- Lasserre, P. y H. Postma (Eds.) *Costal Lagoons. Oceanologica Acta Vol. Spec., 5 (4): 462 p.*
- Yáñez-Arancibia, A. & J.W, D. 2005. Ecosystem Functioning, The Basis For Sustainable Management Of Terminos Lagoon, Campeche Mexico. Xalapa, Veracruz, México: Institute Of Ecology A.C.
- Yáñez-Arancibia, A. 1982. Ecosystem dynamics and nichthemeral and seasonal programming of fish community structure in a tropical estuarine inlet, México. In P. Lasserre & H. Postma (eds.). *Coastal Lagoons Oceanológica Acta Spec., 5: 417–429.*
- Yáñez-Arancibia, A., Lara-Domínguez, A., Chavance, P. & Flores Hernández, D. 1983. Environmental Behavior of Terminos Lagoon Ecological System, Campeche México. *An. Inst. Cien. Del Mar Y Limnol. UNAM, 10 (1): 137–176.*
- Yáñez-Arancibia, A., Lara-Domínguez, A.L. & Jr, J.W.D. 1993. Interactions between mangrove and seagrass habitats mediated by estuarine nekton assemblages: coupling of primary and secondary production. *Hydrobiologia, 264: 1–12.*
- Yáñez-Arancibia, A., Lara-Domínguez, A.L., Sánchez-Gil, P., Álvarez-Guillén, H., Soberón-Chávez, G. & Day Jr, J.W. 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: 357–379.
- Yáñez-Arancibia, A., Lara-Domínguez., A., Aguirre- León., A., Díaz-Ruiz., S., Amezcua, D. Flores., F. & Chavance., P. 1985. Ecología de poblaciones de peces dominantes en estuarios tropicales: factores ambientales que regulan las estrategias biológicas y la reproducción. In A. Yáñez-Arancibia (ed.). *Fish Community Ecology in Estuaries and Coastal Lagoons: Towards an Ecosystem Integration.* UNAM, México D.F., México, 15: 311–366.

12 ANEXOS

Anexo 1. Temperatura y salinidad en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche, México en las temporadas de nortes, secas y lluvias 2011.

	Laguna de Términos					
	Nortes		Secas		Lluvias	
	Temperatura (°C)	Salinidad (‰)	Temperatura (°C)	Salinidad (‰)	Temperatura (°C)	Salinidad (‰)
Promedio	24.8	28.1	29.1	30.4	30.3	27.6
Mínimo	24.1	17.2	28.2	12.2	29.3	2.1
Máximo	25.9	34.7	30.2	37.1	31.0	34.8

	Plataforma continental adyacente					
	Nortes		Secas		Lluvias	
	Temperatura (°C)	Salinidad (‰)	Temperatura (°C)	Salinidad (‰)	Temperatura (°C)	Salinidad (‰)
Promedio	24.9	26.7	29.2	26.6	28.3	32.2
Mínimo	24.1	17.2	28.2	12.2	27.5	30.3
Máximo	25.9	34.7	30.2	37.1	28.9	32.6

Anexo 2. Distribución y número de individuos recolectados en Laguna de Términos, Campeche, México en la temporada de nortes.

Especie	Familia	Zonas			
		Z1	Z2	Z3	Z4
<i>Ariopsis felis</i>	Ariidae	0	0	0	0
<i>Bagre marinus</i>	Ariidae	0	0	0	0
<i>Harengula jaguana</i>	Clupeidae	0	0	0	0
<i>Dasyatis sabina</i>	Dasyatidae	0	0	0	0
<i>Anchoa lyolepis</i>	Engraulidae	0	0	0	0
<i>Cetengraulis edentulus</i>	Engraulidae	0	0	0	0
<i>Chaetodipterus faber</i>	Ephippidae	13	7	15	9
<i>Diapterus auratus</i>	Gerreidae	0	0	0	0
<i>Diapterus rhombeus</i>	Gerreidae	19	6	127	6
<i>Eucinostomus argenteus</i>	Gerreidae	101	23	23	3
<i>Eucinostomus gula</i>	Gerreidae	0	0	0	0
<i>Eugerres plumieri</i>	Gerreidae	0	6	13	0
<i>Gymnura micrura</i>	Gymnuridae	0	0	0	0
<i>Orthopristis chrysoptera</i>	Haemulidae	0	0	0	0
<i>Lutjanus synagris</i>	Lutjanidae	0	8	2	0
<i>Acanthostracion quadricornis</i>	Ostraciidae	1	13	2	2
<i>Citharichthys spilopterus</i>	Paralichthyidae	0	0	0	0
<i>Etropus crossotus</i>	Paralichthyidae	0	0	0	0
<i>Polydactylus octonemus</i>	Polynemidae	0	0	0	0
<i>Menticirrhus americanus</i>	Sciaenidae	0	0	0	0
<i>Micropogonias furnieri</i>	Sciaenidae	0	0	0	0
<i>Synodus foetens</i>	Synodontidae	7	13	12	1
<i>Sphoeroides testudinus</i>	Tetraodontidae	6	95	20	1
<i>Trichiurus lepturus</i>	Trichiuridae	0	0	0	0
<i>Prionotus scitulus</i>	Triglidae	0	75	28	10

Anexo 3. Distribución y número de individuos recolectados en Laguna de Términos, Campeche, México en la temporada de secas.

Especie	Familia	Zonas			
		Z1	Z2	Z3	Z4
<i>Ariopsis felis</i>	Ariidae	5	123	8	10
<i>Bagre marinus</i>	Ariidae	4	0	4	1
<i>Harengula jaguana</i>	Clupeidae	30	1	7	2
<i>Dasyatis sabina</i>	Dasyatidae	0	0	0	0
<i>Anchoa lyolepis</i>	Engraulidae	0	0	0	0
<i>Cetengraulis edentulus</i>	Engraulidae	0	0	0	0
<i>Chaetodipterus faber</i>	Ephippidae	0	2	29	15
<i>Diapterus auratus</i>	Gerreidae	0	0	0	0
<i>Diapterus rhombeus</i>	Gerreidae	10	14	27	5
<i>Eucinostomus argenteus</i>	Gerreidae	15	17	4	31
<i>Eucinostomus gula</i>	Gerreidae	0	1	2	9
<i>Eugerres plumieri</i>	Gerreidae	0	0	0	0
<i>Gymnura micrura</i>	Gymnuridae	1	0	8	0
<i>Orthopristis chrysoptera</i>	Haemulidae	0	0	0	0
<i>Lutjanus synagris</i>	Lutjanidae	0	7	1	1
<i>Acanthostracion quadricornis</i>	Ostraciidae	0	6	4	6
<i>Citharichthys spilopterus</i>	Paralichthyidae	0	0	0	0
<i>Etropus crossotus</i>	Paralichthyidae	0	0	0	0
<i>Polydactylus octonemus</i>	Polynemidae	2	0	2	0
<i>Menticirrhus americanus</i>	Sciaenidae	0	0	0	0
<i>Micropogonias furnieri</i>	Sciaenidae	80	0	3	0
<i>Synodus foetens</i>	Synodontidae	0	6	3	1
<i>Sphoeroides testudinus</i>	Tetraodontidae	0	63	36	0
<i>Trichiurus lepturus</i>	Trichiuridae	1	0	1	2
<i>Prionotus scitulus</i>	Triglidae	3	28	8	12

Anexo 4. Distribución y número de individuos recolectados en Laguna de Términos, Campeche, México en la temporada de lluvias.

Especie	Familia	Zonas			
		Z1	Z2	Z3	Z4
<i>Acanthostracion quadricornis</i>	Ostraciidae	0	9	5	2
<i>Ariopsis felis</i>	Ariidae	37	45	93	4
<i>Bagre marinus</i>	Ariidae	50	0	53	14
<i>Harengula jaguana</i>	Clupeidae	32	0	5	0
<i>Dasyatis sabina</i>	Dasyatidae	0	1	12	2
<i>Anchoa lyolepis</i>	Engraulidae	0	0	4	0
<i>Cetengraulis edentulus</i>	Engraulidae	5	0	4	0
<i>Chaetodipterus faber</i>	Ephippidae	10	4	9	20
<i>Diapterus auratus</i>	Gerreidae	2	0	14	0
<i>Diapterus rhombeus</i>	Gerreidae	25	53	262	5
<i>Eucinostomus argenteus</i>	Gerreidae	100	382	153	120
<i>Eucinostomus gula</i>	Gerreidae	10	204	73	43
<i>Eugerres plumieri</i>	Gerreidae	0	0	0	0
<i>Gymnura micrura</i>	Gymnuridae	0	0	0	0
<i>Orthopristis chrysoptera</i>	Haemulidae	11	20	11	0
<i>Lutjanus synagris</i>	Lutjanidae	1	3	0	0
<i>Citharichthys spilopterus</i>	Paralichthyidae	14	0	2	1
<i>Etropus crossotus</i>	Paralichthyidae	47	10	35	7
<i>Polydactylus octonemus</i>	Polynemidae	0	0	0	0
<i>Menticirrhus americanus</i>	Sciaenidae	1	0	0	0
<i>Micropogonias furnieri</i>	Sciaenidae	32	3	26	1
<i>Synodus foetens</i>	Synodontidae	8	7	6	4
<i>Sphoeroides testudinus</i>	Tetraodontidae	6	46	17	2
<i>Trichiurus lepturus</i>	Trichiuridae	0	0	0	0
<i>Prionotus scitulus</i>	Triglidae	0	0	0	0

Anexo 5. Distribución de la ictiofauna y los productores primarios en la temporada de nortes en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche México. Donde M: Mangle, FI: Fitoplancton, PM: Pastos Marinos y AL: Macroalgas.

