



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA

**SEÑALES ISOTÓPICAS ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{34}\text{S}$ ) DE LA FAUNA DEMERSAL  
ASOCIADA A LA PLATAFORMA CONTINENTAL EN EL NW DEL GOLFO DE  
MÉXICO**

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRA EN CIENCIAS  
(BIOLOGÍA MARINA)

**PRESENTA:**  
BIÓL. MARIANA TAPIA DOMÍNGUEZ

**TUTOR PRINCIPAL**  
DR. LUIS ARTURO SOTO GONZÁLEZ (ICMYL)

**COMITÉ TUTOR**  
DR. ALFONSO VÁZQUEZ BOTELLO (ICMYL)  
DR. MARTÍN SOTO JIMÉNEZ (ICMYL-MAZATLÁN)  
DRA. GUADALUPE PONCE VÉLEZ (ICMYL)  
DR. MARTÍN ENRIQUE JARA MARINI (CIAD-HERMOSILLO)

CIUDAD DE MÉXICO, FEBRERO 2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



*Posgrado en  
Ciencias del Mar  
y Limnología*



## **Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología**

Universidad Nacional Autónoma de México

Señales isotópicas ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{34}\text{S}$ ) de la fauna demersal asociada a la plataforma continental en el NW del Golfo de México

# **T E S I S**

que para obtener el grado académico de:

**Maestra en Ciencias**

(Biología Marina)

p r e s e n t a

**Biól. Mariana Tapia Domínguez**

Director de Tesis: Dr. Luis Arturo Soto González (ICMyL)

Comité Tutorial: Dr. Alfonso Vázquez Botello (ICMyL)  
Dr. Martín Soto Jiménez (ICMyL-Mazatlán)  
Dra. Guadalupe Ponce Vélez (ICMyL)  
Dr. Martín Enrique Jara Marini (CIAD-Hermosillo)

Ciudad de México, febrero de 2017.

## DEDICATORIA

A mis padres, María Elena y Héctor, por su amor, apoyo, comprensión  
y paciencia.

A mis hermanos, Rodrigo y Daniela.

A todos los integrantes de mi familia, porque sin cada uno de ustedes  
este logro difícilmente hubiera sido posible.

A Guadalupe y Hermelinda.

A Nala y Ozzie.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por seguir siendo una pieza fundamental en mi desarrollo académico y personal. Especialmente al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología y al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, por brindarme un espacio en sus instalaciones, por el apoyo y las facilidades otorgadas en la realización de este trabajo.

A mis padres, María Elena y Héctor, y a mis hermanos Rorro y Dani, porque han sido el sostén y mi inspiración necesarios para culminar esta nueva etapa de mi formación profesional y personal.

A mi director de tesis el Dr. Luis A. Soto González, por el apoyo brindado en mi formación académica, por confiar en mí al aceptarme como alumna y por darme la oportunidad de trabajar con un tema desconocido para mí y aun así creer en que podría llegar a realizar un buen trabajo.

A los miembros de mi comité tutorial: Dr. Alfonso Vázquez Botello, Dr. Martín Soto Jiménez, Dra. Guadalupe Ponce Vélez y Dr. Martín Enrique Jara Marini, por el tiempo dedicado, por sus valiosos consejos y observaciones realizadas a este manuscrito.

Al Biól. Carlos M. Illescas Monterroso, técnico del Laboratorio de Ecología del Bentos, por su apoyo y amistad durante la realización de este trabajo.

Al Dr. Alfonso Vázquez Botello y al Laboratorio de Contaminación Marina, por el espacio brindado para el procesamiento de las muestras analizadas en este estudio. Particularmente agradezco a la Dra. Guadalupe Ponce y a la M. en C. Claudia, por su ayuda y consejos durante mi trabajo en el laboratorio.

A la M. en C. Diana Salcedo, por su apoyo, consejos e interés en la parte académica de mi formación, así como por toda su ayuda en la revisión de este manuscrito, pero más importante aún por su amistad y palabras de aliento sobre todo en la parte más difícil de este trabajo.

Al Dr. Alejandro Estradas, por su apoyo, consejos y paciencia desde el comienzo de este proyecto. Sobre todo por su amistad.

A la M. en C. Diana Ramírez, por su amistad y apoyo desde mi llegada al laboratorio.

A Alfredo, Daniel, Karina, Ruth y Rocío, compañeros del Laboratorio de Ecología del Bentos, por su amistad y buenos momentos.

A la Dra. Andrea Raz-Guzman, por ayudarme a resolver mis dudas sobre isotopía.

Al Dr. Noé Salgado, por su invaluable contribución a este trabajo, pero sobre todo por seguir siendo un gran amigo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por la beca otorgada para la realización de mis estudios de Maestría.

# ÍNDICE

RESUMEN .....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	2
2. HIPÓTESIS .....	5
3. OBJETIVOS	
3.1 GENERAL.....	5
3.2 PARTICULARES .....	5
4. ÁREA DE ESTUDIO.....	6
5. MATERIALES Y MÉTODOS	
5.1 OBTENCIÓN Y PROCESAMIENTO DE MUESTRAS .....	9
5.2 ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES.....	9
5.3 ANÁLISIS DE DATOS.....	11
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
6.1 COMPOSICIÓN ISOTÓPICA.....	12
6.2 RELACIONES TRÓFICAS .....	24
7. CONCLUSIONES.....	35
8. LITERATURA CITADA.....	36

## RESUMEN

En este trabajo se realizaron determinaciones isotópicas de carbono, nitrógeno y azufre en el tejido muscular de 14 de especies comunes de organismos demersales (moluscos, camarones y peces) recolectados en la plataforma continental del NW del Golfo de México en dos temporadas de muestreo: verano 2010 e invierno 2012. El promedio del  $\delta^{13}\text{C}$  de cada especie varió de -19.0 a -16.9‰ durante el verano y de -18.4 a -16.7‰ en el invierno. Los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  variaron de 10.1 a 13.4‰ en verano y de 10.0 a 13.2‰ en invierno. Los valores del  $\delta^{34}\text{S}$  registrados para cinco especies seleccionadas (*Farfantepenaeus aztecus*, *Sicyonia brevirostris*, *Squilla empusa*, *Raja texana* y *Cyclopsetta chittendeni*) variaron de 14.5 a 16.8‰ durante el verano y de 14.8 a 17.3‰ en el invierno, mostrando el enriquecimiento típico de los organismos bénticos. Las especies con los valores más altos de posición trófica fueron *Synodus foetens* (verano) y *Diplectrum bivittatum* (invierno). La información isotópica obtenida de las especies analizadas mostró aspectos distintivos de las tramas tróficas en plataformas continentales costeras, particularmente del componente demersal indicando un alto grado de acoplamiento entre los componentes béntico y pelágico.

## 1. INTRODUCCIÓN

El ambiente de la plataforma continental es un sistema subsidiado por la aportación de material orgánico, nutrientes de origen epicontinental, producción primaria y secundaria pelágica (generada en la zona eufótica) y por la vegetación acuática o por las algas bénticas (Peterson, 1999; Soto *et al.*, 2004; Le Lo'ch *et al.*, 2008). En este sistema, las conexiones entre los procesos ecológicos en la columna de agua y el fondo marino son conocidos como acoplamiento bento-pelágico (ABP) (Le Lo'ch *et al.*, 2008; Valls *et al.*, 2014).

Un requerimiento fundamental para entender el flujo de energía en las tramas tróficas bénticas, desde la producción primaria hasta los consumidores de los niveles más altos, es el conocimiento de las relaciones tróficas entre los organismos, así como el origen y el tipo de alimento que consumen (Le Lo'ch *et al.*, 2008; Valls *et al.*, 2014). Además, el conocimiento preciso de la transferencia de materiales y nutrientes (incluyendo contaminantes) dentro de un ecosistema es útil para la predicción de cambios ocasionados por fenómenos naturales y antrópicos, así como para el desarrollo de modelos ecológicos que permitan el manejo sustentable de los ecosistemas (Mazumder, 2013).

El análisis de isótopos estables (AIE) facilita dilucidar el grado de acoplamiento entre los consumidores bénticos y la producción primaria pelágica, así como las relaciones funcionales entre los diferentes eslabones que componen a las tramas tróficas y la transferencia de energía a través de los ecosistemas (Soto, 2009; Valls *et al.*, 2014).

Los isótopos estables más usados para este tipo de estudios son los de carbono ( $\delta^{13}\text{C}$ ) y nitrógeno ( $\delta^{15}\text{N}$ ), ya que son indicadores del nivel trófico de las especies y de las fuentes de producción que sustentan al ecosistema (Post, 2002; Papiol *et al.*, 2013; Valls *et al.*, 2014).

El análisis del  $\delta^{13}\text{C}$  es ampliamente utilizado como indicador del origen y de las rutas de la materia orgánica dentro de las tramas tróficas (Le Lo'ch *et al.*, 2008).

La determinación del valor de la proporción isotópica en el tejido de un consumidor refleja la composición de su dieta, asumiendo un fraccionamiento del 1‰ o menos por nivel trófico en los sistemas oceánicos (Peterson, 1999; Fry, 2006; Michener y Lajtha, 2007; Papiol *et al.*, 2013).

Por otra parte, los valores del  $\delta^{15}\text{N}$  han sido utilizados como indicadores del nivel que los organismos ocupan dentro de una trama trófica. La proporción del isótopo de nitrógeno en los consumidores se incrementa 3.4 ‰ con respecto al  $\delta^{15}\text{N}$  de la presa; por lo tanto, los valores más altos de  $\delta^{15}\text{N}$  corresponden a los carnívoros tope, mientras que los más bajos corresponden a los consumidores primarios, cuya dieta depende de los organismos autótrofos (Peterson, 1999; Fry, 2006; Michener y Lajtha, 2007).

Los valores del  $\delta^{34}\text{S}$  han sido utilizados en la discriminación de las fuentes de producción primaria en estuarios y marismas (Kiyashko *et al.*, 2011; Lebreton *et al.*, 2016). En ecosistemas marinos se ha observado que este elemento presenta un fraccionamiento muy pequeño de entre 0.5 y 2‰ durante su asimilación por los organismos, dependiendo el tipo de su dieta (McCutchan *et al.*, 2003; Barnes y Jennings, 2007; Croisetière *et al.*, 2009).

El Golfo de México (GoM) es uno de los ecosistemas más relevantes y dinámicos del planeta, no solo por sus características físicas, químicas y geológicas, sino también por los valiosos recursos bióticos que en él habitan. Gracias a estas características posee gran importancia desde los puntos de vista social, político, económico y científico (Yañez-Arancibia y Day, 2004; Soto y Botello, 2013). Además, se encuentra expuesto a distintas perturbaciones tales como: la sobrepesca, la explotación de hidrocarburos fósiles y el cambio en las interacciones tierra-océano debido al impacto antropogénico.

Diversos autores han realizado estudios de isótopos estables en el GoM, tanto en ambientes costeros como en ambientes oceánicos y de mar profundo. En el norte del GoM, los estudios de isotopía realizados se han enfocado principalmente en describir aspectos relacionados con la interacción entre las comunidades

bentónicas y las Emanaciones Naturales de Hidrocarburos Fósiles (ENHF) (Wade *et al.*, 1989; MacAvoy *et al.*, 2005; MacAvoy *et al.*, 2008; Demopoulos *et al.*, 2010; Becker *et al.*, 2013); en el suroeste del golfo, análisis similares fueron realizados por Sánchez-García (2003). Otros estudios llevados a cabo en sistemas estuarinos y marinos, tanto en la zona costera como la oceánica, han incluido aspectos sobre el flujo de C, la estructura trófica, las diferencias regionales de las composiciones isotópicas tanto de C y N así como aspectos de incorporación de contaminantes en las tramas tróficas (Fry, 1983; 2011; Fry *et al.*; 1982; Fry y Chumchal, 2011; Macko *et al.*, 1984; Raz-Guzman y de la Lanza-Espino, 1991, 1993; Soto y Escobar, 1995; Dorado *et al.*, 2012; Zetina-Rejón *et al.*, 2012; Radabaugh, *et al.*, 2013; Romo-Ríos, 2013; Quintana-Rizzo *et al.*, 2015; Wilson *et al.*, 2015).

Dadas estas características es que resulta relevante realizar estudios que ayuden a comprender el funcionamiento de los ecosistemas y sirvan de línea base para estudios futuros en los que se puedan observar cambios a largo plazo en el sistema, y poder determinar si son originados por las presiones antropogénicas o se deben a la variabilidad estacional de la zona de estudio.

## 2. HIPÓTESIS

El NW del Golfo de México es un sistema altamente dinámico, por lo que se presume que las fuentes de C asimiladas por la fauna demersal mostrarán señales isotópicas tanto de origen terrestre, por el aporte de los sistemas fluviales y lagunares vecinos, como de origen marino gracias a los procesos de circulación característicos de la zona.

## 3. OBJETIVOS

### 3.1 GENERAL

Caracterizar el origen de la materia orgánica asimilada por los organismos y la posición trófica de los organismos demersales en el NW del GoM a través del análisis de isotopía estable ( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{34}\text{S}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ ).

### 3.2 PARTICULARES

- Identificar los valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{34}\text{S}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  del tejido muscular de crustáceos, moluscos y peces demersales.
- Identificar las fuentes de carbono orgánico ( $C_{\text{org}}$ ) disponibles para los organismos de acuerdo con los valores obtenidos de  $\delta^{13}\text{C}$ .
- Determinar la posición trófica a la que pertenecen los organismos con base en los valores de  $\delta^{15}\text{N}$ .
- Describir la estructura general de la trama trófica en el área de estudio.

#### 4. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende la plataforma continental del sector noroeste del GoM entre los 22-26°N y los 95-97°W, desde los límites del Río Bravo en Tamaulipas hasta la costa norte de Veracruz (Fig. 1). Comprende una superficie aproximada de 10,000 km<sup>2</sup>, y se encuentra influenciada por las lagunas Madre y Tamiahua, y por los ríos Grande, Soto La Marina y Pánuco.

La circulación en este sector del GoM se encuentra fuertemente influenciada por giros ciclónicos y anticiclónicos derivados de la Corriente de Lazo, los cuales interactúan con el talud y la plataforma continental externa (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003; Soto y Botello, 2013). Además, la circulación estacional se encuentra afectada por los vientos que tienen una fuerte componente estacional, generando corrientes estacionales hacia el norte durante el verano, en donde la columna de agua se estratifica, y hacia el sur durante el otoño e invierno, en donde la columna de agua se mezcla debido a los fuertes vientos provenientes del norte (conocidos como “Nortes”) (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003; Zavala-Hidalgo *et al.*, 2006; Galván-Bazán, 2014). En cuanto a valores de clorofila a (Chl-a) durante el verano (2010) se han registrado valores promedio de 0.29 ±0.31 µg/l y de 0.17 ±0.08 µg/l en invierno (2012), siendo estos valores correspondientes a condiciones oligotróficas (Merino *et al.*, 2011; 2014).

