

03065



POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGIA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Se hizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Simón Sánchez
García

FECHA: 6/12/03

FIRMA: [Signature]



DETERMINACIONES ISOTOPICAS DE CARBONO Y NITROGENO EN SEDIMENTOS Y BIOTA ASOCIADOS A EMANACIONES NATURALES DE HIDROCARBUROS FOSILES EN EL BANCO DE CAMPECHE, MEXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS DEL MAR
(OCEANOGRAFIA QUIMICA)**

P R E S E N T A

Q. SIMON SANCHEZ GARCIA

DIRECTOR DE TESIS: DR. LUIS A. SOTO G.

- DR. ALFONSO VAZQUEZ BOTELLO PRESIDENTE
- DR. LUIS A. SOTO GONZALEZ SECRETARIO
- DRA. MA. ESTHER RUIZ SANTOYO VOCAL
- DR. DIEGO LOPEZ VENERONI SUPLENTE
- DR. ALEJANDRO ORTEGA OSORIO SUPLENTE

MEXICO, D.F., 2003

M. 314926



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.

ÍNDICE

RESUMEN	i, ii
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 ESTUDIO DE ISÓTOPOS ESTABLES EN TRAMAS TRÓFICAS	2
1.2 ESTUDIOS ISOTÓPICOS EN HIDROCARBUROS FÓSILES	3
2 ANTECEDENTES	5
2.1 ESTUDIOS ISOTÓPICOS EN TRAMAS TRÓFICAS	6
2.2 ESTUDIOS ISOTÓPICOS DE PETRÓLEO EN EL GOLFO DE MÉXICO	9
3 HIPÓTESIS DE TRABAJO	11
4 ÁREA DE ESTUDIO	11
5 METODOLOGÍA	15
5.1 MUESTREO	15
5.2 PROCESADO DE MUESTRAS	15
5.3 PREPARACIÓN Y COMBUSTIÓN DE MUESTRAS PARA LA GENERACIÓN DE CO ₂ Y N ₂	16
5.4 SEPARACIÓN CRIOGÉNICA DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN	16
5.5 ANÁLISIS EN EL ESPECTRÓMETRO DE MASAS DE ISÓTOPOS ESTABLES	18
6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
6.1 ANÁLISIS ISOTÓPICOS DE CARBONO Y NITRÓGENO DE SEDIMENTOS Y MACROINVERTEBRADOS DE LA ZONA DE EMANACIÓN NATURAL DE HIDROCARBUROS FÓSILES (ENHF)	19
6.1.1 ISÓTOPOS DE CARBONO EN SEDIMENTOS	19
6.1.2 ISÓTOPOS DE CARBONO EN MACROINVERTEBRADOS	23
6.1.3 ISÓTOPOS DE NITRÓGENO EN SEDIMENTOS DEL ÁREA DE LA ENHF	26
6.1.4 ISÓTOPOS DE NITRÓGENO EN MACROINVERTEBRADOS	29
6.2 ESTUDIOS DE ¹² C/ ¹³ C Y ¹⁵ N/ ¹⁴ N DE SEDIMENTOS Y ORGANISMOS DE LAS ZONAS DE REFERENCIAS	31

6.2.1 ISÓTOPOS DE CARBONO EN SEDIMENTOS	31
6.2. ISÓTOPOS DE CARBONO EN MACROINVERTEBRADOS	37
6.2.3 ISÓTOPOS DE NITRÓGENO EN SEDIMENTOS	39
6.2.4 ISÓTOPOS DE NITRÓGENO EN ORGANISMOS	41
7 CONCLUSIONES	44
8 LITERATURA CITADA	46
9 ANEXOS	I, II, III, IV, V, VI

DEDICATORIA

Generalmente los logros no se obtienen individualmente, casi siempre son el resultado de un gran equipo por eso dedico este humilde trabajo a mi esposa Ángeles y a mi hija Miranda por el gran amor y apoyo que siempre me dan.

También dedico este trabajo a mi madre por el simple hecho de traerme a este mundo y sobre todo por el amor y cariño que siempre me ha dado.

A mi hermana Silvia con todo el amor del mundo, porque nunca lograre pagarle su amor, su apoyo incondicional y los valores humanos que me enseñó.

A mi hermano Jaime por haber sido mi mejor amigo.

A mis hermanos: Andrés, Ernesto, Diana y Sandra por brindarme su gran amor, amistad y apoyo durante toda mi vida.

A mis suegros, cuñadas, cuñados y sobrinos por todos estos momentos tan gratos que he vivido con ellos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se logró realizar gracias a la ayuda de algunas personas e instituciones que sin su valiosa colaboración tal vez no se hubieran alcanzado todos los objetivos planteados, por lo que les agradezco sinceramente:

Al Dr. Luis Soto (ICM y L) por su amistad, paciencia y todo el apoyo y experiencia para introducirme al maravilloso universo de los isótopos.