		Distribución de los productores primarios				Total	
		MFIAL	PMMFIAL	MFIAL	FIAL		
Especies	<i>Acanthostracion quadricornis</i>	Recuento	1	13	2	2	18
		% del total	0.10%	1.90%	0.30%	0.30%	2.70%
	<i>Chaetodipterus faber</i>	Recuento	13	7	15	9	44
		% del total	1.90%	1.00%	2.20%	1.30%	6.60%
	<i>Diapterus rhombeus</i>	Recuento	19	6	127	6	158
		% del total	2.80%	0.90%	19.00%	0.90%	23.70%
	<i>Eucinostomus argenteus</i>	Recuento	101	23	23	3	150
		% del total	15.10%	3.40%	3.40%	0.40%	22.50%
	<i>Eugerres plumieri</i>	Recuento	0	6	13	0	19
		% del total	0.00%	0.90%	1.90%	0.00%	2.80%
	<i>Lutjanus synagris</i>	Recuento	0	8	2	0	10
		% del total	0.00%	1.20%	0.30%	0.00%	1.50%
	<i>Prionotus scitulus</i>	Recuento	0	75	28	10	113
		% del total	0.00%	11.20%	4.20%	1.50%	16.90%
	<i>Sphoeroides testudinus</i>	Recuento	6	95	20	1	122
		% del total	0.90%	14.20%	3.00%	0.10%	18.30%
	<i>Synodus foetens</i>	Recuento	7	13	12	1	33
		% del total	1.00%	1.90%	1.80%	0.10%	4.90%
Total	Recuento	147	246	242	32	667	
	% del total	22.00%	36.90%	36.30%	4.80%	100.00%	

Anexo 6. Distribución de la ictiofauna y los productores primarios en la temporada de secas en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche México. Donde M: Mangle, FI: Fitoplancton, PM: Pastos Marinos y AL: Macroalgas.

		Distribución de los productores primarios					
		MFIAL	PMMFIAL	MFIAL	FIAL	Total	
Especies	<i>Acanthostracion quadricornis</i>	Recuento	0	6	4	6	16
		% del total	0.00%	0.90%	0.60%	0.90%	2.40%
	<i>Ariopsis felis</i>	Recuento	5	123	8	10	146
		% del total	0.80%	18.60%	1.20%	1.50%	22.10%
	<i>Bagre marinus</i>	Recuento	4	0	4	1	9
		% del total	0.60%	0.00%	0.60%	0.20%	1.40%
	<i>Chaetodipterus faber</i>	Recuento	0	2	29	15	46
		% del total	0.00%	0.30%	4.40%	2.30%	7.00%
	<i>Diapterus rhombeus</i>	Recuento	10	14	27	5	56
		% del total	1.50%	2.10%	4.10%	0.80%	8.50%
	<i>Eucinostomus argenteus</i>	Recuento	15	17	4	31	67
		% del total	2.30%	2.60%	0.60%	4.70%	10.10%
	<i>Eucinostomus gula</i>	Recuento	0	1	2	9	12
		% del total	0.00%	0.20%	0.30%	1.40%	1.80%
	<i>Gymnura micrura</i>	Recuento	1	0	8	0	9
		% del total	0.20%	0.00%	1.20%	0.00%	1.40%
	<i>Harengula jaguana</i>	Recuento	30	1	7	2	40
		% del total	4.50%	0.20%	1.10%	0.30%	6.10%
	<i>Lutjanus synagris</i>	Recuento	0	7	1	1	9
		% del total	0.00%	1.10%	0.20%	0.20%	1.40%
	<i>Micropogonias furnieri</i>	Recuento	80	0	3	0	83
		% del total	12.10%	0.00%	0.50%	0.00%	12.60%
<i>Polydactylus octonemus</i>	Recuento	2	0	2	0	4	
	% del total	0.30%	0.00%	0.30%	0.00%	0.60%	
<i>Prionotus scitulus</i>	Recuento	3	28	8	12	51	
	% del total	0.50%	4.20%	1.20%	1.80%	7.70%	
<i>Sphoeroides testudinus</i>	Recuento	0	63	36	0	99	
	% del total	0.00%	9.50%	5.40%	0.00%	15.00%	
<i>Synodus foetens</i>	Recuento	0	6	3	1	10	
	% del total	0.00%	0.90%	0.50%	0.20%	1.50%	
<i>Trichiurus lepturus</i>	Recuento	1	0	1	2	4	
	% del total	0.20%	0.00%	0.20%	0.30%	0.60%	
Total	Recuento	151	268	147	95	661	
	% del total	22.80%	40.50%	22.20%	14.40%	100.00%	

Anexo 7. Distribución de la ictiofauna y los productores primarios en la temporada de lluvias en Laguna de Términos y Plataforma continental adyacente, Campeche México. Donde M: Mangle, FI: Fitoplancton, PM: Pastos Marinos y AL: Macroalgas.

		Distribución de los productores primarios				Total	
		MFIAL	PMMFIAL	MFIAL	FIAL		
Especies	<i>Acanthostracion quadricornis</i>	Recuento	0	9	5	2	16
		% del total	0.00%	0.40%	0.20%	0.10%	0.70%
	<i>Anchoa lyolepis</i>	Recuento	0	0	4	0	4
		% del total	0.00%	0.00%	0.20%	0.00%	0.20%
	<i>Ariopsis felis</i>	Recuento	37	45	93	4	179
		% del total	1.70%	2.10%	4.30%	0.20%	8.20%
	<i>Bagre marinus</i>	Recuento	50	0	53	14	117
		% del total	2.30%	0.00%	2.40%	0.60%	5.30%
	<i>Cetengraulis edentulus</i>	Recuento	5	0	4	0	9
		% del total	0.20%	0.00%	0.20%	0.00%	0.40%
	<i>chaetodipterus faber</i>	Recuento	10	4	9	20	43
		% del total	0.50%	0.20%	0.40%	0.90%	2.00%
	<i>Citharichthys spilopterus</i>	Recuento	14	0	2	1	17
		% del total	0.60%	0.00%	0.10%	0.00%	0.80%
	<i>Dasyatis sabina</i>	Recuento	0	1	12	2	15
		% del total	0.00%	0.00%	0.50%	0.10%	0.70%
	<i>Diapterus auratus</i>	Recuento	2	0	14	0	16
		% del total	0.10%	0.00%	0.60%	0.00%	0.70%
	<i>Diapterus rhombeus</i>	Recuento	25	53	262	5	345
		% del total	1.10%	2.40%	12.00%	0.20%	15.80%
	<i>Etropus crossotus</i>	Recuento	47	10	35	7	99
		% del total	2.10%	0.50%	1.60%	0.30%	4.50%
	<i>Eucinostomus argenteus</i>	Recuento	100	382	153	120	755
		% del total	4.60%	17.50%	7.00%	5.50%	34.50%
	<i>Eucinostomus gula</i>	Recuento	10	204	73	43	330
		% del total	0.50%	9.30%	3.30%	2.00%	15.10%
	<i>Harengula jaguana</i>	Recuento	32	0	5	0	37
		% del total	1.50%	0.00%	0.20%	0.00%	1.70%
<i>Lutjanus synagris</i>	Recuento	1	3	0	0	4	
	% del total	0.00%	0.10%	0.00%	0.00%	0.20%	
<i>Menticirrhus americanus</i>	Recuento	1	0	0	0	1	
	% del total	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
<i>Micropogonias furnieri</i>	Recuento	32	3	26	1	62	
	% del total	1.50%	0.10%	1.20%	0.00%	2.80%	
<i>Orthopristes chrysoptera</i>	Recuento	11	20	11	0	42	
	% del total	0.50%	0.90%	0.50%	0.00%	1.90%	
<i>Sphoeroides testudinus</i>	Recuento	6	46	17	2	71	
	% del total	0.30%	2.10%	0.80%	0.10%	3.20%	
<i>Synodus foetens</i>	Recuento	8	7	6	4	25	
	% del total	0.40%	0.30%	0.30%	0.20%	1.10%	
Total	Recuento	391	787	784	225	2187	
	% del total	17.90%	36.00%	35.80%	10.30%	100.00%	