La plataforma continental en esta zona posee una extensión máxima de 50 km al norte de Tamaulipas y progresivamente se estrecha hasta los 10 km cerca de Cabo Rojo en Veracruz (plataforma TAVE) (Escobar y Soto, 1997). Los sedimentos se encuentran dominados por lodos terrígenos hacia la plataforma media y externa debido al aporte de los ríos presentes en la región, en tanto que en la zona costera (plataforma interna) se ha registrado la presencia de sedimentos arenosos (Botello *et al.*, 2011).

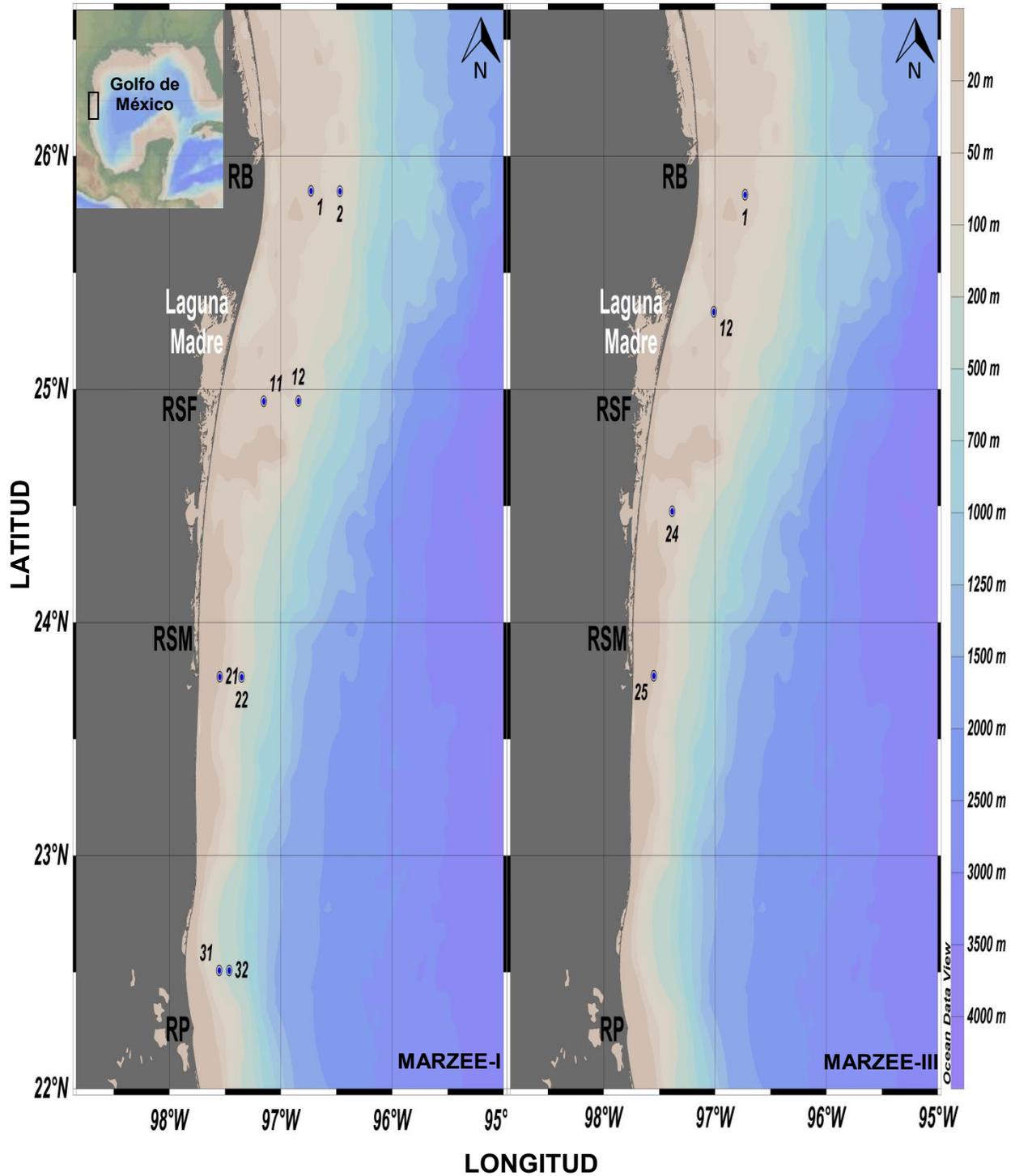
En cuanto a los valores de C inorgánico en sedimentos ( $C_{inorg}$ ) en el área de estudio, Botello *et al.* (2011) registraron valores de 0.56% a 2.88% en verano (2010), mientras que Botello *et al.* (2014) registraron valores de 0.35 a 3.05% en

invierno (2011); en ambas temporadas los valores mínimos se observaron cerca de la costa, y aumentaron gradualmente hacia la zona oceánica. Para la materia orgánica sedimentaria se registraron valores de 0.33 a 2.3% en verano (2010) y de 1.34 a 2.61% durante el invierno (2012). En cuanto al C orgánico, se registraron valores de 0.19 a 1.34% en el verano (2010) y de 0.78 a 1.52% en invierno (2012); ambas variables presentaron una distribución espacial similar, los valores más altos se registraron en la zona costera y fueron decreciendo hacia las áreas más profundas.

La señal isotópica del carbono depositado en los sedimentos superficiales registrado en esta zona presentó un intervalo de -21.6 a -20.5‰ (en verano 2010), los valores más empobrecidos se registraron cerca de la costa y los valores más enriquecidos se localizaron hacia las áreas más profundas (Botello *et al.*, 2011; Botello *et al.* 2014).

Para el nitrógeno isotópico registrado en sedimentos Botello *et al.* (2011) determinaron un intervalo de 2.75 a 5.53‰ siendo la zona costera en la que se presentaron los valores más altos, gracias al aporte de materia orgánica vegetal proveniente de los sistemas lagunares costeros en la región.

En tanto a valores del  $\delta^{34}\text{S}$  el GoM se han registrado valores de -23.4 y -24.5‰ del sulfuro presente en sedimentos y valores de 15.9 y 17.4‰ en agua intersticial en el estuario de Redfish en Texas (Fry *et al.*, 1982); a su vez en la zona de la plataforma de Luisiana Rosenbauer *et al.* (2009) han registrado valores del  $\delta^{34}\text{S}$  total en sedimentos superficiales con un intervalo de -6.54 a 16.46‰. Lebreton *et al.* (2016) en el estuario de Mission-Aransas en las costas de Texas, en el 2011, registraron valores  $\delta^{34}\text{S}$  de materia orgánica particulada suspendida (MOPS) en un intervalo de 3.3 a 9.6‰, así como de materia orgánica de distintos productores primarios: plantas C-3 (intervalo de 7.1 a 18.4‰), plantas C-4 (intervalo de -5.8 a 7.1‰) y microfitobentos (intervalo de 4.1 a 11.8‰).



**Figura 1.** Área de estudio y puntos de muestreo (círculos en azul) para fauna en las campañas oceanográficas MARZEE-I y MARZEE-III. Se indican los ríos más importantes de la zona: Río Bravo (RB), Río San Fernando (RSF), Río Soto la Marina (RSM) y Río Pánuco (RP); así como la Laguna Madre.

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1 OBTENCIÓN Y PROCESAMIENTO DE MUESTRAS**

Las muestras biológicas (organismos demersales) fueron recolectadas durante las campañas oceanográficas “MARZEE-I” en verano (julio de 2010) y “MARZEE-III” en invierno (octubre-noviembre de 2012), en ocho y cuatro estaciones respectivamente (Fig. 1), realizadas a bordo del buque oceanográfico “Justo Sierra” de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

La fauna demersal fue recolectada utilizando una red de arrastre camaronera de 12 m de largo con una abertura de malla de 4.5 cm. Los arrastres realizados tuvieron una duración aproximada de 30 minutos a una velocidad promedio de tres nudos en la plataforma continental de las costas de Tamaulipas y del Norte de Veracruz a profundidades de 50 y 100 m. Todos los ejemplares se mantuvieron almacenados a -4°C hasta su posterior análisis en el laboratorio.

En el laboratorio, los organismos fueron identificados a nivel de especie, contados, medidos y pesados. Se recolectaron un total de 13 especies (109 organismos) durante la campaña MARZEE-I, y 17 especies (187 organismos) en la campaña MARZEE-III.

Posteriormente se realizaron disecciones para obtener el tejido muscular en peces; el abdomen en crustáceos y el manto en los cefalópodos. Los tejidos fueron colocados en una estufa a 60°C durante 72 h para su desecación, una vez secas las muestras fueron molidas utilizando un mortero y pistilo.

### **5.2 ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES**

Para el análisis de isótopos estables se seleccionaron diez especies de la campaña MARZEE-I y ocho especies de la campaña MARZEE-III para los análisis de carbono y nitrógeno; en tanto para el análisis de azufre isotópico sólo se realizó en cuatro especies (20 individuos) de la temporada de verano y tres especies (17 individuos) de la temporada de invierno (ver Tabla 1). La elección de las especies para este análisis se realizó con el objetivo de representar a los componentes más

conspicuos de la trama trófica demersal en el área de estudio. Para esto se incluyeron aquellas especies que en base a su captura presentaron altas abundancias y/o frecuencias, así como algunas especies objetivo tales como las especies pelágicas: *Loligo pealeii*, *Harengula jaguana* y *Trachurus lathami*.

Se realizó una extracción de lípidos para el tejido de peces siguiendo la metodología de Logan *et al.* (2008). Se colocó aproximadamente 1 g de muestra seca y molida en tubos para centrifuga, se agregaron de 3 a 5 ml de una solución 2:1 de cloroformo:metanol, se mezclaron por 30 segundos y se dejaron reposar aproximadamente por una hora. Posteriormente, las muestras fueron centrifugadas por 10 minutos a 3200 rpm, se desechó el sobrenadante y el proceso se repitió hasta que éste fuera incoloro. Una vez realizada la extracción las muestras fueron secadas a 60°C durante 24 h y se molieron nuevamente con ayuda de un mortero de ágata, para asegurar la homogeneidad del tamaño de partícula.

De las muestras de tejido pulverizado obtenidas, aproximadamente 50 mg de cada una de ellas fueron enviadas al Laboratorio de Isótopos Estables, de la Universidad de Utah, para ser analizadas con un espectrómetro de masas (Finnigan-MAT Delta S; Bremen, Germany).

Los valores de  $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$  y  $^{34}\text{S}$  fueron referidos a los estándares internacionales: Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB), nitrógeno atmosférico y troilita del meteorito del Cañón del Diablo (CDT), respectivamente, usando la notación  $\delta$  expresada como partes por mil (‰) de acuerdo a la siguiente fórmula (Michener y Lajtha, 2007):

$$\delta X = [(R_{\text{muestra}}/R_{\text{estándar}}) - 1] \times 1000 \quad \text{ec. 1}$$

Donde:

$$X = ^{13}\text{C} \text{ ó } ^{15}\text{N} \text{ ó } ^{34}\text{S}$$

$$R = ^{13}\text{C}/^{12}\text{C} \text{ ó } ^{15}\text{N}/^{14}\text{N} \text{ ó } ^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$$

### 5.3 ANÁLISIS DE DATOS

Una vez obtenidos los resultados de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{34}\text{S}$  se calcularon las medias y desviaciones estándar por especie. Con estos resultados se representó en un gráfico los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  vs  $\delta^{15}\text{N}$  y de los del  $\delta^{13}\text{C}$  vs  $\delta^{34}\text{S}$  para cada temporada de muestreo. Con el fin de identificar la formación de grupos tróficos se aplicó un análisis clúster a partir de una matriz de similitud con los valores de C y N, utilizando el coeficiente de Bray-Curtis (Mazumder *et al.*, 2011).

La posición trófica (PT) de cada especie se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación (Post, 2002):

$$PT = \lambda + [(\delta^{15}\text{N}_{\text{Consumidor secundario}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{base}}) / \Delta\delta^{15}\text{N}] \quad \text{ec. 2}$$

Donde:

$\delta^{15}\text{N}_{\text{Consumidor secundario}}$  = valor de  $\delta^{15}\text{N}$  del depredador

$\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$  = valor de  $\delta^{15}\text{N}$  de una especie base, **Zooplankton** = 4.9‰ (verano) y 5.9‰ (invierno) (Carreón-Palau *et al.*, 2013)

$\lambda$  = posición trófica de la especie base, **Zooplankton** = 2

$\Delta\delta^{15}\text{N}$  = valor del fraccionamiento trófico del  $\delta^{15}\text{N}$ , estimado en 3.4‰ (Post, 2002)

Asimismo se realizó el cálculo de la dependencia de presas de afinidad béntica (RBAP por sus siglas en inglés), utilizando los valores del  $\delta^{13}\text{C}$  como indicadores del origen del alimento asimilado por los organismos, de acuerdo a las siguientes ecuaciones (Le'Loch *et al.*, 2008):

$$RBAP = \frac{[X + (\delta^{13}\text{C}_{\text{Consumidor II}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{Consumidor I especie afinidad pelágica}})]}{(\delta^{13}\text{C}_{\text{Consumidor I especie afinidad béntica}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{Consumidor I especie afinidad pelágica}}) \times 100} \quad \text{ec. 3}$$

$$X = - (PT_{\text{Consumidor II}} - PT_{\text{Consumidor I especie afinidad béntica}}) \times 1 \quad \text{ec. 4}$$

Donde:

$\delta^{13}\text{C}_{\text{Consumidor II}}$  = valor de  $\delta^{13}\text{C}$  del consumidor

$\delta^{13}\text{C}_{\text{Consumidor I especie base de afinidad pélagica/béntica}}$  = valor de  $\delta^{13}\text{C}$  de una especie base, **Zooplankton** = 4.9‰ (Carreón-Palau *et al.*, 2013) y **Mercenaria campechiensis** = (Moncreiff y Sullivan, 2001)

$PT_{\text{Consumidor II}}$  = posición trófica del consumidor

$PT_{\text{Consumidor I especie afinidad béntica}}$  = posición trófica de la especie base con afinidad béntica, **M. campechiensis** = 18.5 ‰

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 COMPOSICIÓN ISOTÓPICA

Se analizó un total de 37 muestras de tejido correspondientes a una especie de molusco pelágico, tres especies de crustáceos (Decapoda y Stomatopoda) y 10 especies de peces capturados durante el verano del 2010 y el invierno de 2012 en la plataforma continental interna y media de Tamaulipas en el NW del GoM.