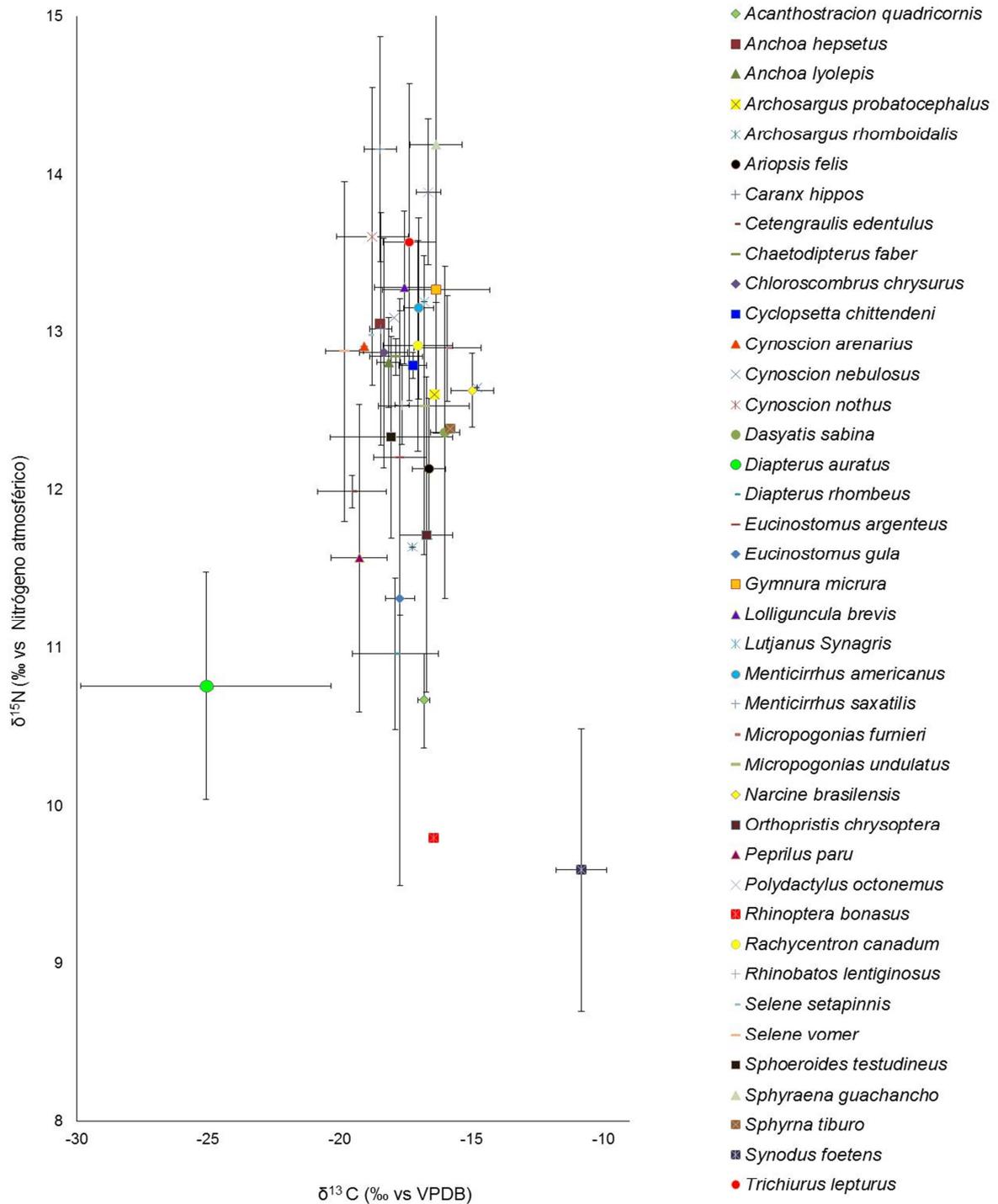
Anexo 8. $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la ictiofauna en Laguna de Términos, Campeche, México en la temporada de nortes.

Especie	N	$\delta^{13}\text{C}$	SD	$\delta^{15}\text{N}$	SD
<i>Acanthostracion quadricornis</i>	3	-18.3	2.4	11.0	0.4
<i>Bairdiella ronchus</i>	6	-19.2	0.5	11.5	0.6
<i>Chaetodipterus faber</i>	4	-20.2	0.8	13.0	0.3
<i>Cyclopsetta chittendeni</i>	1	-16.8	0.0	13.2	0.0
<i>Diapterus rhombeus</i>	3	-18.2	0.3	11.4	0.4
<i>Eucinostomus argenteus</i>	3	-19.9	0.3	12.7	1.1
<i>Eugerres plumieri</i>	2	-15.2	0.0	11.7	0.1
<i>Gymnura micrura</i>	2	-13.6	0.2	14.4	0.1
<i>Lutjanus analis</i>	1	-18.3	0.0	12.4	0.0
<i>Lutjanus synagris</i>	1	-20.6	0.0	13.2	0.0
<i>Prionotus scitulus</i>	7	-17.2	1.8	10.4	1.1
<i>Sphoeroides testudineus</i>	2	-19.9	3.9	11.8	0.2
<i>Synodus foetens</i>	1	-17.9	0.0	12.4	0.0

Anexo 9. $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la ictiofauna en la Plataforma continental adyacente, Campeche, México en la temporada de nortes.

Especie	n	$\delta^{13}\text{C}$	SD	$\delta^{15}\text{N}$	SD
<i>Acanthostracion quadricornis</i>	6	-16.8	0.2	10.7	0.3
<i>Anchoa hepsetus</i>	2	-18.5	0.0	13.1	0.0
<i>Anchoa lyolepis</i>	6	-18.1	0.4	12.8	0.3
<i>Archosargus probatocephalus</i>	2	-16.4	0.0	12.6	0.0
<i>Archosargus rhomboidalis</i>	2	-17.2	0.0	11.6	0.0
<i>Ariopsis felis</i>	15	-16.6	0.6	12.1	0.4
<i>Caranx hippos</i>	7	-18.5	0.6	14.2	0.7
<i>Cetengraulis edentulus</i>	3	-19.5	1.3	12.0	0.1
<i>Chaetodipterus faber</i>	5	-17.9	0.3	12.8	0.1
<i>Chloroscombrus chrysurus</i>	9	-18.3	0.9	12.9	0.7
<i>Cyclopsetta chittendeni</i>	3	-17.2	0.5	12.8	0.1
<i>Cynoscion arenarius</i>	2	-19.1	0.0	12.9	0.0
<i>Cynoscion nebulosus</i>	2	-14.8	0.0	12.7	0.0
<i>Cynoscion nothus</i>	5	-18.8	1.4	13.6	0.9
<i>Dasyatis sabina</i>	8	-16.0	0.6	12.4	1.1
<i>Diapterus auratus</i>	8	-25.1	4.8	10.8	0.7
<i>Diapterus rhombeus</i>	6	-17.9	1.6	11.0	0.5
<i>Eucinostomus argenteus</i>	4	-17.7	0.5	12.2	1.8
<i>Eucinostomus gula</i>	6	-17.5	2.0	11.3	0.9
<i>Gymnura micrura</i>	11	-16.3	1.1	13.3	0.5
<i>Lolliguncula brevis</i>	2	-17.6	0.0	13.3	0.0
<i>Lutjanus analis</i>	6	-17.9	0.6	13.1	1.2
<i>Lutjanus Synagris</i>	5	-16.8	0.4	13.2	0.7
<i>Menticirrhus americanus</i>	4	-17.0	1.3	13.2	0.3
<i>Menticirrhus saxatilis</i>	3	-18.4	1.7	13.0	0.9
<i>Micropogonias furnieri</i>	4	-15.9	0.8	12.9	0.2
<i>Micropogonias undulatus</i>	2	-16.8	0.0	12.5	0.0
<i>Narcine brasiliensis</i>	4	-15.0	1.1	12.6	1.0
<i>Orthopristis chrysoptera</i>	2	-16.7	0.0	11.7	0.0
<i>Peprilus paru</i>	2	-19.3	0.0	11.6	0.0
<i>Polydactylus octonemus</i>	3	-16.6	1.3	13.9	0.7
<i>Rhinoptera bonasus</i>	3	-16.4	0.3	9.8	0.3
<i>Rachycentron canadum</i>	2	-17.0	0.0	12.9	0.0
<i>Rhinobatos lentiginosus</i>	3	-17.6	0.7	12.5	1.1
<i>Selene setapinnis</i>	5	-18.9	1.1	13.0	0.8
<i>Selene vomer</i>	3	-19.8	2.3	12.9	0.6
<i>Sphoeroides testudineus</i>	2	-18.0	0.0	12.3	0.0
<i>Sphyrna guachancho</i>	5	-16.3	0.5	14.2	0.5
<i>Sphyrna tiburo</i>	4	-15.8	1.0	12.4	0.9
<i>Synodus foetens</i>	2	-10.8	0.0	9.6	0.0
<i>Trichiurus lepturus</i>	3	-17.4	1.7	13.6	0.1

Anexo 10. $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la ictiofauna en la plataforma continental adyacente de Campeche, México en la temporada de nortes.



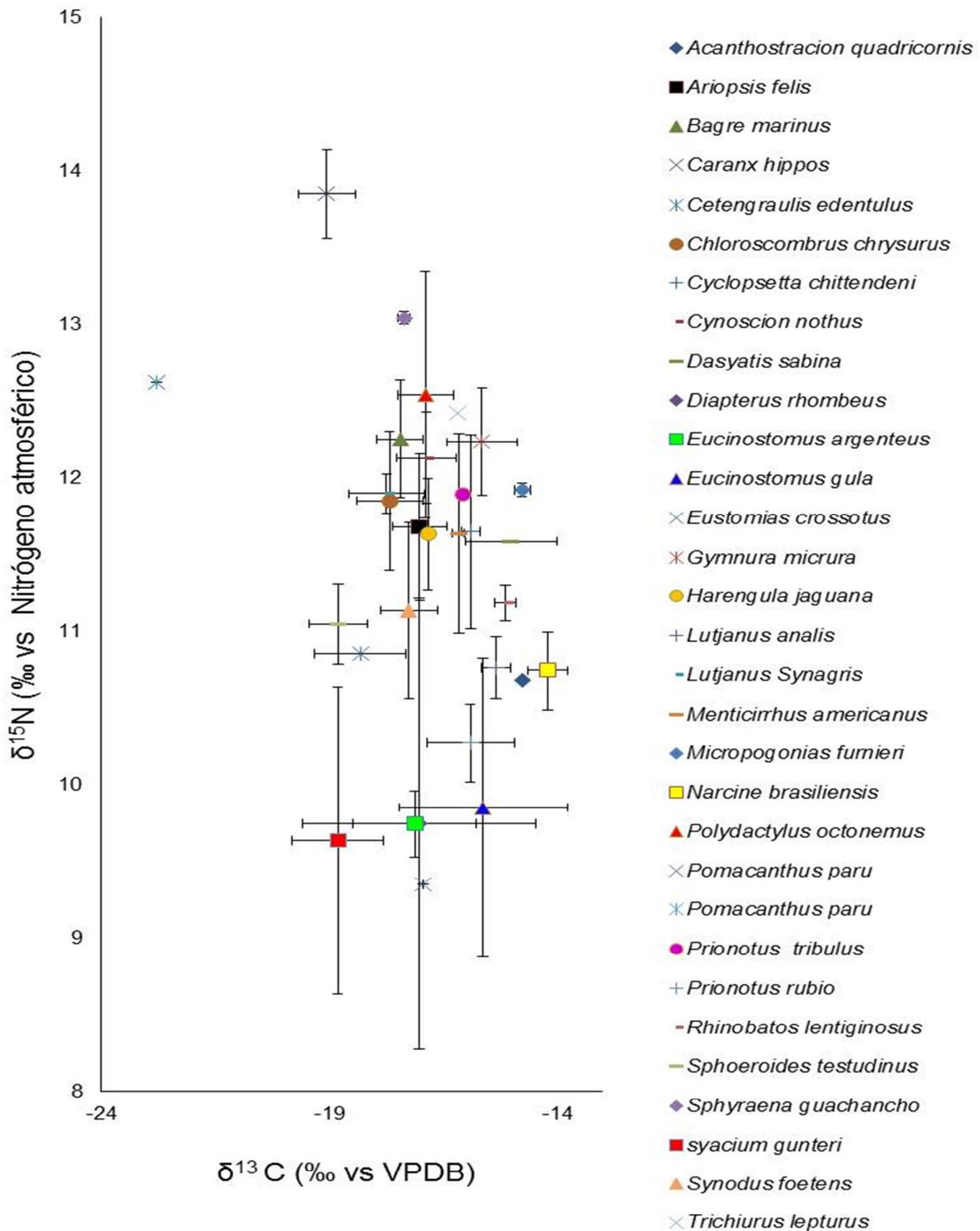
Anexo 11. $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la ictiofauna en Laguna de Términos, Campeche, México en la temporada de secas.