Durante el verano, los valores del  $\delta^{13}\text{C}$  mostraron un intervalo de -19.0 y -16.9‰, con una diferencia en la composición isotópica de 2.1‰, mientras que en invierno oscilaron entre -18.4 y -16.7‰, con una diferencia en la composición isotópica de 1.7‰. Siendo la ictiofauna la que mostró la mayor variabilidad estacional en la señal de carbono. *T. lathami* (verano) y *Porichthys plectrodon* (invierno) fueron las especies con los valores más empobrecidos; mientras que *Synodus foetens* (verano) y *Diplectrum bivittatum* (invierno) fueron las especies con los valores más enriquecidos (Tabla 1).

Los valores de  $\delta^{15}\text{N}$  mostraron un intervalo de 10.1 a 13.4‰ durante el verano, con una diferencia en la composición isotópica de 3.3‰, y de 10.0 a 13.2‰ en el invierno con una diferencia en la composición isotópica de 3.2‰. *Farfantepenaeus aztecus* (verano) y *P. plectrodon* (invierno) fueron las especies con los valores más empobrecidos; *S. foetens* (verano) y *D. bivittatum* (invierno) fueron las especies con los valores más enriquecidos (Tabla 1).

Las fuentes potenciales que conforman a la materia orgánica particulada que asimilan los organismos mediante su ingesta en los sistemas costeros incluyen: 1) aportaciones alóctonas (materia orgánica particulada proveniente de ríos o de detrito procedente de los humedales costeros cercanos) y 2) fuentes autóctonas, tanto de la producción pelágica (fito y zooplancton) como béntica (microfitobentos).

El promedio de las firmas isotópicas del  $\delta^{13}\text{C}$  de las plantas terrestres C-3 y C-4 es de -27‰ (con un intervalo de -33 a -20‰) y de -13‰ (con un intervalo de -17 a -9‰), respectivamente (Radabaugh *et al.*, 2013). Por otro lado, el valor del

fitoplancton marino posee un intervalo de -20.3 a -19.2‰ (Carreón-Palau *et al.*, 2013). Para esta zona del GoM Botello *et al.* (2011) observaron un valor promedio de -21.1‰ de  $\delta^{13}\text{C}$  en sedimentos, por lo que estos autores sugieren que la materia orgánica presente en esta área es de origen tanto terrestre como marino debido a que en la zona costera de esta región del GoM se presentan aportes importantes de materia orgánica de origen terrestre acarreados por los ríos y sistemas lagunares cercanos.

En cuanto a los valores de fitoplancton marino en la parte suroeste del GoM Carreón-Palau *et al.* (2013) han determinado valores del  $\delta^{15}\text{N}$  de 5.1 a 5.5‰, pero las variaciones en el  $\delta^{15}\text{N}$  pueden estar relacionadas con la localización de las áreas de estudio, ya sea por la influencia de ríos cercanos (Quintana-Rizzo *et al.*, 2015), cambios en la composición fitoplanctónica y sus distintas tasas de fijación diferencial del nitrógeno atmosférico (por ejemplo el aumento en la abundancia de organismos diazotrófos) (Dorado *et al.*, 2012; Zetina-Rejón *et al.*, 2012), al desecho de aguas residuales las cuales pueden presentar  $\delta^{15}\text{N}$  empobrecidos (debido al uso de fertilizantes sintéticos, los cuales poseen valores de  $\delta^{15}\text{N}$  de -8 a 7‰) o enriquecidos (gracias a los procesos microbianos llevados a cabo en las plantas de tratamiento, con valores de  $\delta^{15}\text{N}$  aproximados de 10 a 22‰) en comparación con el agua de mar (Leakey *et al.*, 2008; Mazumder, 2013).

Como se mencionó anteriormente, otra posible fuente disponible de nutrientes para los organismos en la plataforma continental, particularmente para los organismos bénticos y demersales, es la producción por parte del fitobentos marino. Para este importante componente del ecosistema marino, Grippo *et al.* (2011) registraron valores de  $\delta^{13}\text{C}$  de -18.7 a -15.9‰ y de  $\delta^{15}\text{N}$  de 6.2 a 7.2‰ en la plataforma continental de Luisiana. Estos autores resaltaron la importancia de esta fuente de alimento para la macroinfauna y su posterior incorporación en niveles más altos de la trama trófica

**Tabla 1.** Valores promedio ( $\pm$ desviación estándar) de los  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{34}\text{S}$  para las 14 especies de moluscos, crustáceos y peces en la zona de estudio.

Familia	Especie	Nombre común	Hábitat	Gremio trófico	2010			2012				
					n	$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$ (‰)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$ (‰)	n	$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}}$ (‰)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$ (‰)
Loliginidae	<i>Loligo pealeii</i>	Calamar de aletas largas	Pelágico	Ictio-invertívoro	4	-18.7 ( $\pm 0.33$ )	12.0 ( $\pm 1.53$ )	–	–	–	–	
Penaeidae	<i>Farfantepenaeus aztecus</i>	Camarón café	Béntico	Omnívoro	4	-17.5 ( $\pm 0.54$ )	10.1 ( $\pm 1.39$ )	14.6 ( $\pm 2.19$ )	3	-17.4 ( $\pm 0.22$ )	11.5 ( $\pm 0.47$ )	14.8 ( $\pm 0.61$ )
Sicyoniidae	<i>Sicyonia brevirostris</i>	Camarón piedra	Béntico	Ictio-invertívoro	2	-17.9 ( $\pm 0.29$ )	10.7 ( $\pm 0.02$ )	16.8 ( $\pm 0.93$ )	–	–	–	–
Squillidae	<i>Squilla empusa</i>	Camarón mantis	Béntico	Ictio-invertívoro	1	-17.5	12.2	13.7	–	–	–	–
Rajidae	<i>Raja texana</i>	Raya tigre	Béntico	Ictio-invertívoro	–	–	–	–	1	-17.2	10.9	17.3
Clupeidae	<i>Harengula jaguana</i>	Sardina escamuda	Pelágico	Zooplanctívoro	1	-17.9	11.4	–	–	–	–	–
Synodontidae	<i>Synodus foetens</i>	Chile	Demersal	Ictio-invertívoro	2	-16.9 ( $\pm 0.09$ )	13.4 ( $\pm 1.54$ )	–	2	-17.3 ( $\pm 0.02$ )	11.9 ( $\pm 0.45$ )	–
Batrachoididae	<i>Porichthys plectrodon</i>	Doradilla	Demersal	Ictio-invertívoro	–	–	–	–	1	-18.4	10.0	–
Triglidae	<i>Prionotus stearnsi</i>	Rubio pequeño	Demersal	Invertívoro	–	–	–	–	3	-17.4 ( $\pm 0.5$ )	11.9 ( $\pm 0.89$ )	–
Serranidae	<i>Diplectrum bivittatum</i>	Serrano guabino	Demersal	Ictio-invertívoro	–	–	–	–	1	-16.7	13.2	–
Carangidae	<i>Trachurus lathami</i>	Charrito garretón	Pelágico	Ictio-invertívoro	1	-19.0	12.5	–	–	–	–	–
Lutjanidae	<i>Pristipomoides aquilonaris</i>	Huachinango navaja	Demersal	Ictio-invertívoro	1	-17.9	12.4	–	–	–	–	–
Sparidae	<i>Stenotomus caprinus</i>	Sargo espinudo	Demersal	Ictio-invertívoro	1	-17.3	13.0	–	2	-17.0 ( $\pm 0.01$ )	11.7 ( $\pm 0.22$ )	–
Paralichthyidae	<i>Cyclopsetta chittendeni</i>	Lenguado mexicano	Béntico	Ictio-invertívoro	3	-17.0 ( $\pm 0.27$ )	12.4 ( $\pm 1.45$ )	14.5 ( $\pm 0.83$ )	4	-17.6 ( $\pm 0.41$ )	11.3 ( $\pm 1.02$ )	16.7 ( $\pm 4.04$ )
<b>Total</b>					<b>20</b>				<b>17</b>			

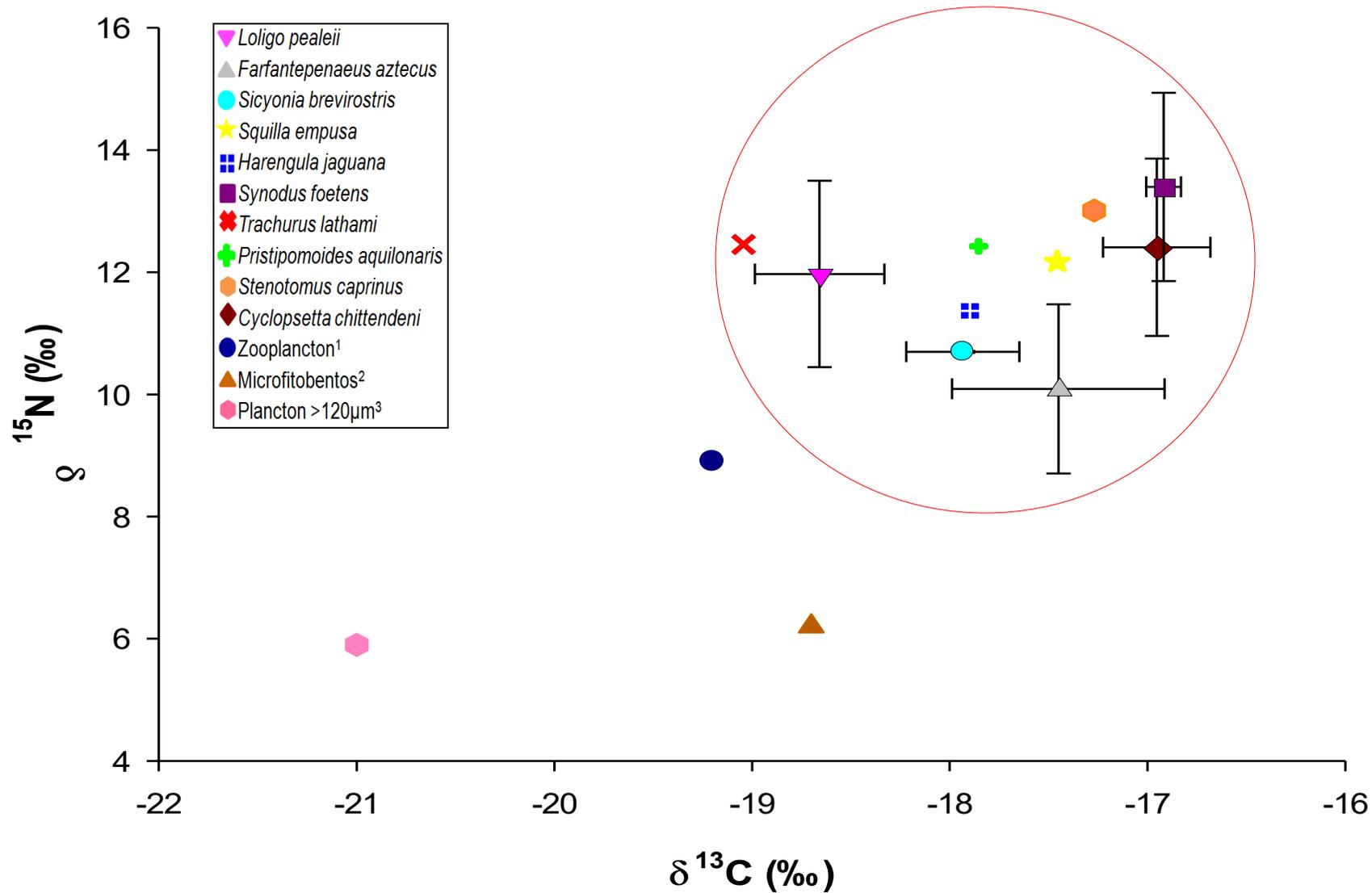
En las figuras 2 y 3 se pueden observar valores  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de referencia para zooplancton (Macko *et al.*, 1984), microfitobentos (Grippo *et al.*, 2011) y plancton ( $>120\mu\text{m}$ ) (Carreón-Palau *et al.*, 2013), así como los valores de los organismos registrados en este estudio. De acuerdo con estos valores se puede inferir que la fauna demersales posee una dieta de tipo mixto; es decir, incorporan a su dieta organismos tanto de los componentes bénticos como pelágicos, por lo cual su señal isotópica refleja que el origen de la materia orgánica que asimilan en sus tejidos puede ser tanto de origen terrestre como de marino.

El enriquecimiento regular del  $\delta^{13}\text{C}$  en los peces neríticos, desde los planctívoros a los bentívoros, es evidente debido al incremento de la contribución de la materia orgánica derivada de los productores bénticos que soportan las tramas tróficas costeras (Kiyashko *et al.*, 2011). Soto y Escobar (1995) en el SW del GoM registran que los valores más enriquecidos de  $\delta^{13}\text{C}$  en peces pueden ser atribuidos a la ingesta de macroinvertebrados bénticos. Este tipo de comportamiento se puede observar en las especies pelágicas analizadas en este estudio: *L. pealeii* y *T. lathami* ya que son las que poseen los  $\delta^{13}\text{C}$  más empobrecidos.