Espece	n	$\delta^{13}\text{C}$	SD	$\delta^{15}\text{N}$	SD
<i>Acanthostracion quadricornis</i>	2	-17.2	2.4	10.6	0.3
<i>Ariopsis felis</i>	6	-17.5	1.1	11.5	1.0
<i>Bagre marinos</i>	2	-19.2	0.0	10.3	0.0
<i>chaetodipterus faber</i>	10	-20.2	0.6	11.5	0.5
<i>Chloroscombrus chrysurus</i>	1	-18.8	0.0	12.3	0.0
<i>Cynoscion nebulosus</i>	2	-19.4	0.0	13.7	0.0
<i>Dasyatis sabina</i>	2	-19.2	0.0	7.8	0.0
<i>Diapterus rhombeus</i>	1	-19.6	0.0	10.5	0.0
<i>Eucinostomus argenteus</i>	4	-17.1	0.0	9.0	0.6
<i>Eucinostomus gula</i>	1	-17.2	0.0	11.2	0.0
<i>Gymnura micrura</i>	2	-15.0	0.9	12.2	1.8
<i>Harengula jaguana</i>	6	-17.9	1.3	11.0	1.1
<i>Lutjanus synagris</i>	3	-17.9	0.6	11.9	0.1
<i>Menticirrhus americanus</i>	1	-16.1	0.0	12.7	0.0
<i>Micropogonias furnieri</i>	1	-18.5	0.0	10.3	0.0
<i>Narcine brasilensis</i>	1	-12.3	0.0	9.8	0.0
<i>Prionotus carolinus</i>	2	-13.9	0.0	10.2	0.0
<i>Polydactylus octonemus</i>	2	-19.3	0.0	11.5	0.0
<i>Prionotus scitulus</i>	5	-17.5	1.0	10.3	0.5
<i>Sphoeroides testudinus</i>	18	-17.8	1.0	10.0	1.0
<i>Strongylura notata</i>	1	-17.8	0.0	13.4	0.0
<i>Synodus foetens</i>	7	-16.7	1.8	10.6	0.5
<i>Trichiurus lepturus</i>	2	-19.5	0.0	11.0	0.0

Anexo 12. $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la ictiofauna en la plataforma continental adyacente de Campeche, México en la temporada de secas.

Especie	n	$\delta^{13}\text{C}$	SD	$\delta^{15}\text{N}$	SD
<i>Acanthostracion quadricornis</i>	1	-14.7	0.0	10.7	0.0
<i>Ariopsis felis</i>	20	-17.0	0.6	11.7	0.5
<i>Bagre marinus</i>	8	-17.5	0.5	12.3	0.4
<i>Caranx hippos</i>	4	-19.1	0.6	13.9	0.3
<i>Cetengraulis edentulus</i>	14	-18.3	1.0	10.9	0.0
<i>Chloroscombrus chrysurus</i>	27	-17.7	0.7	11.9	0.5
<i>Cyclopsetta chittendeni</i>	3	-15.9	0.2	11.7	0.6
<i>Cynoscion nothus</i>	14	-16.9	0.7	12.1	0.3
<i>Dasyatis sabina</i>	1	-15.0	0.0	11.6	0.0
<i>Diapterus rhombeus</i>	15	-17.0	2.6	9.8	1.5
<i>Eucinostomus argenteus</i>	3	-17.1	1.4	9.7	0.2
<i>Eucinostomus gula</i>	16	-15.6	1.8	9.9	1.0
<i>Eustomias crossotus</i>	2	-16.9	0.0	9.4	0.0
<i>Gymnura micrura</i>	9	-15.6	0.8	12.2	0.3
<i>Harengula jaguana</i>	2	-16.8	0.1	11.6	0.4
<i>Lutjanus analis</i>	3	-15.3	0.3	10.8	0.2
<i>Lutjanus Synagris</i>	4	-17.7	0.8	11.9	0.1
<i>Menticirrhus americanus</i>	4	-16.2	0.1	11.6	0.6
<i>Micropogonias furnieri</i>	3	-14.8	0.2	11.9	0.0
<i>Narcine brasiliensis</i>	2	-14.2	0.4	10.7	0.3
<i>Polydactylus octonemus</i>	12	-16.9	0.6	12.5	0.8
<i>Pomacanthus paru</i>	2	-22.8	0.0	12.6	0.0
<i>Prionotus tribulus</i>	2	-16.1	0.0	11.9	0.0
<i>Prionotus rubio</i>	5	-15.9	1.0	10.3	0.3
<i>Rhinobatos lentiginosus</i>	3	-15.1	0.2	11.2	0.1
<i>Sphoeroides testudinus</i>	7	-18.8	0.6	11.1	0.3
<i>Sphyraena guachancho</i>	3	-17.4	0.1	13.0	0.0
<i>Syacium gunteri</i>	3	-18.8	5.1	9.6	0.2
<i>Synodus foetens</i>	10	-17.3	0.6	11.1	0.6
<i>Trichiurus lepturus</i>	6	-16.2	0.3	12.4	0.3

Anexo 13. $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la ictiofauna en la Plataforma continental adyacente de Campeche, México en la temporada de secas.



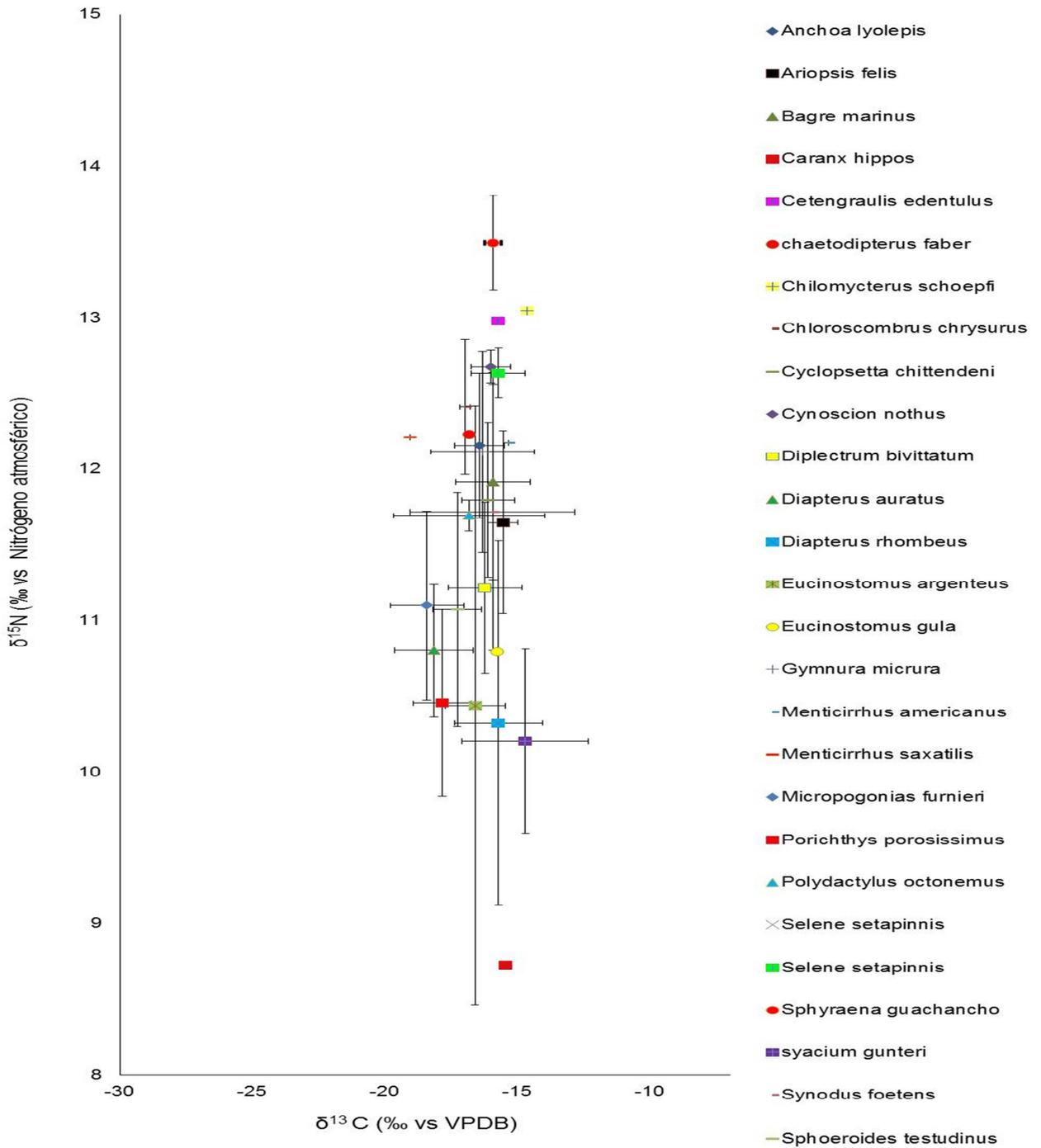
Anexo 14. $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la ictiofauna en Laguna de Términos, Campeche, México en la temporada de lluvias.