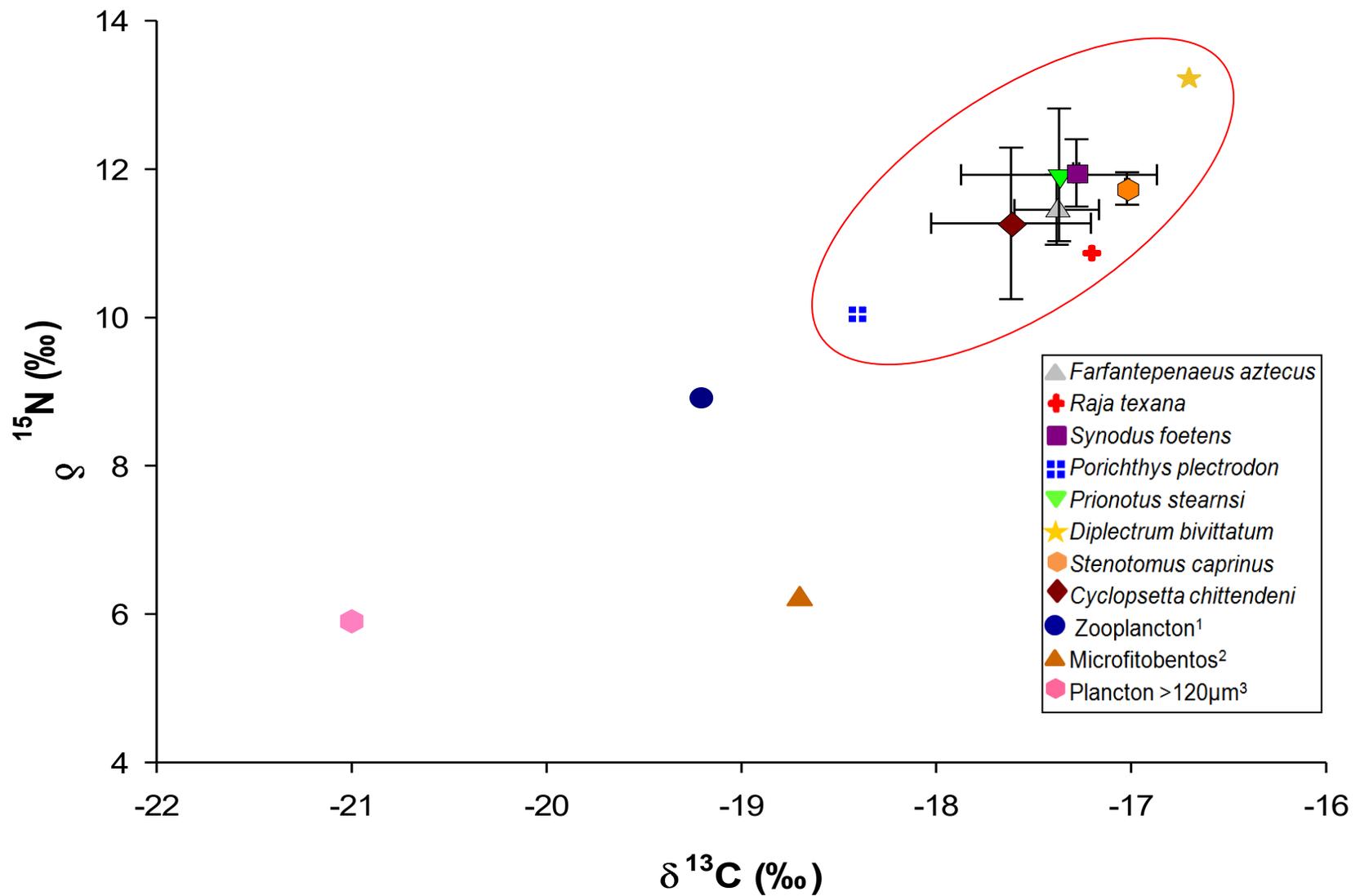
Los valores registrados en este estudio para la especie *F. aztecus* son similares a los promedios determinados por Moncreiff y Sullivan (2001) ( $\delta^{13}\text{C} = -17.7\text{‰}$  y  $\delta^{15}\text{N} = 11\text{‰}$ ) en la Sonda de Misisipi, y a los intervalos registrados por Soto y Escobar (1995) de  $-17.5$  a  $-15.9\text{‰}$   $\delta^{13}\text{C}$  y de  $7.8$  a  $9.2\text{‰}$   $\delta^{15}\text{N}$  en el SW del GoM.

Para la especie *Sicyonia brevirostris*, el  $\delta^{13}\text{C}$  se encuentra más empobrecido al valor promedio observado por Moncreiff y Sullivan (2001) para la Sonda de Misisipi ( $-16.4\text{‰}$ ), en tanto que los valores del  $\delta^{15}\text{N}$  son similares:  $10.7\text{‰}$  (este estudio) y de  $10.9\text{‰}$  (Moncreiff y Sullivan, 2001).

Para *Squilla empusa*, los valores registrados en este estudio se encuentran empobrecidos (ver Tabla 1) para ambos isótopos en comparación con los observados por Moncreiff y Sullivan (2001) ( $-16.9\text{‰}$  para  $\delta^{13}\text{C}$  y de  $13.1\text{‰}$  para  $\delta^{15}\text{N}$ ) en la Sonda de Misisipi.



**Figura 2.** Valores del  $\delta^{13}\text{C}$  versus  $\delta^{15}\text{N}$  de cada especie analizada en verano 2010 (en elipse roja) y de valores de referencia (<sup>1</sup>Macko *et al.*, 1984; <sup>2</sup>Grippo *et al.*, 2011; <sup>3</sup>Carreón-Palau *et al.*, 2013). Las barras verticales y horizontales indican las desviaciones estándar.



**Figura 3.** Valores del  $\delta^{13}\text{C}$  versus  $\delta^{15}\text{N}$  de cada especie analizada en invierno 2012 (en elipse roja) y de valores de referencia (<sup>1</sup>Macko *et al.*, 1984; <sup>2</sup>Grippio *et al.*, 2011; <sup>3</sup>Carreón-Palau *et al.*, 2013). Las barras verticales y horizontales indican las desviaciones estándar.

La especie epipelágica y planctívora *Harengula jaguana* presentó un valor intermedio de  $\delta^{13}\text{C}$  igual a  $-17.9\text{‰}$ , en comparación a los valores registrados por Moncreiff y Sullivan (2001) en la Sonda de Misisipi de  $-18.2\text{‰}$  y a los registrados por Romo-Ríos (2013) en la plataforma continental de Campeche de  $-16.8\text{‰}$ . En cuanto al  $\delta^{15}\text{N}$  de esta sardina fue muy similar al valor determinado por Romo-Ríos (2013) de  $11.6\text{‰}$ , pero se encontró empobrecido en comparación al valor registrado por Moncreiff y Sullivan (2001) de  $13.1\text{‰}$ .

Para *S. foetens*, los valores registrados en este estudio fueron similares al intervalo observado por Jeffers (2007) ( $\delta^{13}\text{C}$  de  $-18.5$  a  $-16.5\text{‰}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de  $12.5$  a  $14.5\text{‰}$ ) en el N del GoM. En la Sonda de Misisipi el valor promedio registrado por Moncreiff y Sullivan (2001) de  $\delta^{13}\text{C}$  fue de  $-17\text{‰}$ , en tanto que para el  $\delta^{15}\text{N}$  fue de  $15.3\text{‰}$  los valores en este estudio son más empobrecidos (intervalo de  $11.9$  a  $13.4$ ). Para la zona Sur del GoM, Zetina-Rejón *et al.* (2012) registraron valores aproximados del  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-16.5\text{‰}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  de  $11.8\text{‰}$  en la Sonda de Campeche y valores aproximados del  $\delta^{13}\text{C}$   $-16\text{‰}$  y del  $\delta^{15}\text{N}$   $12\text{‰}$  en la plataforma continental de Veracruz. En la porción SW del GoM, Soto y Escobar (1995) observaron valores de  $-18.7$  a  $-17.6\text{‰}$   $\delta^{13}\text{C}$  y de  $9.5$  a  $11.8\text{‰}$   $\delta^{15}\text{N}$ , mientras que Romo-Ríos (2013) registró valores de  $-17.3$  a  $-10.8\text{‰}$   $\delta^{13}\text{C}$  y de  $9.6$  a  $11.72\text{‰}$   $\delta^{15}\text{N}$  en la plataforma continental de Campeche.

La especie *D. bivittatum* presentó valores isotópicos similares a los determinados por Moncreiff y Sullivan (2001) ( $\delta^{13}\text{C} = -17.5\text{‰}$  y un  $\delta^{15}\text{N} = 13.4\text{‰}$ ) en la Sonda de Misisipi, y a los observados por Romo-Ríos (2013) ( $\delta^{13}\text{C} = -16.2\text{‰}$  y  $\delta^{15}\text{N} = 11.2\text{‰}$ ) en la plataforma continental de Campeche.

Para la especie *Pristipomoides aquilonaris*, los valores registrados en este estudio son más enriquecidos para ambos isótopos ( $\delta^{13}\text{C} = -17.9\text{‰}$  y  $\delta^{15}\text{N} = 12.4\text{‰}$ ) a los valores registrados por Zetina-Rejón *et al.* (2012) ( $\delta^{13}\text{C} = -18.6\text{‰}$  y un  $\delta^{15}\text{N} = 10.2\text{‰}$ ) en la Sonda de Campeche.

La especie *Cyclopsetta chittendeni* presentó valores similares a los intervalos determinados por Romo-Ríos (2013) de -17.2 a -15.9‰ para  $\delta^{13}\text{C}$  y de 11.7 a 12.8‰ para  $\delta^{15}\text{N}$ , en la plataforma continental de Campeche.

Con respecto a los cambios minúsculos en el  $\delta^{13}\text{C}$ , es importante señalar que estos pueden deberse a una variedad de razones, incluyendo diferencias en las tasas de recambio de acuerdo a la edad de cada especie y a la fuerza de la señal original de carbono ingerida por la presa (Quintana-Rizzo *et al.*, 2015). En cuanto a las variaciones del nitrógeno isotópico, pueden deberse a la fisiología de los organismos consumidores, a sus tasas de crecimiento y a sus patrones de migración (Zetina-Rejón *et al.*, 2012).

Las diferencias en los valores isotópicos entre las especies de este estudio comparadas con los de las mismas especies en distintas regiones del GoM, estas pueden deberse a las características *per se* de cada región. Por ejemplo, el norte del GoM es una zona fuertemente influenciada por las descargas del río Misisipi (Fry, 2011); en tanto que en el SW del GoM, particularmente en la Laguna de Términos y la plataforma continental adyacente en Campeche, se ha demostrado que este sistema lagunar es la principal fuente de materia orgánica (Río-Romos, 2011). En lo que respecta al NW del GoM, es un sistema que presenta condiciones oligotróficas (Merino *et al.*, 2011; 2014); sin embargo Botello *et al.* (2011) han determinado mediante valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  que los ríos de la zona (así como la Laguna Madre) son importantes fuentes de materia orgánica hacia la plataforma continental.

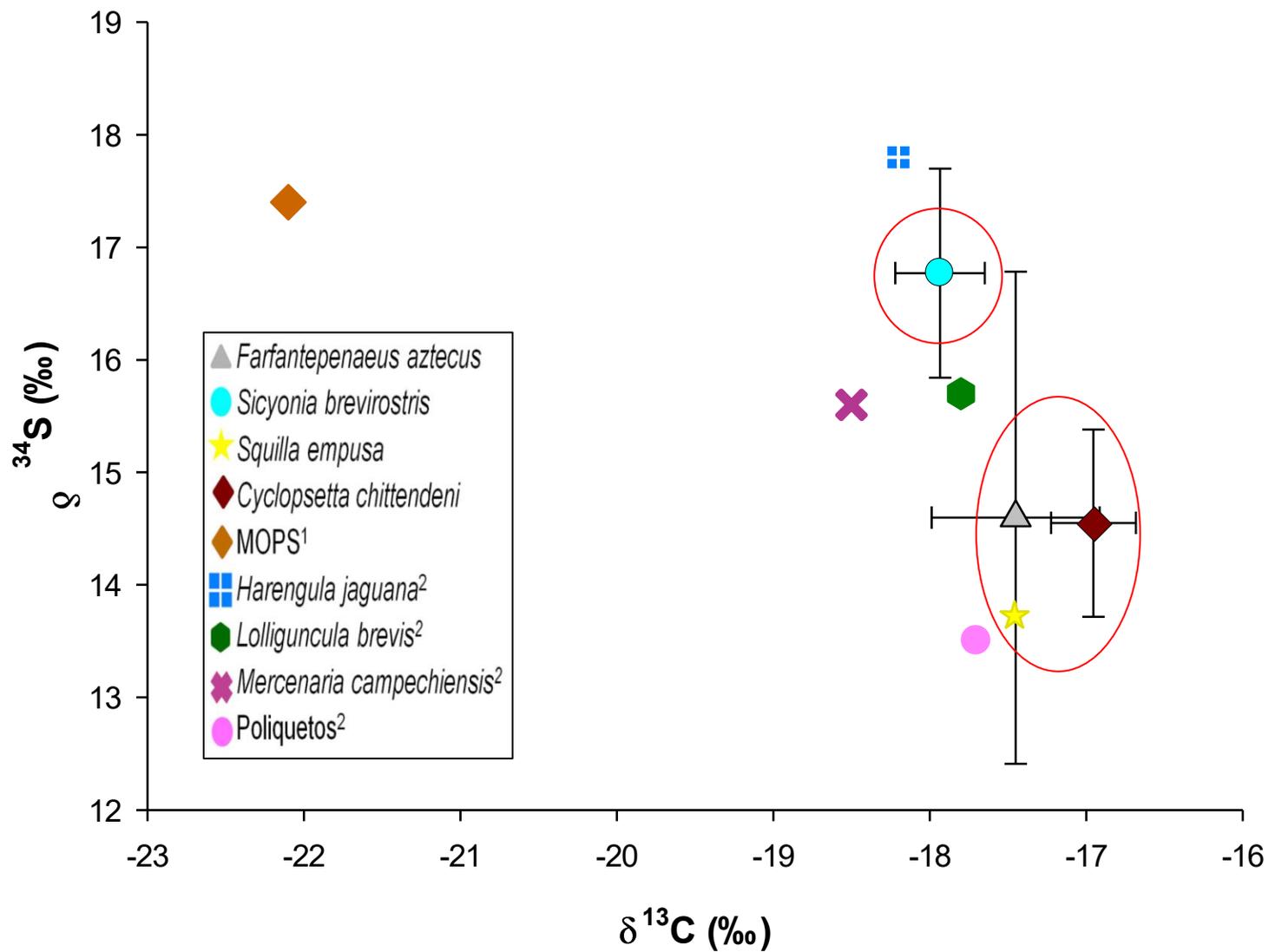
Los isótopos estables de azufre suelen ser usados para discriminar entre diferentes fuentes de alimento; los productores primarios de las áreas continentales generalmente tienen  $\delta^{34}\text{S}$  más empobrecidos que los productores primarios de los ambientes oceánicos (Lebreton *et al.*, 2016).

En la mayoría de los ecosistemas costeros, las fuentes de materia orgánica autóctona tienen una composición de azufre isotópica similar a la del sulfato de agua de mar (Kiyashko *et al.*, 2011), particularmente en el norte del GoM se han

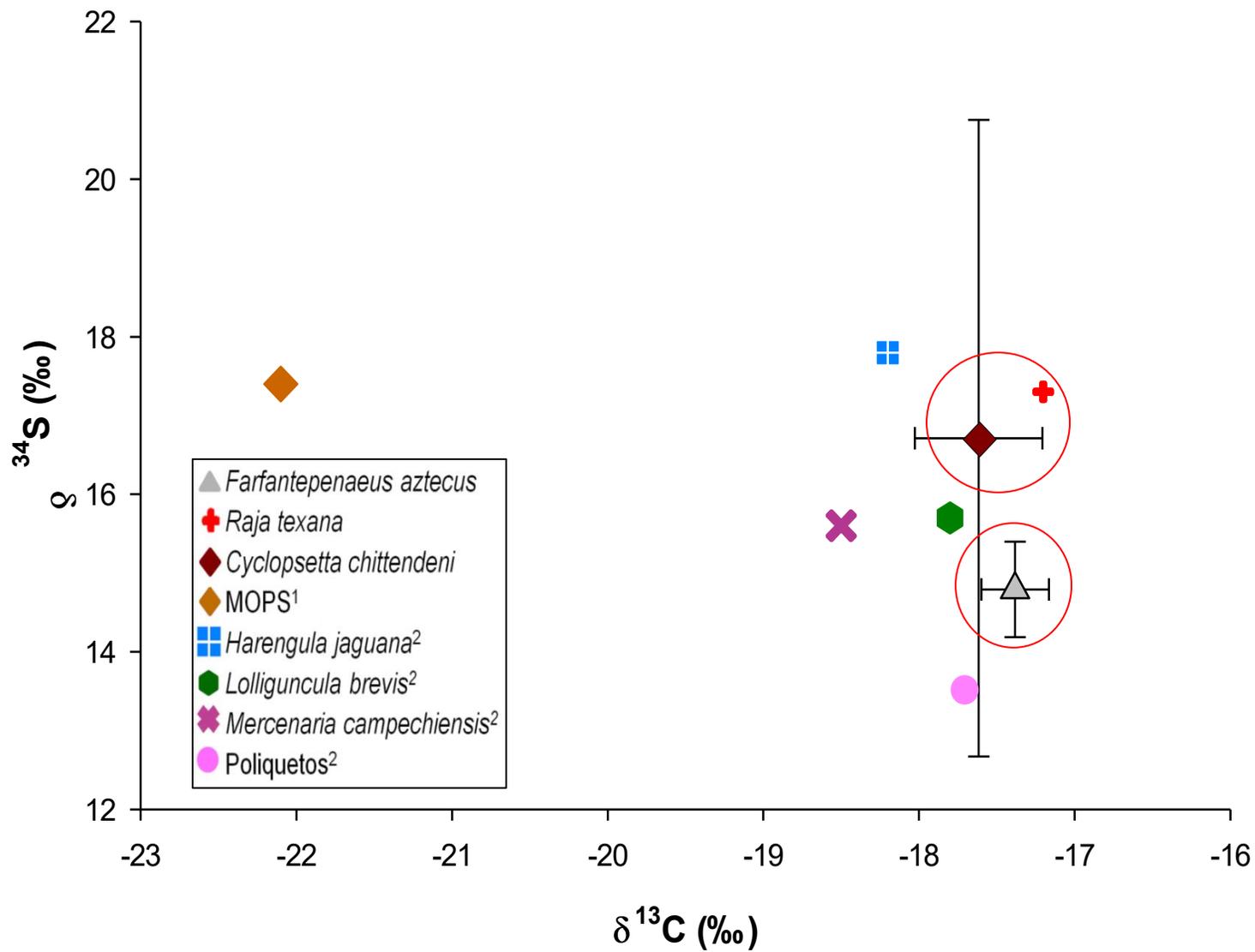
observado valores de  $\delta^{34}\text{S}$  de agua de mar de entre 19.7 y 20.3‰ (Fry, 1982; Rosenbauer *et al.*, 2009). Adicionalmente se ha detectado que el azufre posee un pequeño fraccionamiento durante la asimilación por parte del plancton, por lo que el plancton marino posee valores del  $\delta^{34}\text{S}$  cercanos a 20‰ (Rosenbauer *et al.*, 2009). Por otro lado, en los productores bénticos se han registrado valores del  $\delta^{34}\text{S}$  entre 15 y 16‰ (Jeffers, 2007).

En verano del 2010, los organismos mostraron valores  $\delta^{34}\text{S}$  de entre 14.5 y 16.8‰, con una diferencia en la composición isotópica de 2.3‰; *S. brevirostris* presentó el valor más enriquecido y *C. chittendeni* el valor más empobrecido (Tabla 1). Por otro lado, en invierno del 2012 los valores de azufre isotópico presentaron un intervalo de 14.8 a 17.3‰, con una diferencia en la composición isotópica de 2.5‰; *R. texana* fue la especie con el valor más enriquecido y *F. aztecus* la especie con el valor más empobrecido.

En las figuras 4 y 5 se puede observar de manera general que las especies de este estudio tienden a reflejar una relación entre los valores de  $\delta^{34}\text{S}$  más enriquecidos y los de  $\delta^{13}\text{C}$  más empobrecidos. Esto puede ser observado particularmente en la especie *S. brevirostris* (Fig. 4), que en el verano del 2010 presentó el valor de  $\delta^{34}\text{S}$  más alto contrario a su  $\delta^{13}\text{C}$  que fue el más empobrecido de las especies analizadas para este isótopo. En invierno de 2012 la especie *C. chittendeni* (Fig. 5) presentó un comportamiento similar, si bien no fue la especie con el  $\delta^{34}\text{S}$  más enriquecido de la temporada, su valor del  $\delta^{13}\text{C}$  sí fue el más empobrecido.



**Figura 4.** Valores del  $\delta^{13}\text{C}$  versus  $\delta^{34}\text{S}$  de cada especie analizada en verano 2010 (señaladas en rojo) y de valores de referencia (<sup>1</sup>Lebreton *et al.*, 2016; <sup>2</sup>Moncreiff y Sullivan, 2001). Las barras verticales y horizontales indican las desviaciones estándar.



**Figura 5.** Valores del  $\delta^{13}\text{C}$  versus  $\delta^{34}\text{S}$  de cada especie analizada en invierno 2012 (señaladas en rojo) y de valores de referencia (<sup>1</sup>Lebreton *et al.*, 2016; <sup>2</sup>Moncreiff y Sullivan, 2001). Las barras verticales y horizontales indican las desviaciones estándar.

Este comportamiento entre los valores de  $\delta^{34}\text{S}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  ha sido observado por Kiyashko *et al.* (2011), en el cual las señales de  $\delta^{13}\text{C}$  se enriquecían, en tanto los valores de  $\delta^{34}\text{S}$  se empobrecían entre distintas especies de peces planctívoros y bentívoros en la bahía Pedro el Grande en el mar de Japón. En la figuras 4 se puede observar como el pez planctívoro *H. jaguana* (Moncreiff y Sullivan, 2001) posee un valor de  $\delta^{34}\text{S}$  enriquecido en comparación a las especies bénticas registradas en este trabajo (*F. aztecus*, *S. brevisrostris*, *S. empusa*, *R. texana* y *C. chittendeni*). También se pueden observar (Figs. 4 y 5) los valores (tomados de Moncreiff y Sullivan, 2001) de dos invertebrados bénticos con distintos hábitos alimenticios, *M. campechiensis* (filtrador) y poliquetos (detritívoros y/o carnívoros), los cuales presentan valores del  $\delta^{34}\text{S}$  más empobrecidos que las especies registradas en este estudio; lo cual demuestra el enriquecimiento de origen béntico del  $\delta^{34}\text{S}$  hacia los organismos de niveles tróficos superiores.

Para las especies *S. brevisrostris* y *S. empusa*, Moncreiff y Sullivan (2001) registraron valores promedio del  $\delta^{34}\text{S}$  de 14.4‰ y de 14.6‰, respectivamente, en la Sonda de Misisipi, los cuales son más enriquecidos que los observados en este estudio (10.7‰ y 12.2‰, respectivamente).

Fry (2011), en un estudio de pesquerías sobre la especie *F. aztecus* en las costas de Luisiana, registró un valor promedio para el  $\delta^{34}\text{S}$  de  $15.7 \pm 0.2$ ‰ en los organismos de la plataforma media. Dichos valores son similares a los registrados en este estudio para la misma especie de camarón con valores de 14.6 y 14.8‰ (ambas temporadas), en donde este autor menciona que este tipo de registros son característicos del azufre derivado del plancton con un aporte de sulfuros de origen béntico.

Diversos autores (Leakey *et al.*, 2008; Croisetière *et al.*, 2009; Kiyashko *et al.*, 2011) atribuyen el empobrecimiento en el  $\delta^{34}\text{S}$  a la incorporación en la trama trófica de azufre empobrecido, como producto de la reducción bacteriana de sulfuros en los sedimentos. Un ejemplo de esto puede observarse (Figs. 4 y 5) en los valores enriquecidos en  $\delta^{34}\text{S}$  de la MOPS registrados por Lebreton *et al.* (2016)

y los valores más empobrecidos de  $\delta^{34}\text{S}$  registrados para poliquetos (Moncreiff y Sullivan, 2001).

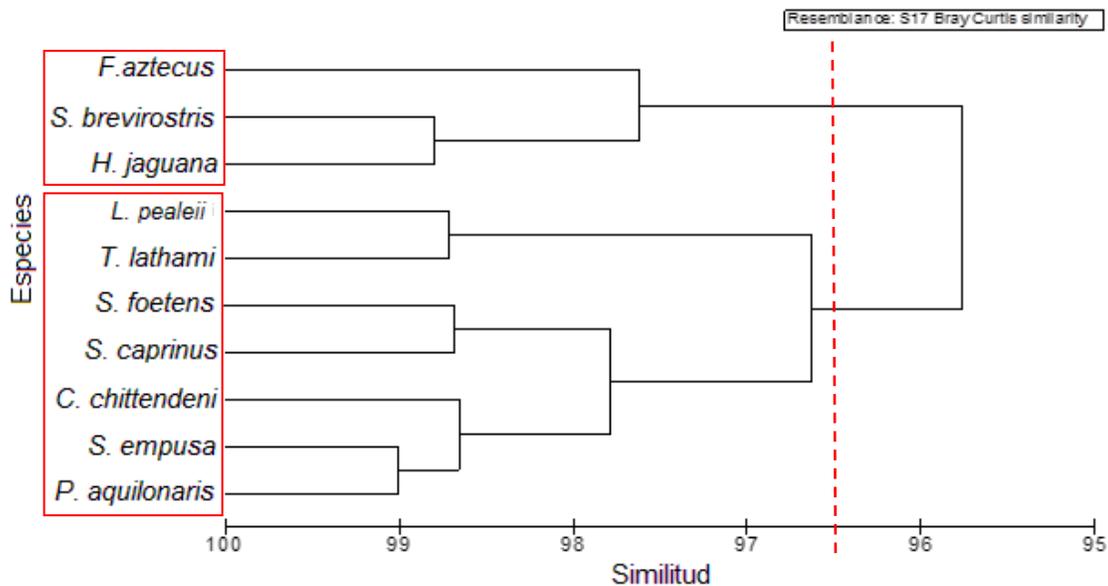
En lo que se refiere a la relación de los valores de los  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  y  $\delta^{34}\text{S}$  para la plataforma continental en el área de Luisiana, un sistema altamente influenciado por descargas riverinas provenientes del río Misisipi, Fry (2011) observó la presencia de gradientes de bajos valores de los  $\delta$  de  $^{13}\text{C}$  y de  $^{15}\text{N}$  *versus* altos valores en el  $\delta^{34}\text{S}$ . En este estudio no fue posible encontrar alguna tendencia entre los valores de los tres isótopos, lo cual puede atribuirse al bajo número de especies analizadas.

## 6.2 RELACIONES TRÓFICAS

En las plataformas continentales, las redes tróficas demersales integran fuentes de alimento pelágicas y bénticas, gracias al flujo vertical de los productos de la fotosíntesis en la capa superficial (ruta pelágica), a la producción primaria béntica *in situ* o al reciclaje detrital (rutas bénticas) (Woodland y Secor, 2013).

De acuerdo con el análisis clúster, durante la temporada de verano se observaron dos grupos (Fig. 6). El primero incluyó a las especies *F. aztecus*, *S. brevirostris* y *H. jaguana*. Las dos especies de camarón incluidas poseen hábitos alimenticios similares, ya que son carnívoros bénticos que consumen poliquetos y otros organismos de la meiofauna (Fry, 2011), por lo que es predecible que estas especies sean agrupadas considerando sus valores isotópicos. En cuanto a *H. jaguana*, un pez planctívoro y de hábitat pelágico, su inclusión dentro de dicho grupo podría deberse a las características de la zona de estudio, ya que es un área relativamente somera (50 a 100 m de profundidad). Adicionalmente, las características de la circulación costera podrían favorecer un rápido intercambio de materiales entre los compartimentos pelágico y béntico, por lo que las señales isotópicas asimiladas por los organismos asociados en el primer grupo son similares.

El segundo grupo (Fig. 6) estuvo integrado por las especies *L. pealeii*, *T. lathami*, *S. foetens*, *S. caprinus*, *C. chittendeni*, *S. empusa* y *P. aquilonaris*. La mayoría de estas especies son carnívoras, ya sea piscívoras o invertívoras, que consumen organismos de niveles tróficos superiores, por lo que sus señales tanto de C como de N se encuentran más enriquecidas.

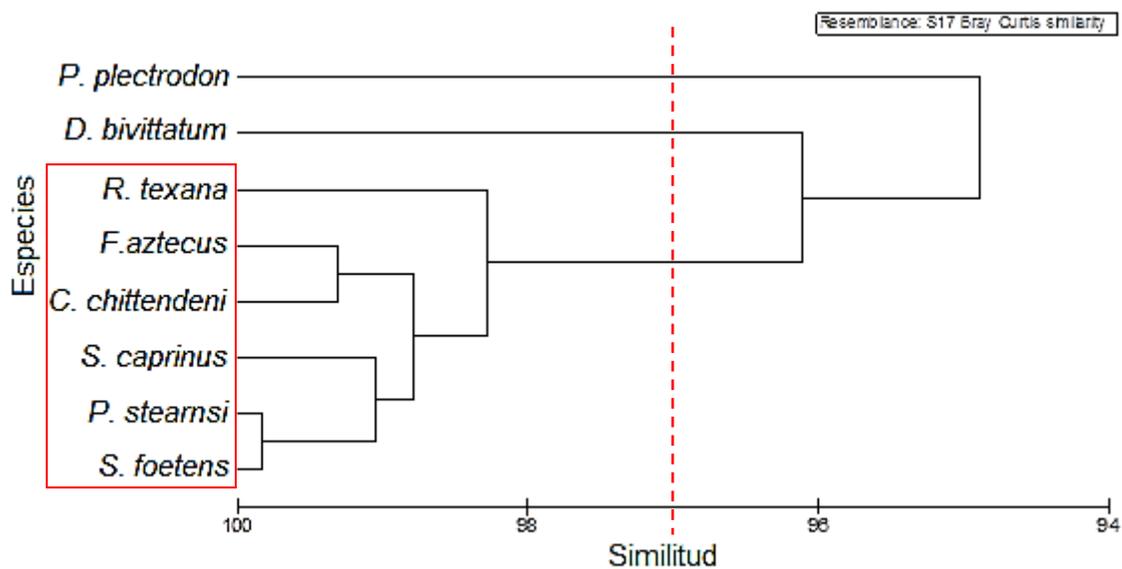


**Figura 6.** Análisis clúster de las medias del  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , verano 2010.

En cuanto al invierno de 2012, el análisis clúster (Fig.7) permitió el reconocimiento de un grupo, el cual incluyó a seis de las ocho especies registradas en esta temporada: *F. aztecus*, *R. texana*, *S. foetens*, *P. stearnsi*, *S. caprinus* y *C. chittendeni*. Estas especies fueron agrupadas debido a que presentaron valores similares de  $\delta^{13}\text{C}$  (-17 a -17.6‰) y de  $\delta^{15}\text{N}$  (10.9 a 11.9‰). En tanto que las especies, *P. plectrodon* y *D. bivittatum*, no fueron agrupadas debido a que ambas especies presentaron los valores más empobrecidos y más enriquecidos (respectivamente) de los organismos analizados. En esta temporada, se presenta la mezcla de la columna de agua gracias a la presencia de fuertes vientos provenientes del norte (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003; Zavala-Hidalgo *et al.*, 2006; Galván-Bazán, 2014), lo cual asociado a la baja profundidad del área, puede

acelerar la mezcla de materiales de la zona pelágica con los de origen béntico. Asimismo, las especies *F. aztecus*, *R. texana* y *C. chittendeni* tienen hábitos bénticos, por lo que se espera que sus señales sean muy parecidas. Por otro lado, *S. foetens* es una especie oportunista, por lo que puede presentar una señal isotópica muy variable.