Especie	n	$\delta^{13}\text{C}$	SD	$\delta^{15}\text{N}$	SD
<i>Acanthostracion quadricornis</i>	8	-17.5	1.6	10.0	0.6
<i>Anchoa lyolepis</i>	1	-25.1	0.0	11.6	0.0
<i>Anchoa mitchilli</i>	1	-23.3	0.0	11.8	0.0
<i>Ariopsis felis</i>	12	-16.7	1.7	11.3	0.8
<i>Bagre marinus</i>	2	-16.8	1.3	12.6	0.1
<i>Cetengraulis edentulus</i>	1	-20.0	0.0	9.5	0.0
<i>Chaetodipterus faber</i>	6	-18.9	1.1	11.4	0.6
<i>Citharichthys spilopterus</i>	1	-15.8	0.0	11.2	0.0
<i>Dasyatis sabina</i>	3	-16.1	0.9	9.7	0.3
<i>Diapterus auratus</i>	1	-16.9	0.0	7.5	0.0
<i>Diapterus rhombeus</i>	6	-17.4	1.9	9.5	1.8
<i>Etropus crossotus</i>	1	-21.7	0.0	9.3	0.0
<i>Eucinostomus argenteus</i>	37	-16.8	2.3	9.7	0.9
<i>Eucinostomus gula</i>	17	-15.7	2.8	11.4	0.0
Gobiidae	1	-20.8	0.0	9.1	0.0
<i>Harengula jaguana</i>	1	-17.5	0.0	11.5	0.0
<i>Lutjanus synagris</i>	1	-19.3	0.0	12.3	0.0
<i>Menticirrhus americanus</i>	1	-17.7	0.0	11.3	0.0
<i>Micropogonias furnieri</i>	1	-17.5	0.0	8.9	0.0
<i>Narcine brasilensis</i>	2	-15.5	0.1	11.1	0.0
<i>Orthopristis chrysoptera</i>	1	-11.3	0.0	6.7	0.0
<i>Sphoeroides testudinus</i>	23	-18.0	1.8	10.3	0.0
<i>Strongylura notata</i>	1	-17.8	0.0	13.4	0.0
<i>Symphurus</i> sp	1	-20.9	0.0	9.2	0.0
<i>Synodus foetens</i>	8	-16.7	1.7	11.0	0.4

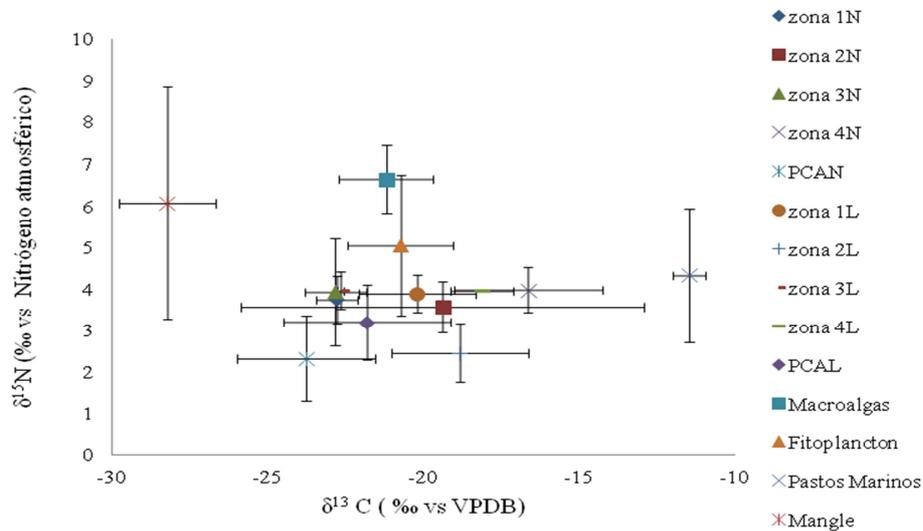
Anexo 15. $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la ictiofauna en la Plataforma continental adyacente de Campeche, México en la temporada de lluvias.

Especie	n	$\delta^{13}\text{C}$	SD	$\delta^{15}\text{N}$	SD
<i>Anchoa lyolepis</i>	3	-16.44	0.95	12.16	0.48
<i>Ariopsis felis</i>	18	-15.55	0.57	11.65	0.60
<i>Bagre marinus</i>	5	-15.93	1.41	11.92	0.65
<i>Caranx hippos</i>	1	-15.45	0.00	8.73	0.00
<i>Cetengraulis edentulus</i>	1	-15.73	0.00	12.98	0.00
<i>Chaetodipterus faber</i>	1	-16.84	0.00	12.23	0.00
<i>Chilomycterus schoepfi</i>	1	-14.64	0.00	13.05	0.00
<i>Chloroscombrus chrysurus</i>	6	-16.98	0.20	12.41	0.44
<i>Cyclopsetta chittendeni</i>	5	-16.1	0.95	11.8	0.51
<i>Cynoscion nothus</i>	2	-16.01	0.73	12.68	0.11
<i>Diplectrum bivittatum</i>	5	-16.22	1.38	11.22	0.57
<i>Diapterus auratus</i>	5	-18.16	1.48	10.8	0.44
<i>Diapterus rhombeus</i>	11	-15.72	1.67	10.32	1.20
<i>Eucinostomus argenteus</i>	3	-16.61	1.13	10.44	1.98
<i>Eucinostomus gula</i>	1	-15.77	0.00	10.79	0.00
<i>Gymnura micrura</i>	3	-16.33	1.96	12.11	0.66
<i>Menticirrhus americanus</i>	1	-15.34	0.00	12.18	0.00
<i>Menticirrhus saxatilis</i>	1	-19.05	0.00	12.21	0.00
<i>Micropogonias furnieri</i>	4	-18.42	1.39	11.1	0.62
<i>Porichthys porosissimus</i>	2	-17.84	1.09	10.46	0.62
<i>Polydactylus octonemus</i>	2	-16.84	2.85	11.7	0.10
<i>Selene setapinnis</i>	3	-15.72	1.02	12.63	0.16
<i>Sphyraena guachancho</i>	3	-15.92	0.31	13.5	0.25
<i>Syacium gunteri</i>	10	-14.7	2.38	10.2	0.61
<i>Synodus foetens</i>	5	-15.94	3.10	11.72	0.92
<i>Sphoeroides testudinus</i>	15	-17.27	0.90	11.07	0.78

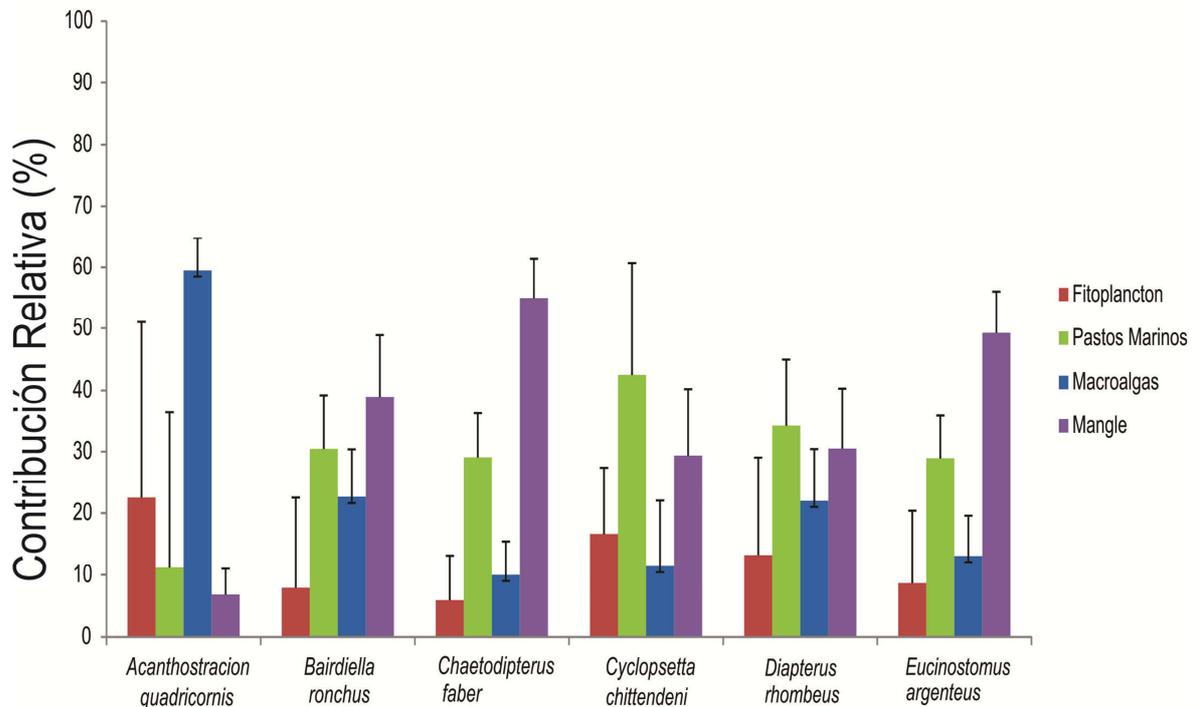
Anexo 16. $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de la ictiofauna en la plataforma continental adyacente de Campeche, México en la temporada de lluvias.