Las variaciones en los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  pueden deberse a la plasticidad trófica en algunas especies de peces, ya que esta característica les permite adaptarse para explotar los recursos alimenticios disponibles en diferentes ambientes. Un ejemplo de lo anterior es la especie *S. foetens*, de acuerdo con Jeffers (2007) esta especie posee hábitos alimenticios no selectivos (dieta a base de invertebrados y peces bénticos y pelágicos).



**Figura 7.** Análisis clúster de las medias del  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ , invierno 2012.

Como se mencionó previamente, la diferencia isotópica en los valores del  $\delta^{15}\text{N}$  fue de 3.3‰ durante el verano de 2010 (ver Tabla 1), lo cual indica un cambio de nivel trófico (Moncreiff y Sullivan, 2001), lo cual también se observó en el cálculo de la posición trófica (Tabla 2). Por otro lado, en el invierno de 2012 la diferencia isotópica fue menor (1.9‰) (ver Tabla 1), aun así también se detectó la presencia

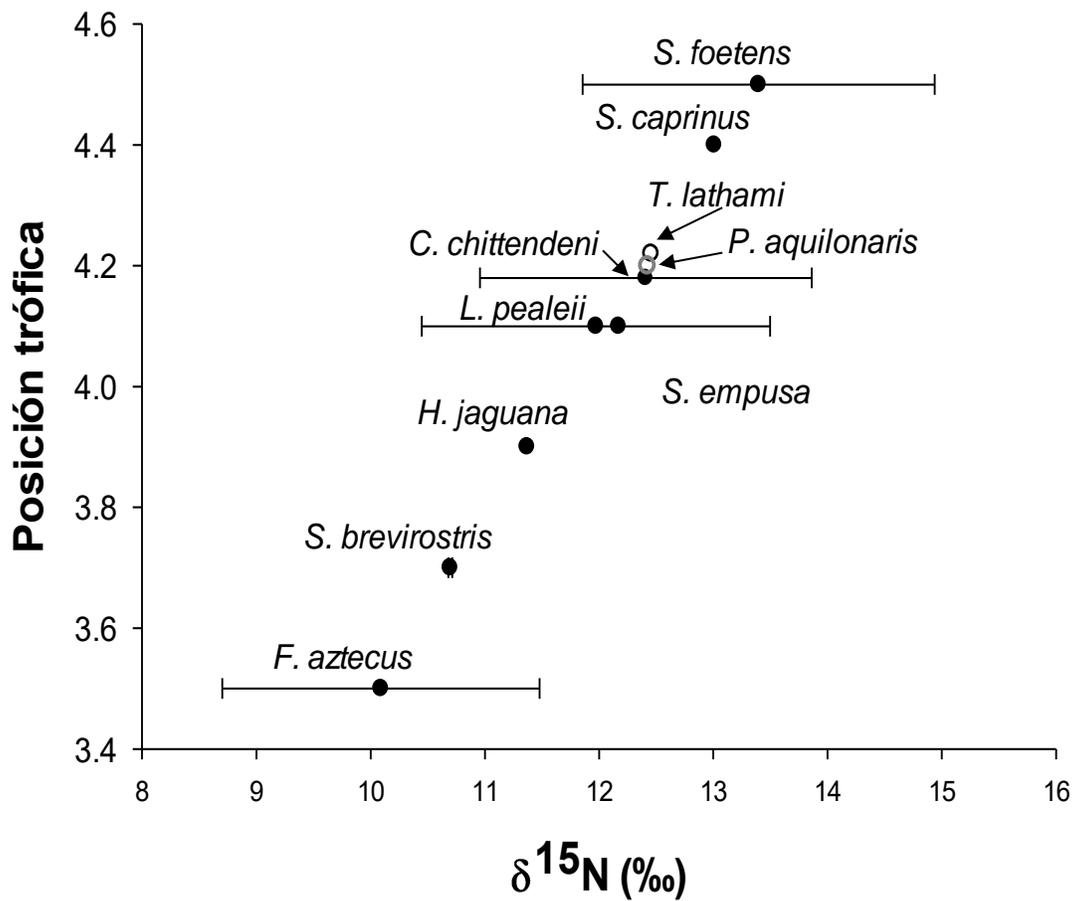
de dos niveles tróficos en las especies analizadas (Tabla 2). Tripp-Valdez *et al.*, 2015 registran valores tróficos similares a los observados en este estudio para organismos demersales en el Golfo de California, y de acuerdo con estos autores este tipo de valores corresponden a depredadores secundarios.

**Tabla 2.** Valores de la posición trófica y del RBAP para las 14 especies analizadas en las dos temporadas de muestreo.

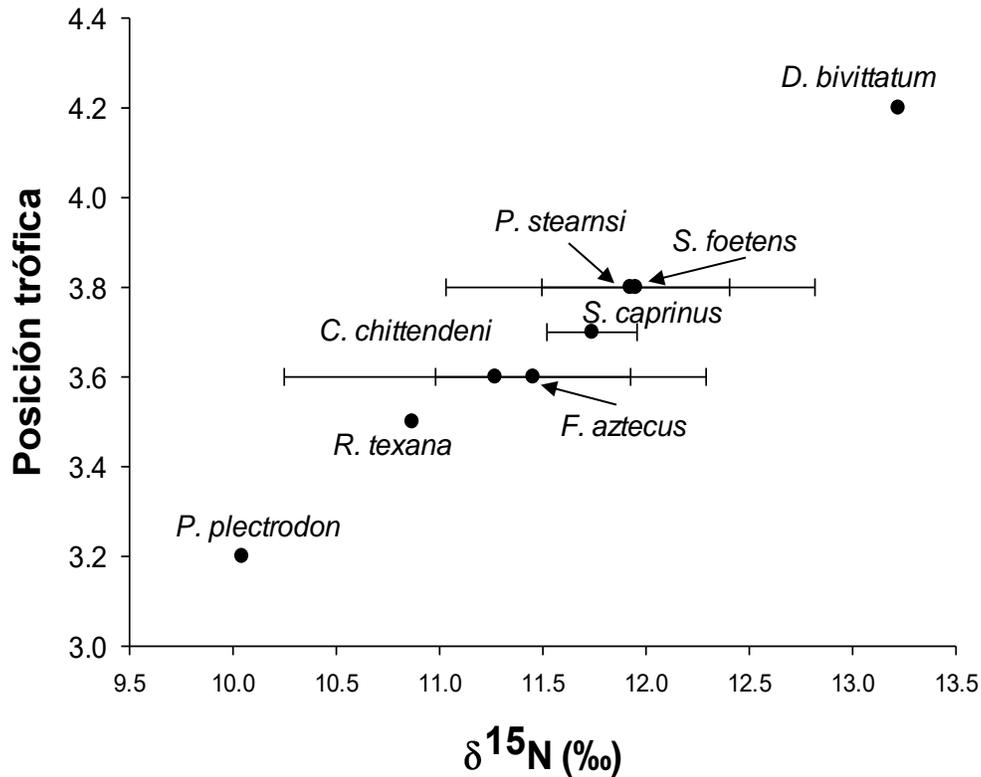
Especies	2010		2012	
	Posición trófica	RBAP	Posición trófica	RBAP
<i>Loligo pealeii</i>	4.1 ( $\pm 0.4$ )	10.5	–	–
<i>Farfantepenaeus aztecus</i>	3.5 ( $\pm 0.4$ )	80.9	3.6 ( $\pm 0.1$ )	79.4
<i>Sicyonia brevirostris</i>	3.7 ( $\pm 0.01$ )	54.5	–	–
<i>Squilla empusa</i>	4.1	56.2	–	–
<i>Raja texana</i>	–	–	3.5	93.6
<i>Harengula jaguana</i>	3.9	47.9	–	–
<i>Synodus foetens</i>	4.5 ( $\pm 0.5$ )	64.0	3.8 ( $\pm 0.1$ )	76.8
<i>Porichthys plectrodon</i>	–	–	3.2	55.2
<i>Prionotus stearnsi</i>	–	–	3.8 ( $\pm 0.3$ )	73.1
<i>Diplectrum bivittatum</i>	–	–	4.2	85.9
<i>Trachurus lathami</i>	4.2	8.9	–	–
<i>Pristipomoides aquilonaris</i>	4.2	35.5	–	–
<i>Stenotomus caprinus</i>	4.4	52.6	3.7 ( $\pm 0.06$ )	91.3
<i>Cyclopsetta chittendeni</i>	4.2 ( $\pm 0.4$ )	71.7	3.6 ( $\pm 0.3$ )	72.8

Las especies *S. foetens* (verano) y *D. bivittatum* (invierno) fueron las que presentaron los valores más altos de posición trófica. Las especies *F. aztecus* (verano) y *P. plectrodon* (invierno) presentaron los valores mínimos. En las figuras

8 y 9 se pueden observar los valores del  $\delta^{15}\text{N}$  versus la posición trófica de cada especie, para ambas temporadas se pudo observar el incremento en la posición trófica con el enriquecimiento del  $\delta^{15}\text{N}$  hacia niveles tróficos más altos dentro de la red trófica.



**Figura 8.** Valores del  $\delta^{15}\text{N}$  versus posición trófica durante el verano 2010. Las barras horizontales indican las desviaciones estándar.

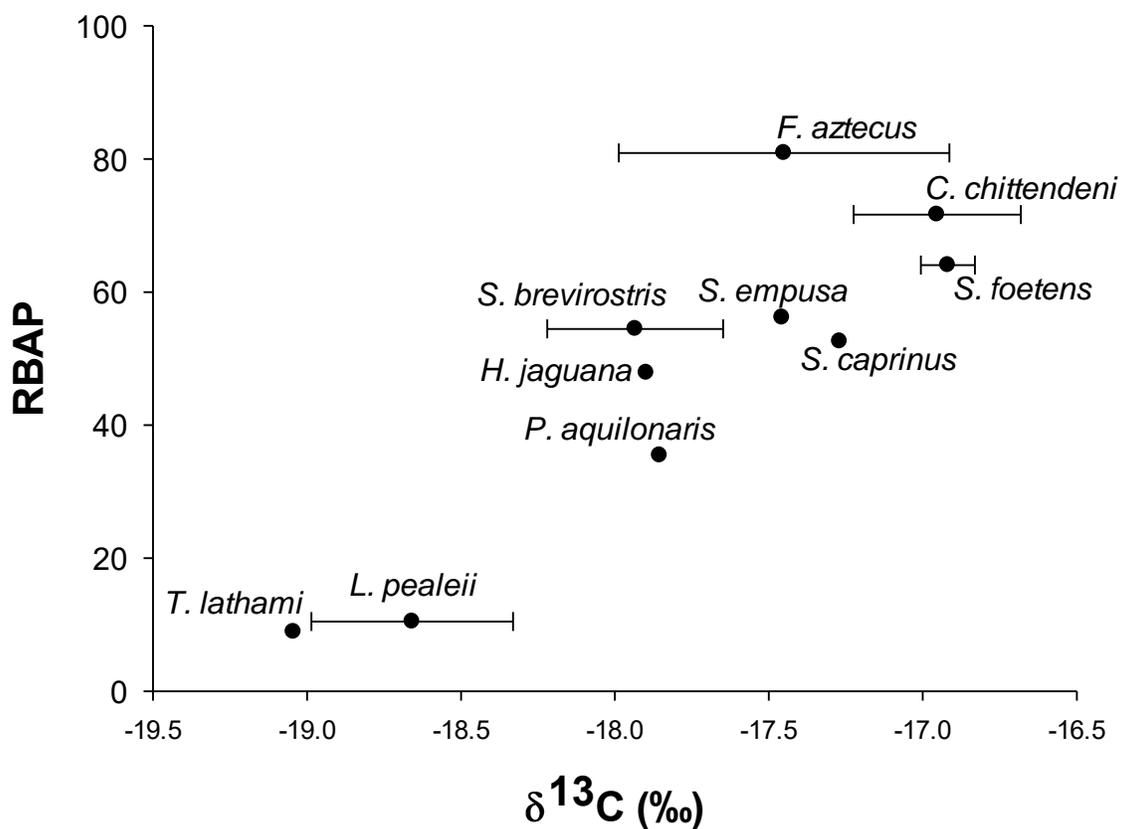


**Figura 9.** Valores del  $\delta^{15}\text{N}$  versus posición trófica durante el invierno 2012. Las barras horizontales indican las desviaciones estándar.

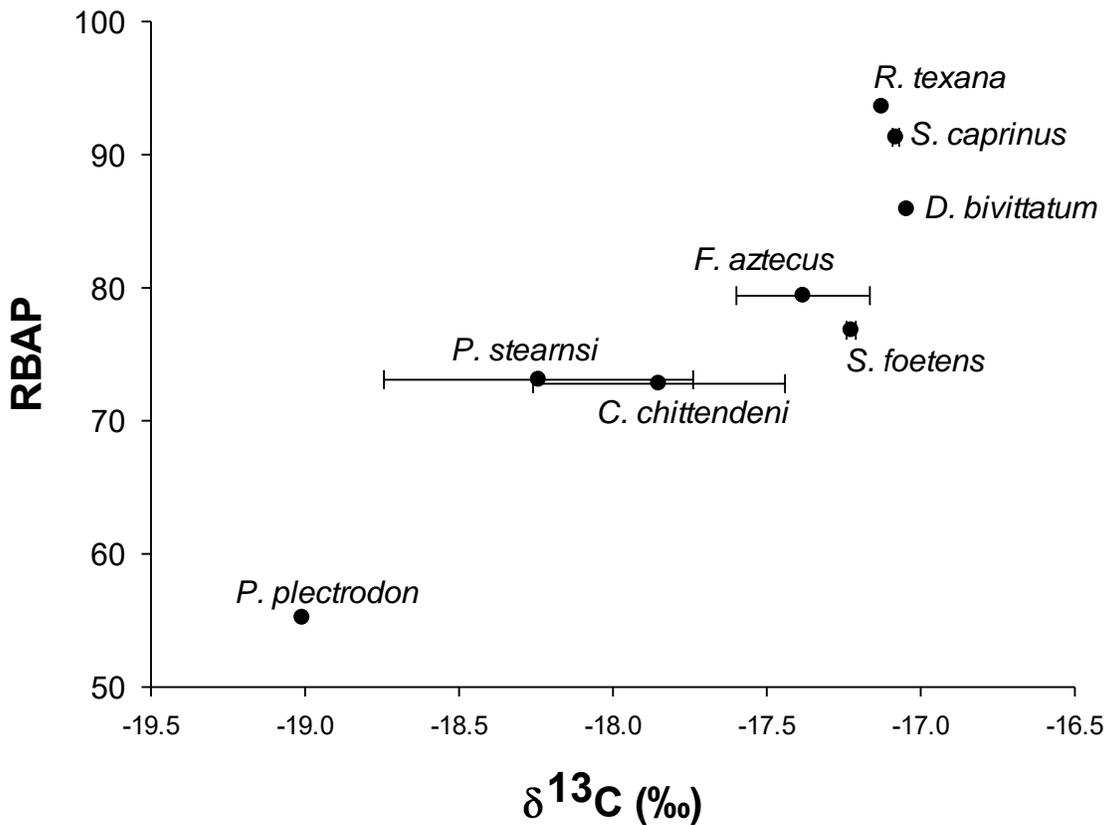
Un limitado intervalo en los valores del nivel trófico fue observado por Kopp y colaboradores (2015) en una zona somera de la plataforma continental en el Este del Canal de la Mancha. De acuerdo con dichos autores, esta condición, puede deberse a que los depredadores comparten distintas fuentes de alimentación independientemente de la talla o del origen de las presas (béntico o pelágico).