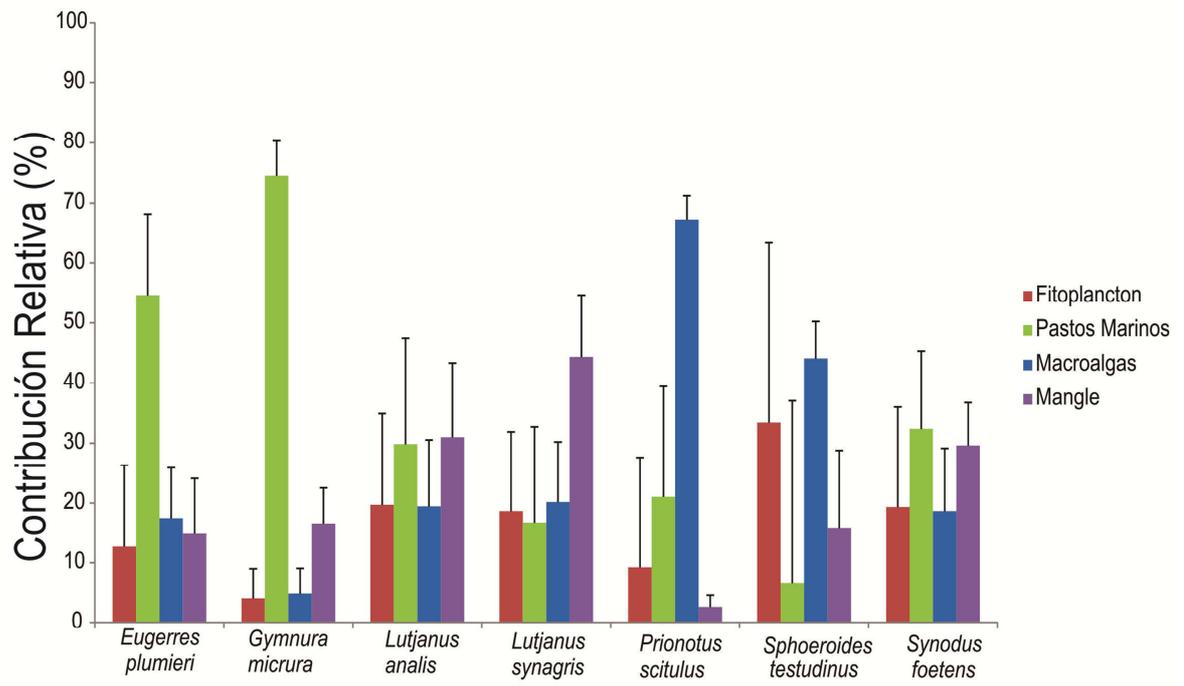


Anexo 17. $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en la materia orgánica sedimentaria en Laguna de Términos y Plataforma continental adyacente de Campeche, México en la temporada de lluvias.

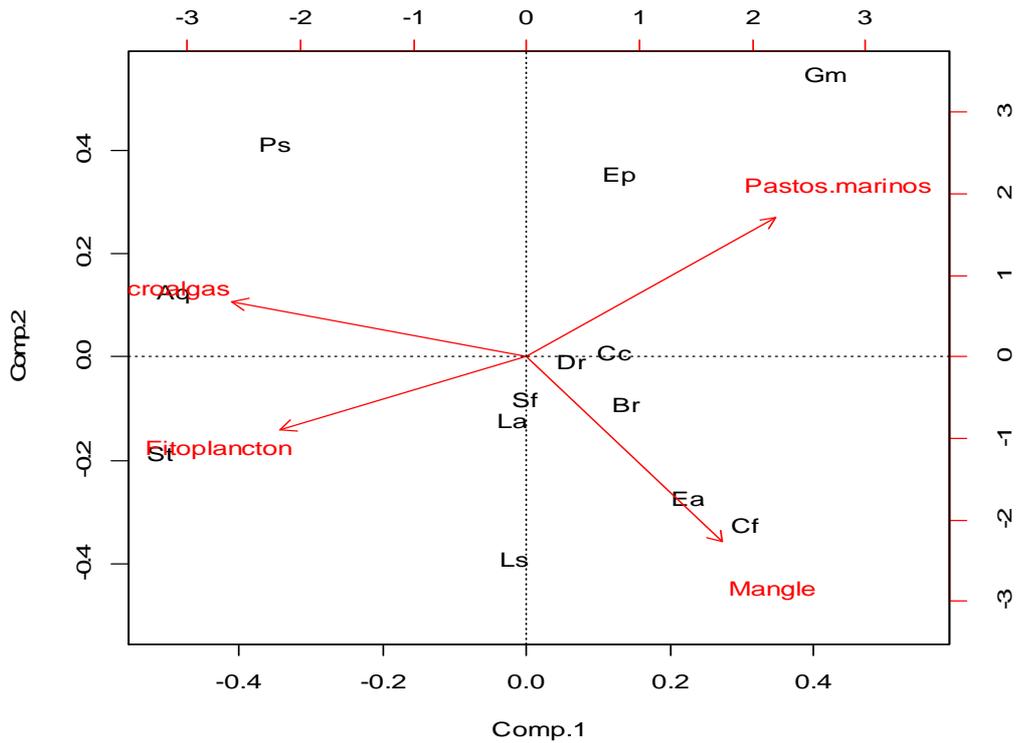


Anexo 18. Contribución relativa de los productores primarios a la ictiofauna en la temporada de nortes en Laguna de Términos, Campeche.

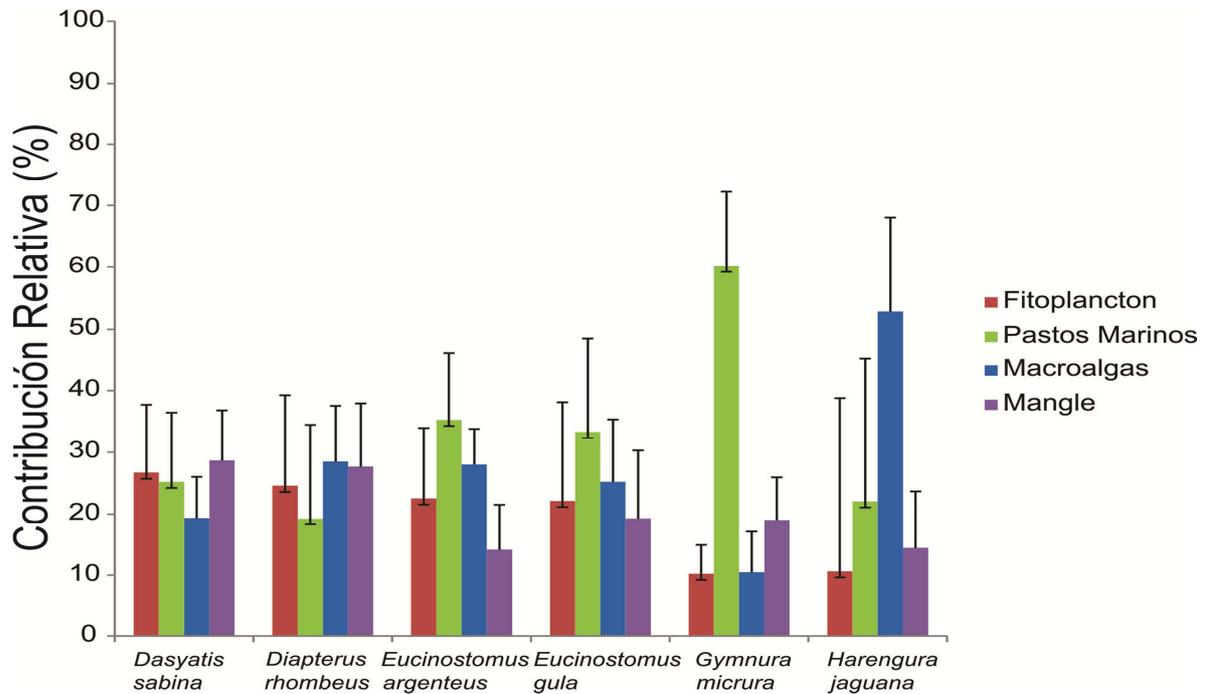
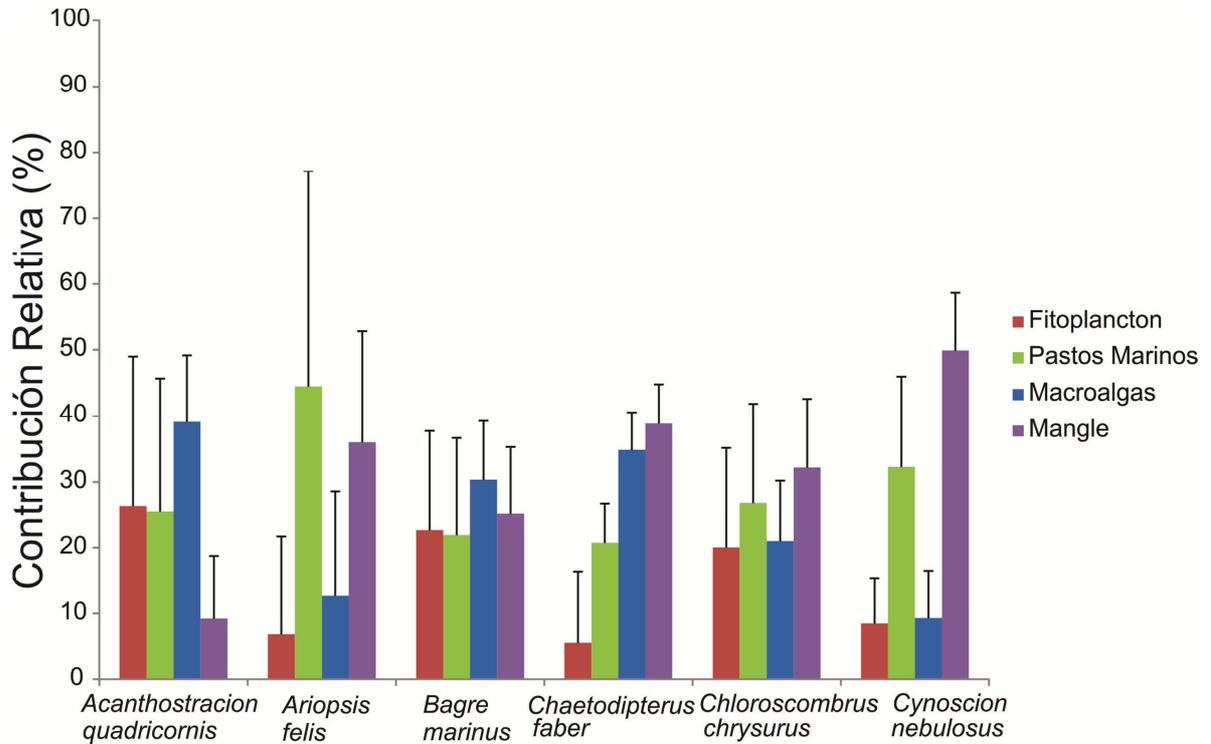


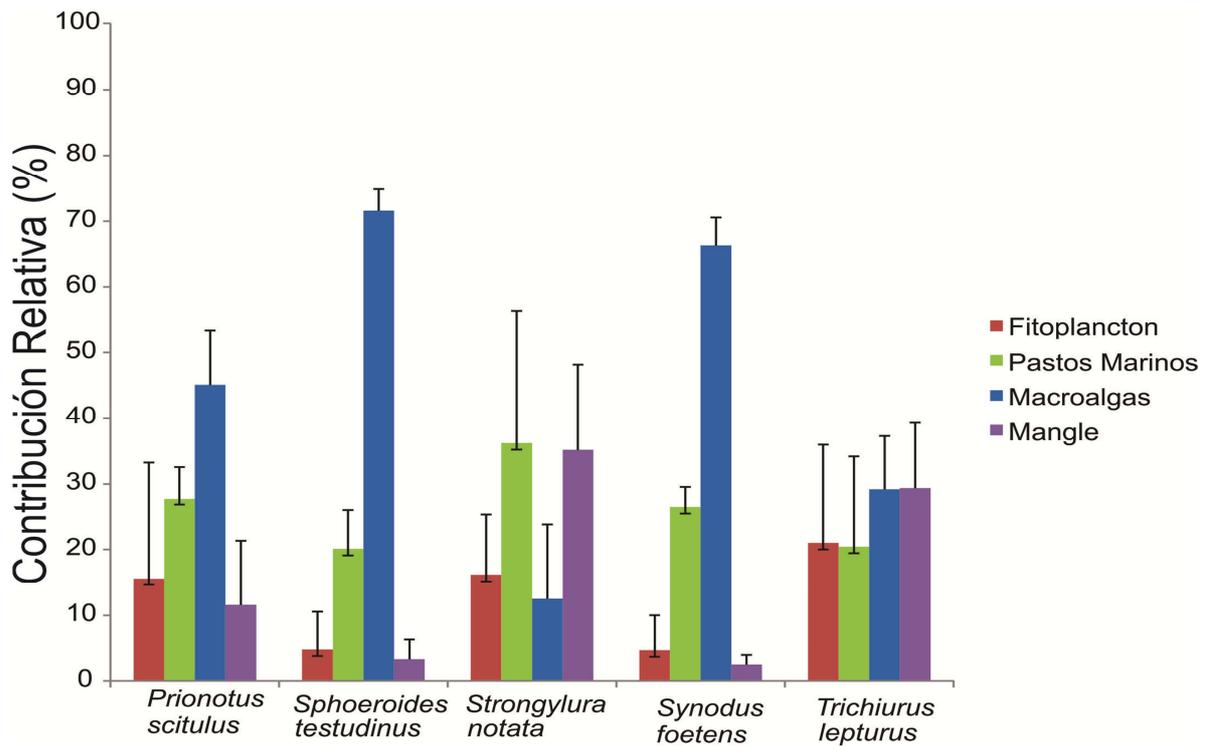
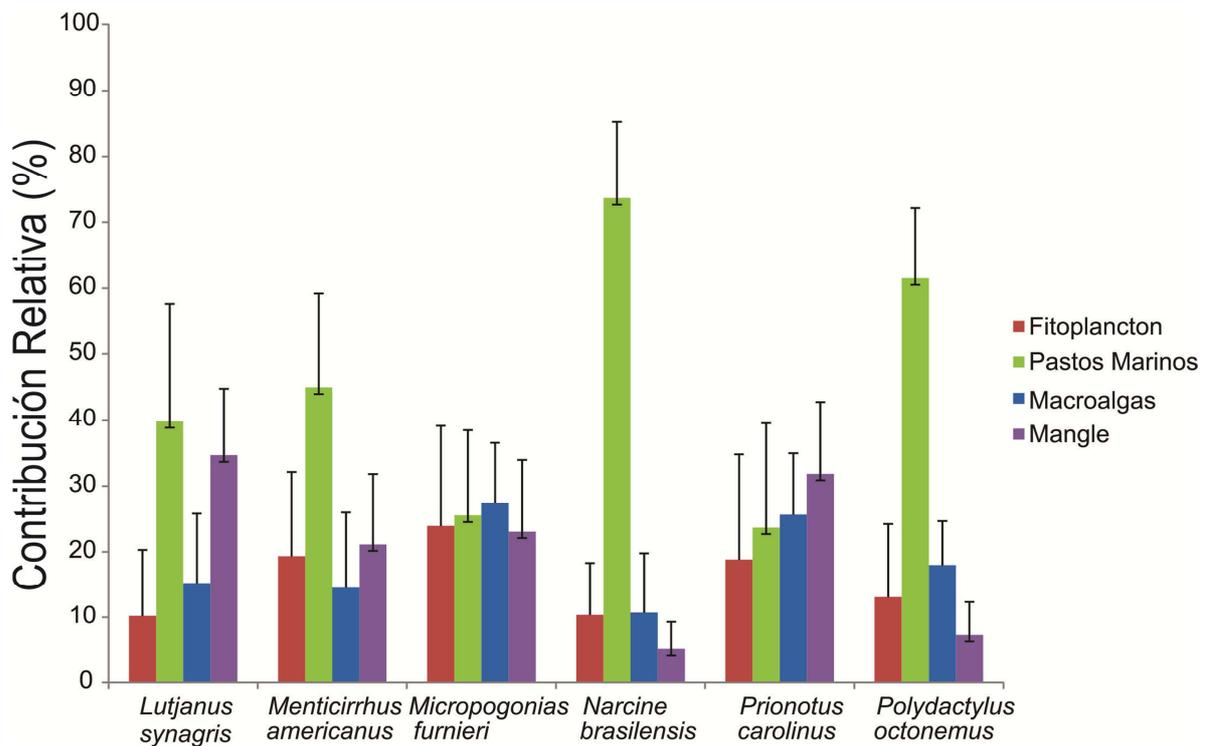


Anexo 19. Análisis de componentes principales de las contribuciones de los productores primarios a la ictiofauna en Laguna de Términos, Campeche en la temporada de nortes 2011. Nombres de las especies: Gm: *Gymnura micrura*, Ep: *Eugerres plumieri*, Ps: *Prionotus scitulus*, Aq: *Acanthostracion quadricornis*, St: *Sphoeroides testudineus*, Sf: *Synodus foetens*, La: *Lutjanus analis*, Ls: *Lutjanus synagris*, Dr: *Diapterus rhombeus*, Cc: *Cyclopsetta chittendeni*, Ea: *Eucinostomus argenteus*, Cf: *Chaetodipterus faber*, Br: *Bairdiella ronchus*.

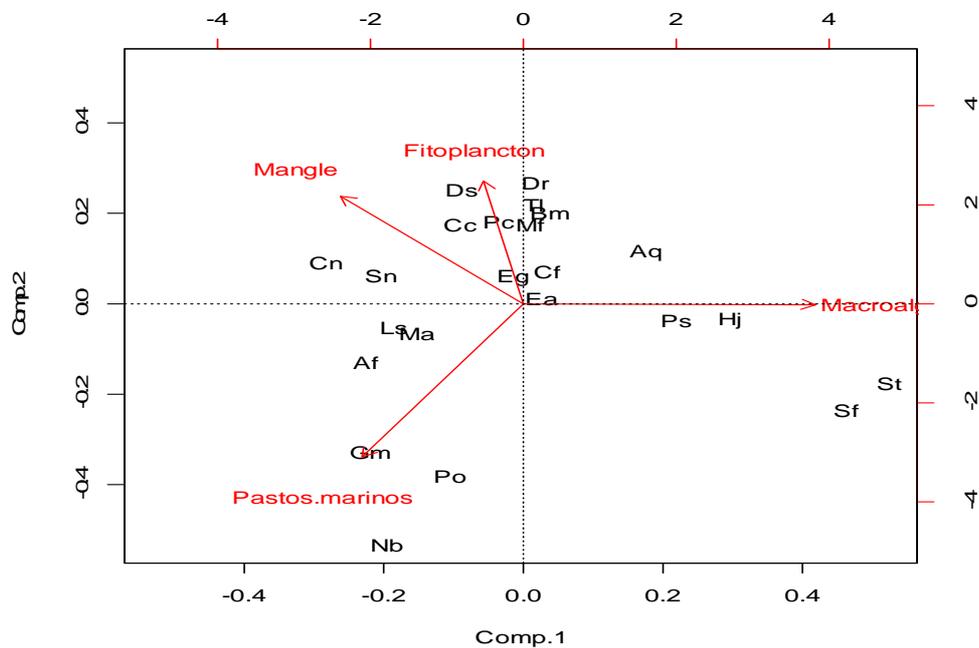


Anexo 20. Contribución de los productores primarios a la ictiofauna en la temporada de secas en Laguna de Términos, Campeche.