En cuanto a los valores del RBAP, durante el verano (Tabla 2) se pudo observar que las especies *L. pealeii* y *T. lathamii* poseen una menor dependencia hacia los recursos bénticos, además presentaron los valores más empobrecidos del  $\delta^{13}\text{C}$  (Fig. 10). Por otro lado, especies representativas del bentos como *F. aztecus* y *C. chittendeni* presentaron los valores más altos de dependencia hacia los recursos

de origen béntico, así como valores enriquecidos de  $\delta^{13}\text{C}$ . Durante el invierno, las especies, *R. texana*, *S. caprinus* y *D. bivittatum* presentaron los valores más altos de dependencia hacia los recursos bénticos (Tabla 2), mientras que la especie *P. plectrodon* fue la especie con el valor mínimo de RBAP (Fig. 11).



**Figura 10.** Valores del  $\delta^{13}\text{C}$  versus RBAP durante el verano 2010. Las barras horizontales indican las desviaciones estándar.



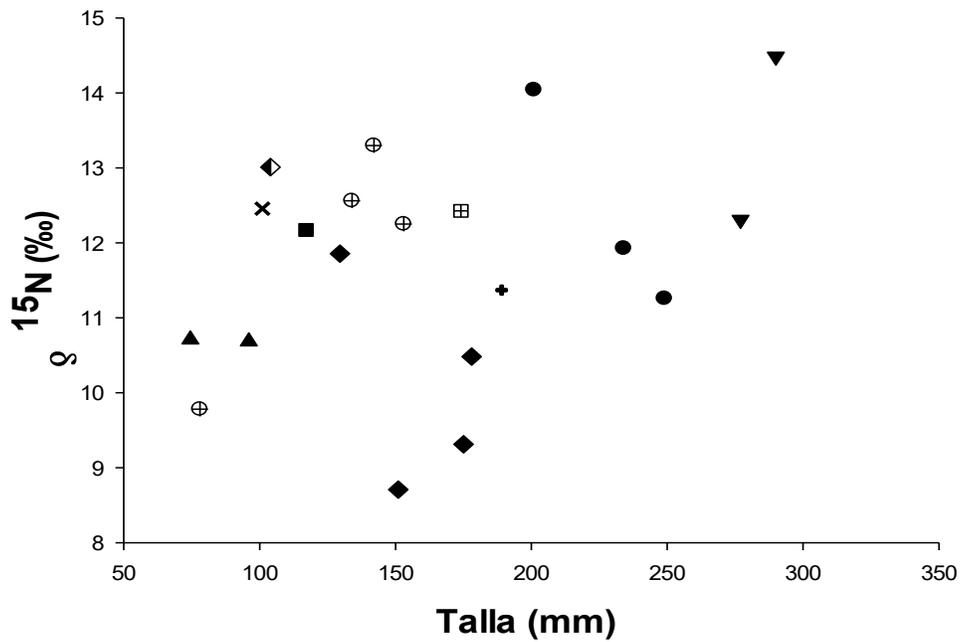
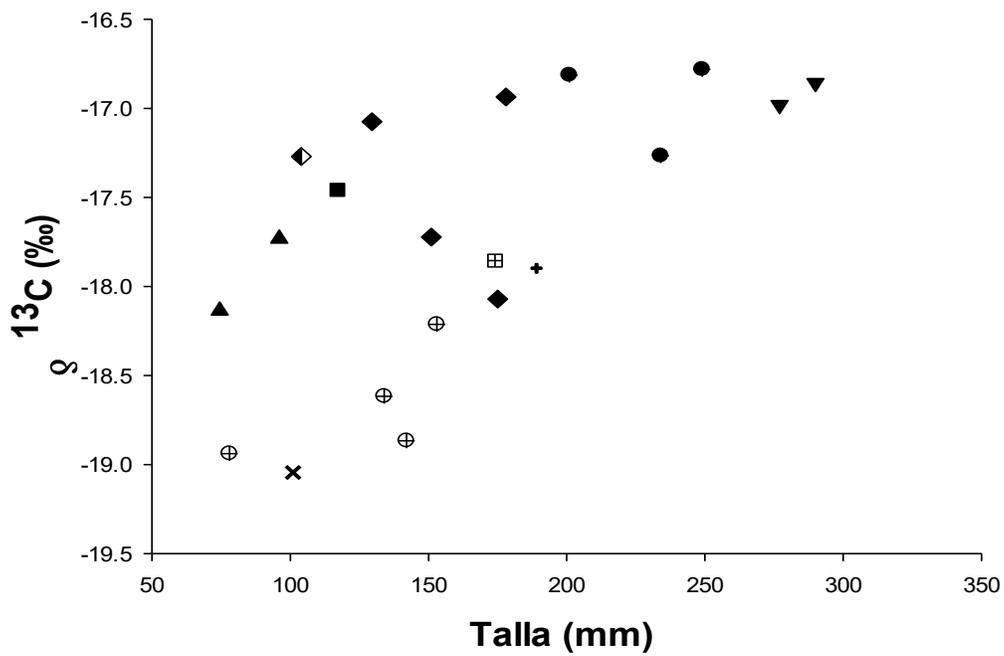
**Figura 11.** Valores del  $\delta^{13}\text{C}$  versus RBAP durante invierno 2012. Las barras horizontales indican las desviaciones estándar.

En cuanto al tamaño de los organismos se refiere, se observó que las especies *L. pealeii*, *S. foetens* (Fig. 12 A y B), *P. stearnsi* y *S. caprinus* (Fig. 13 A y B) presentaron un enriquecimiento en ambos isótopos ( $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$ ) con el incremento en la talla de los organismos en ambas temporadas. No obstante, el reducido número de muestras analizadas en este estudio no permitió establecer tendencias claras en cuanto a la relación de la talla y el enriquecimiento/empobrecimiento para cada una de las especies. De manera general se pudo distinguir que los organismos de mayor tamaño son los que poseen valores isotópicos más enriquecidos.

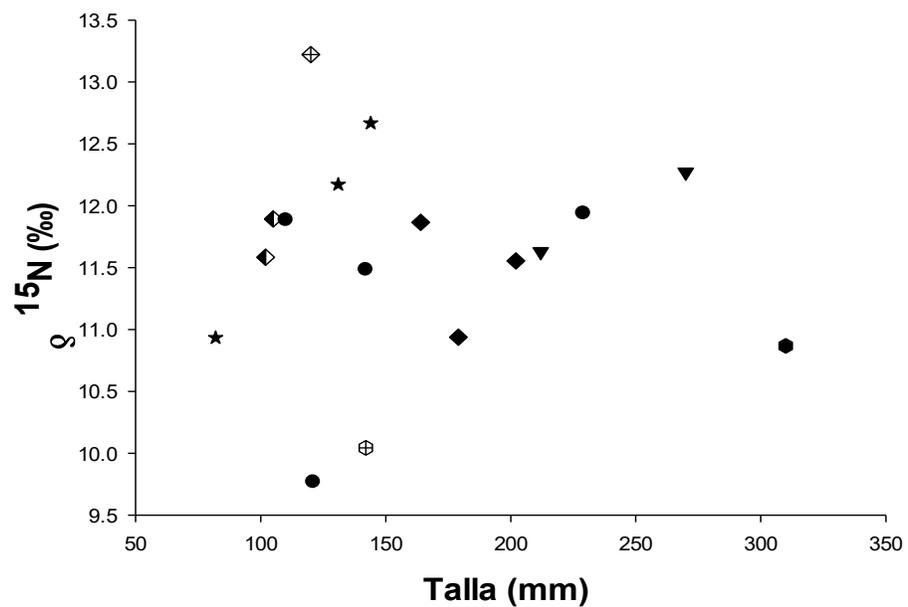
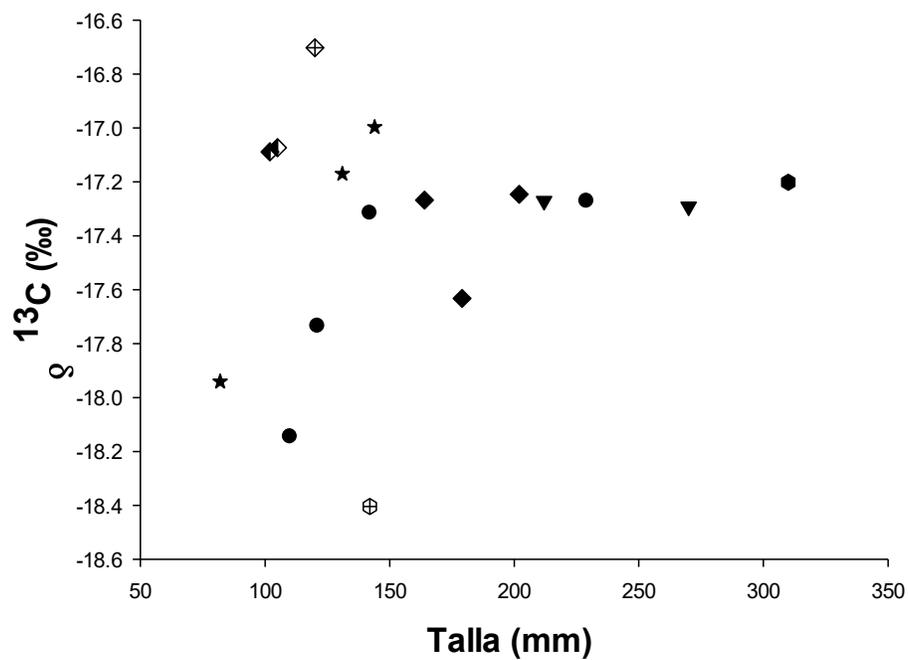
Generalmente, la segregación entre las rutas tróficas pelágicas y bénticas se vuelve difusa a través de su movimiento hacia niveles tróficos superiores (los consumidores superiores tienden a presentar valores de  $\delta^{13}\text{C}$  intermedios). Esto puede deberse al incremento del área de alimentación y al cambio en el tipo de dieta con el aumento en la talla del consumidor. Esto permite que se originen tramas tróficas más estrechas, mientras la talla y el nivel trófico de los consumidores aumentan (Wells y Rooker, 2009; Kopp *et al.*, 2015).

Además, el traslado de especies pelágicas de talla pequeña hacia el compartimento béntico puede ser un indicativo de que las fuentes de carbono, tanto de origen pelágico como béntico, pueden ser accesibles para cualquier especie, sin importar su posición en la columna de agua debido a la proximidad física. Esto se debe a que al disminuir la profundidad, las migraciones diurnas verticales de zooplancton, de la fauna epibéntica en la columna de agua y las de peces asociados (debido a la búsqueda de sus presas), también facilita el ABP en las plataformas continentales someras (Kopp *et al.*, 2015).

Las conductas de alimentación de las diferentes especies son elementos importantes en las relaciones complejas que emergen de los análisis de isotopía estable, especialmente en las comunidades de invertebrados bénticos en donde un intervalo amplio de firmas isotópicas y una gran variedad de hábitos alimenticios están presentes (Le Loc'h *et al.*, 2008).



**Figura 12.** Talla versus  $\delta^{13}\text{C}$  (A) y  $\delta^{15}\text{N}$  (B) de las especies registradas durante el verano de 2010. *L. pealeii* (⊕), *F. aztecus* (◆), *S. brevirostris* (▲), *S. empusa* (■), *H. jaguana* (+), *S. foetens* (▼), *T. lathami* (×), *P. aquilonaris* (⊞), *S. caprinus* (◊) y *C. chittendeni* (●).



**Figura 13.** Talla versus  $\delta^{13}\text{C}$  (A) y  $\delta^{15}\text{N}$  (B) de las especies registradas durante el invierno de 2012. *F. aztecus* (◆), *R. texana* (●), *S. foetens* (▼), *P. plectrodon* (⊕), *P. stearnsi* (★), *D. bivittatum* (⊕), *S. caprinus* (◆) y *C. chittendeni* (●).

## 7. CONCLUSIONES

En este trabajo, el intervalo de los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  registrados en la fauna demersal analizada fue de -19 a -16.9‰ en el verano de 2010 y de -18.4 a -16.7‰ durante el invierno de 2012, por lo que se infiere que el origen de la materia asimilada puede ser de origen terrestre como marino.

De acuerdo con los valores  $\delta^{34}\text{S}$ , con intervalos de 14.5 a 16.8‰ durante el verano de 2010 y de 14.8 a 17.3‰ en invierno de 2012, las especies analizadas (*F. aztecus*, *S. brevirostris*, *S. empusa*, *R. texana* y *C. chittendeni*) utilizan los recursos bénticos, lo cual concuerda con los hábitos de vida de estas especies. Con respecto a este isótopo es necesario resaltar que puede ser una buena herramienta como indicador de ABP en futuros estudios de tramas tróficas en plataformas continentales.

La poca claridad en la formación de grupos tróficos por los análisis clúster, así como el estrecho intervalo en los valores de posición trófica ( $\delta^{15}\text{N}$ ) y los valores del RABP de las especies analizadas son aspectos distintivos de las tramas tróficas en plataformas continentales costeras, Lo cual es reflejo de un alto grado de ABP entre los componentes béntico y pelágico.