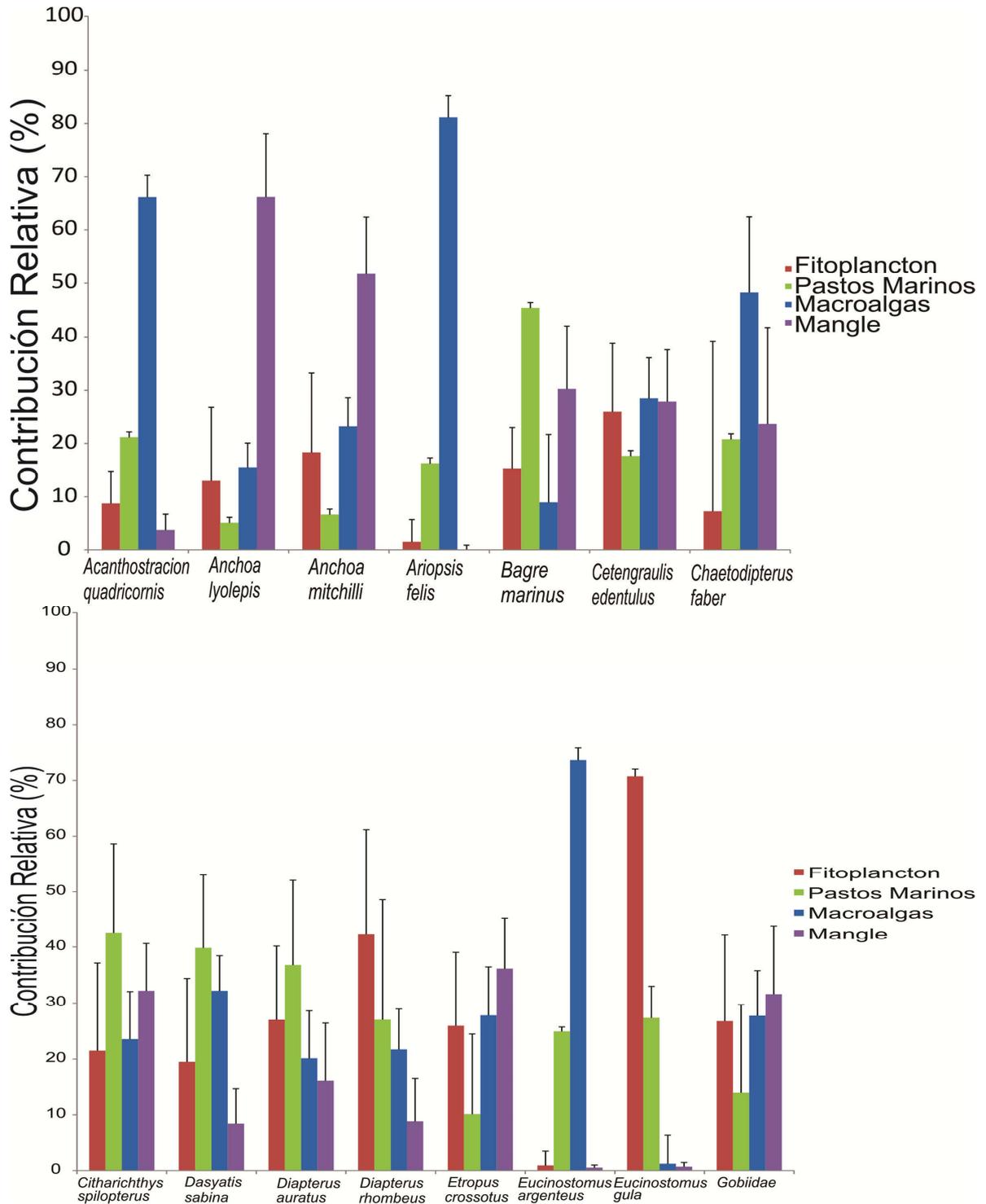


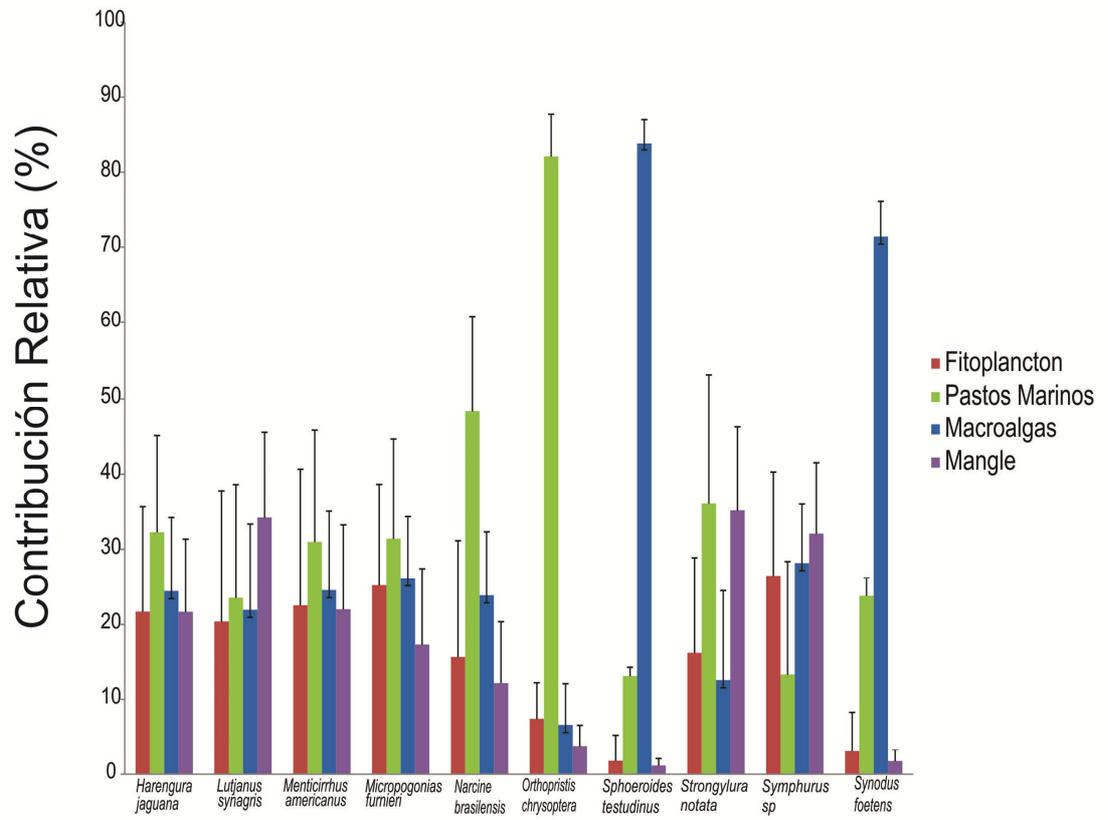


Anexo 21. Análisis de componentes principales de las contribuciones de los productores primarios a la ictiofauna en Laguna de Términos, Campeche en la temporada de secas 2011. Nombres de las especies: Aq: *Acanthostracion quadricornis*, Af: *Ariopsis felis*, Bm: *Bagre marinus*, Cf: *Chaetodipterus faber*, Cc: *Chloroscombrus chrysurus*, Cn: *Cynoscion nebulosus*, Ds: *Dasyatis sabina*, Dr: *Diapterus rhombeus*, Ea: *Eucinostomus argenteus*, Eg: *Eucinostomus gula*, Gm: *Gymnura micrura*, Hj: *Harengula jaguana*, Ls: *Lutjanus synagris*, Ma: *Menticirrhus americanus*, Mf: *Micropogonias furnieri*, Nb: *Narcine brasilensis*, Pc: *Prionotus carolinus*, Po: *Polydactylus octonemus*, Ps: *Prionotus scitulus*, St: *Sphoeroides testudineus*, Sn: *Strongylura notata*, Sf: *Synodus foetens*, Tl: *Trichiurus lepturus*.



Anexo 22. Contribución de los productores primarios a la ictiofauna en la época de lluvias en Laguna de Términos, Campeche.





Anexo 23. Análisis de componentes principales de las contribuciones de los productores primarios a la ictiofauna en Laguna de Términos, Campeche en la temporada de lluvias 2011. Nombres de las especies: Aq: *Acanthostracion quadricornis*, Al: *Anchoa lyolepis*, Am: *Anchoa mitchilli*, Af: *Ariopsis felis*, Bm: *Bagre marinus*, Ce: *Cetengraulis edentulus*, Cf: *Chaetodipterus faber*, Cs: *Citharichthys spilopterus*, Ds: *Dasyatis sabina*, Da: *Diapterus auratus*, Dr: *Diapterus rhombeus*, Ec: *Etropus crossotus*, Ea: *Eucinostomus argenteus*, Eg: *Eucinostomus gula*, G: Gobiidae, Hj: *Harengula jaguana*, Ls: *Lutjanus synagris*, Ma: *Menticirrhus americanus*, Mf: *Micropogonias furnieri*, Nb: *Narcine brasiliensis*, Oc: *Orthopristis chrysoptera*, St: *Sphoeroides testudineus*, Sn: *Strongylura notata*, S: *Symphurus sp*, Sf: *Synodus foetens*.