Con el fin de describir holísticamente la trama trófica en esta zona del NW del GoM, es necesario realizar futuros estudios en los que se incluyan las proporciones de los tres isótopos, así como el mayor número posible de los componentes del ecosistema, desde las fuentes de producción primaria hasta los consumidores de los niveles tróficos superiores (tanto bénticos como pelágicos); que brinden más información sobre la relación (y sus diferencias) de la zona nerítica en comparación con la zona oceánica. Asimismo es necesario ampliar la información recabada en este trabajo con el fin de identificar posibles fuentes de perturbación, ya sea por efecto de la contaminación o por los efectos debidos a la pesca en el área de estudio.

## 8. LITERATURA CITADA

- Barnes, C., Jennings, S., 2007. Effects of temperature, ration, body size and age on sulphur fractionation in fish. *Rapid communications in mass spectrometry* 21, 1461-1467.
- Becker, E.L., Cordes, E.E., Macko, S.A, Lee, R.W., Fisher, C.R., 2013. Using stable isotope compositions of animal tissues to infer trophic interactions in Gulf of Mexico lower slope seep communities. *PLoS One* 8 (12), e74459.
- Botello, A.V., Ponce-Vélez, G., García-Ruelas, C., Montes-Nava, A., Díaz-González, G., Villanueva-Fragoso, S., Rivera-Ramírez, F., Morales-Villafuerte, M., 2011. Contaminación Marina. En: Soto L. A. y Botello A. V. (Eds.) Proyecto "Marco Ambiental de las Condiciones Oceanográficas en el Sector NW de la ZEE de México en el Golfo de México (MARZEE)". Reporte técnico I. Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México, 336 pp.
- Botello, A.V., Ponce-Vélez, G., García-Ruelas, C., Montes-Nava, A., Díaz-González, G., Villanueva-Fragoso, S., Rivera-Ramírez, F., Morales-Villafuerte, M., 2014. Contaminación Marina. En: Soto L.A. y Botello A.V. (Eds.) Proyecto "Marco Ambiental de las Condiciones Oceanográficas en el Sector NW de la ZEE de México en el Golfo de México (MARZEE)". Reporte técnico III. Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México, 294 pp.
- Carreón-Palau, L., Parrish, C.C., del Angel-Rodríguez, J.A., Pérez-España, H., Aguiñiga, S., 2013. Revealing organic carbon sources fueling a coral reef food web in the Gulf of Mexico using stable isotopes and fatty acids. *Limnology and Oceanography* 58(2), 593-612.
- Croisetière, L., Hare, L., Tessier, A., Cabana, G., 2009. Sulphur stable isotopes can distinguish trophic dependence on sediments and plankton in boreal lakes. *Freshwater biology* 54, 1006-1015.

- Demopoulos, A.W.J., Gualtieri, D., Kovacs, K., 2010. Food-web structure of seep sediment macrobenthos from the Gulf of Mexico. *Deep-Sea Research Part II* 57, 1972–1981.
- Dorado, S., Rooker, J., Wissel, B., Quigg, A., 2012. Isotope baseline shifts in pelagic food webs of the Gulf of Mexico. *Marine Ecology Progress Series* 464, 37–49.
- Escobar, E., Soto, L. A., 1997. Continental shelf benthic biomass in the western Gulf of Mexico. *Continental Shelf Research* 17(6), 585-604.
- Fry, B., 1983. Fish and shrimp migrations in the Northern Gulf of Mexico analyzed using stable C, N, and S isotope ratios. *Fishery Bulletin* 81, 789-801.
- Fry, B., 2006. *Stable Isotope Ecology*. Springer Science+Business Media, LLC, New York, 308 pp.
- Fry, B., 2011. Mississippi River sustenance of brown shrimp (*Farfantepenaeus aztecus*) in Louisiana coastal waters. *Fishery Bulletin* 109, 147-161.
- Fry, B., Chumchal, M.M., 2011. Sulfur stable isotope indicators of residency in estuarine fish. *Limnology and Oceanography* 56, 1563-1576.
- Fry, B., Scalan, R.S., Winters, J.K., Parker, L.P., 1982. Sulphur uptake by salt grasses, mangroves and seagrasses in anaerobic sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 46, 1121-1124.
- Galván-Bazán, R., 2014. Proceso de acoplamiento pelágico-béntico en los ambientes de plataforma y talud continental del Noroeste del Golfo de México. Tesis de Maestría Universidad Nacional Autónoma de México, 39.
- Grippio, M.A., Fleeger, J.W., Dubois, S.F., Condrey, R., 2011. Spatial variation in basal resources supporting benthic food webs revealed for the inner continental shelf. *Limnology and Oceanography* 56 (3), 841-856.

- Jeffers, S.A., 2007. Ecology of inshore lizardfish, *Synodus foetens*, in the Northern Gulf of Mexico. Tesis de Maestría Universidad del Oeste de Florida, 112.
- Kiyashko, S.I., Velivetskaya, T.A., Ignatiev A.V., 2011. Sulfur, carbon, and nitrogen stable isotope ratios in soft tissues and trophic relationships of fish from the near-shore waters of the Peter the Great Bay in the Sea of Japan. *Russian Journal of Marine Biology* 37(4), 297-302.
- Kopp, D., Lefebvre, S., Cachera, M., Villanueva, M.C., Ernande, B., 2015. Reorganization of a marine trophic network along an inshore-offshore gradient due to stronger pelagic-benthic coupling in coastal areas. *Progress in Oceanography* 130, 157-171.
- Le Loc'h, F., Hily, C., Grall, J., 2008. Benthic community and food web structure on the continental shelf of the Bay of Biscay (North Eastern Atlantic) revealed by stable isotopes analysis. *Journal of Marine Systems* 72, 17–34.
- Leakey, C.D.B., Attrill, M.J., Jennings, S., Fitzsimons, M.F., 2008. Stable isotopes in juvenile marine fishes and their invertebrate prey from the Thames Estuary, UK, and adjacent coastal regions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 77, 513-522.
- Lebreton, B., Pollak, J.B., Blomberg, B., Palmer, T.A., Adams, L., Guillou, G., Montagna, P.A., 2016. Origin, composition and quality of suspended particulate organic matter in relation to freshwater inflow in a South Texas estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 170, 70-82.
- Logan, J.M., Jardine, T.D., Miller, T.J., Bunn, S.E., Cunjak, R.A., Lutcavage, M.E., 2008. Lipid corrections in carbon and nitrogen stable isotope analyses: comparison of chemical extraction and modelling methods. *Journal of Animal Ecology* 77, 838-846.

- MacAvoy, S.E., Fisher, C.R., Carney, R.S., Macko, S.A., 2005. Nutritional associations among fauna at hydrocarbon seep communities in the Gulf of Mexico. *Marine Ecology Progress Series* 291, 51–60.
- MacAvoy, S.E., Morgan, E., Carney, R.S., Macko, S.A., 2008. Chemoautotrophic Production Incorporated by Heterotrophs in Gulf of Mexico Hydrocarbon Seeps: An Examination of Mobile Benthic Predators and Seep Residents. *Journal of Shellfish Research* 27 (1), 153–161.
- Macko, S.A., Entzeroth, L., Parker, P.L., Florida, S., 1984. Regional Differences in Nitrogen and Carbon Isotopes on the Continental Shelf of the Gulf of Mexico. *Naturwissenschaften* 71, 374-375.
- Mazumder, D., Saintilan, N., Williams, R.J., Szymczak, R., 2011. Trophic importance of a temperate intertidal wetland to resident and itinerant taxa: evidence from multiple stable isotope analyses. *Marine and Freshwater Research* 62, 11-19.
- Mazumder, D., 2013. Application of stable isotopic techniques to wetlands conservation. En: Paul, S. (ed) *Workbook for managing urban wetlands in Australia*, 1st edn. Sydney Olympic Park Authority, Sydney, 385–392 pp.
- McCutchan, J.H., Lewis, W.M., Kendall, C., McGrath, C.C., 2003. Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and Sulphur. *Oikos* 102, 378-390.
- Merino, M.I., Carnero-Bravo, V., Valdespino-Castillo, P.M., Castillo, S.F., 2011. Biogeoquímica acuática. En: Soto L. A. y Botello A. V. (Eds.) *Proyecto “Marco Ambiental de las Condiciones Oceanográficas en el Sector NW de la ZEE de México en el Golfo de México (MARZEE)”*. Reporte técnico III. Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México, 294 pp.

- Merino, M.I., Carnero-Bravo, V., Castillo, S.F., Pérez-Ramírez, M.G., 2014. Biogeoquímica acuática. En: Soto L.A. y Botello A.V. (Eds.) Proyecto “Marco Ambiental de las Condiciones Oceanográficas en el Sector NW de la ZEE de México en el Golfo de México (MARZEE)”. Reporte técnico III. Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México, 294 pp.
- Michener, R., Lajtha, K., 2007. Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science. Blackwell Publishing Ltd, Oxford, 565 pp.
- Moncreiff, C.A., Sullivan, M.J., 2001. Trophic importance of epiphytic algae in subtropical seagrass beds: evidence from multiple isotope analyses. Marine Ecology Progress Series 215, 93-106.
- Papiol, V., Cartes, J.E., Fanelli, E., Rumolo, P., 2013. Food web structure and seasonality of slope megafauna in the NW Mediterranean elucidated by stable isotopes: Relationship with available food sources. Journal of Sea Research 77, 53-69.
- Peterson, B.J., 1999. Stable isotopes as tracers of organic matter input and transfer in benthic food webs: A review. Acta Oecologica 20 (4), 479-487.
- Post, D.M., 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. Ecology 83, 703–718.
- Quintana-Rizzo, E., Torres, J.J., Ross, S.W., Romero, I., Watson, K., Goddard, E., Hollander, D., 2015.  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  in deep-living fishes and shrimps after the Deepwater Horizon oil spill, Gulf of Mexico. Marine Pollution Bulletin 94, 241-250.
- Radabaugh, K.R., Hollander, D.J., Peebles, E.B., 2013. Seasonal  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  isoscapes of fish populations along a continental shelf trophic gradient. Continental Shelf Research 68, 112-122.

- Raz-Guzman, A., de la Lanza-Espino G., 1991. Evaluation of photosynthetic pathways of vegetation, and of sources sedimentary organic matter through C in Terminos Lagoon, Campeche, Mexico. An. Inst. Biol. UNAM. Serie Botánica 62 (1), 39-63.
- Raz-Guzman, A., de la Lanza-Espino G., 1993.  $\delta^{13}\text{C}$  of zooplankton, decapod crustaceans and amphipods from Terminos Lagoon, Campeche, Mexico, with reference to food and sources and trophic position. Ciencias Marinas. 19(2): 245-264.
- Romo-Ríos, J.A., 2013. Productores primarios y su relación con la distribución de la ictiofauna en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche, México. Tesis de Maestría, IPN. 84 pp.
- Rosenbauer, R.J., Swarzenski, P.W., Kendall, C., Orem, W.H., Hostettler, F.D., Rollog, M.E., 2009. A carbon, nitrogen, and sulfur elemental isotopic study in dated sediment cores from the Louisiana shelf. Geo-Mar letter 29, 415-429.
- Sánchez-García, S., 2003. Determinaciones isotópicas de carbono y nitrógeno en sedimentos y biota asociados a emanaciones naturales de hidrocarburos fósiles en el Banco de Campeche, México. Tesis de Maestría, UNAM. 53 pp.
- Soto, L.A., 2009. Stable carbon and nitrogen isotopic signatures of fauna associated with the Deep-sea hydrothermal vent system of Guaymas Basin, Gulf of California. Deep-Sea Research Part II 56, 1675-1682.
- Soto, L.A., Botello A.V., 2013. Legal Issues and Scientific Constraints in the Environmental Assessment of the Deepwater Horizon Oil Spill in Mexico Exclusive Economic Zone (EEZ) in the Gulf of Mexico. International Journal of Geosciences 4, 39-45.

- Soto, L.A., Escobar-Briones, E.G., 1995. Coupling mechanisms relate to benthic production in the SW Gulf of Mexico. *Biology and ecology of shallow waters*. 28 Embs symposium. Edited by Eleftheiou *et al.* Published by Olsen & Olsen Helstedsvej 10 dk-3480 Fredensborg Denmark, International Symposium series, 233-242.
- Soto, L.A., Sánchez-García, S., López-Veneroni, D., 2004. Ambientes influidos por emanaciones naturales de hidrocarburos y gas en el suroeste del Golfo de México. *Universidad y Ciencia* 1, 51-58.
- Tripp-Valdez, A., Arreguín-Sánchez, F., Zetina-Rejón, M.J., 2015. The use of stable isotopes and mixing models to determine the feeding habits of soft-bottom fishes in the southern Gulf of California. *Cahiers de Biologie Marine* 56(1), 13-23.
- Valls, M., Sweeting C.J, Olivar, M.P., Fernández de Puellas, M.L., Pasqual C., Polunin, N.V.C., Quetglas, A., 2014. Structure and dynamics of food webs in the water column on shelf and slope grounds of the western Mediterranean. *Journal of Marine Systems* 138, 171-181.
- Wade, T.L., Kennicutt II, M.C., Brooks, J.M., 1989. Gulf of Mexico Hydrocarbon Seep Communities: Part III. Aromatic Hydrocarbon Concentrations in Organisms, Sediments and Water. *Marine Environmental Research* 27, 19–30.
- Wells, R.J.D., Rooker, J.R., 2009. Feeding ecology of pelagic fish larvae and juveniles in slope waters of the Gulf of Mexico. *Journal of biology* 75, 1719-1732.
- Wilson, R.M., Cherrier, J., Sarkodee-Adoo J., Bosman, S., Mickle, A., Chanton, J.P., 2015. Tracing the intrusion of fossil carbon into coastal Louisiana macrofauna using natural  $^{14}\text{C}$  and  $^{13}\text{C}$  abundances. *Deep-Sea Research II* 129, 89-95.

- Woodland, R.J., Secor, D.H., 2013. Benthic-pelagic coupling in temperate inner continental shelf fish assemblage. *Limnology and Oceanography* 58(3), 966-976.
- Yáñez-Arancibia, A., Day, J.W., 2004. Environmental sub-regions in the Gulf of Mexico coastal zone: the ecosystem approach as an integrated management tool. *Ocean Coastal Management* 47, 727–757.
- Zavala-Hidalgo, J., Gallegos-García, A., Martínez-López, B., Morey, S.L., O'Brien J.J., 2006. Seasonal upwelling on the Western and Southern Shelves of the Gulf of Mexico. *Ocean Dynamics* 56, 333-338.
- Zavala-Hidalgo, J., Morey, S.L., O'Brien J.J., 2003. Seasonal circulation on the western shelf of the Gulf of Mexico using a high-resolution numerical model. *Journal of Geophysical Research* 108 (C12), 3389.
- Zetina-Rejón, M.J., Cruz-Escalona, V.H., Arcos-Huitrón, N.E., Campos-Dávila, L., Arreguín-Sánchez, F., 2012.  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  in Dominant Demersal Fish Species in The Southern Gulf of Mexico. *Journal of Fisheries and Aquatic Science* 7(5), 320-330.