Al Dr. Diego López Veneroni (IMP) por regalarme desinteresadamente su amistad y todo un mundo de conocimientos en isótopos.

Al Ingeniero Manuel Escudero Badillo (IMP) por su valiosa ayuda en el laboratorio de isótopos y brindarme su amistad.

Al Dr. Alejandro Ortega Osorio (IMP) por su valiosa colaboración durante la realización y la terminación de este trabajo.

A la Dra. Ma. Esther Ruiz Santoyo (IMP) por sus consejos y la revisión de este escrito.

Al Dr. Alfonso Vázquez Botello (ICM y L) por su apoyo, disponibilidad y las observaciones hechas a esta tesis.

Al ICM y L de la UNAM porque los resultados de investigación presentados en este estudio forman parte del proyecto PROB-MEX (602) auspiciado por el mismo.

A todos mis profesores del ICM y L por enseñarme a aplicar la química a la oceanografía.

Al IMP porque parte de esta investigación se llevo a cabo con el apoyo del proyecto FIES 98-61-VI Ecología de los Ecosistemas Arrecifales del Banco de Campeche.

Al IMP por haberme otorgado una beca durante la realización de la tesis y el permitirme utilizar sus instalaciones para realizar este trabajo de investigación.

A mis amigos del ICM y L: Carlos De Luna, Marcelo, Ruth, Héctor, Antonio,

A Sergio por su amistad franca y desinteresada.

A Norma Suazo por todo el apoyo administrativo que me brindo.

Y a todos aquellos que de alguna manera u otra hicieron agradable mi estancia dentro del Instituto.

RESUMEN

En la Sonda de Campeche, Golfo de México se realizan importantes actividades petroleras. De acuerdo con sus características geológicas y geoquímicas, es una región con un alto potencial de emanaciones naturales de hidrocarburos fósiles (ENHF), conocidas en México como chapopoterías y en inglés como seeps. La localización en el SW del Golfo de México no están enteramente documentadas y no existen registros suficientes sobre los efectos de los hidrocarburos fósiles o metano en el subsistema béntico en comparación con el NW del Golfo de México.

En este trabajo se realizaron determinaciones isotópicas de carbono y nitrógeno en organismos macrobénticos para deducir si los hidrocarburos o el metano en una zona de emanación son asimilados por la comunidad béntica del sitio de Cantarell como su principal fuente de carbono, considerando también otras fuentes potenciales de carbono como la productividad primaria y materia orgánica particulada (MOP) local así como la materia orgánica continental aportada por sistemas estuarinos y lagunares, e inferir la complejidad trófica de la comunidad en estudio.

Se compararon los valores isotópicos de carbono y nitrógeno en sedimentos y organismos de la ENHF, con los obtenidos en sitios de referencia próximos a la desembocadura de los ríos Coatzacoalcos, Grijalva-Usumacinta, al sistema lagunar de Carmen y Machona y Laguna de Términos, así como los registrados en zonas marinas, frente a los lugares antes mencionados.

Los valores isotópicos de carbono y nitrógeno registrados en sedimentos y organismos de la zona de emanación no corresponden a señales isotópicas características de una ENHF, de metano, ni de materia orgánica continental exportada por la Laguna de Términos o los ríos Grijalva-Usumacinta. Estos valores coinciden con los valores isotópicos de sedimentos típicamente marinos registrados en estudios previos. Se concluye que la principal fuente de carbono orgánico aportado a estos sedimentos y que sostienen a la comunidad béntica proviene de la materia orgánica particulada, que es originada en gran parte del remanente detrital del plancton. Se observa un sólo nivel trófico entre ellos, y es evidente que no se trata de una

comunidad compleja por el tipo de asimilación del carbono. Los resultados obtenidos indican que estos organismos se encuentran por encima del nivel trófico de los productores primarios y del zooplancton.

En los sitios de referencia se registró un gradiente de valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en sedimentos, más evidente en el caso del $\delta^{13}\text{C}$. En sitios a lo largo de la plataforma continental (< 70 m de profundidad), los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en los sedimentos superficiales son -24.1 a -24.6 ‰ y para el $\delta^{15}\text{N}$ son 4.7 a 3.0 ‰ incrementándose a valores de -22.6 a -21.9 ‰ para el carbono y disminuyendo hasta 2.0 ‰ para el nitrógeno hacia profundidades mayores (> 100 m) con más influencia oceánica.

Con base en los hábitos alimenticios (detritívoro y carroñero) de los camarones peneidos colectados en los sitios de referencia, a los valores de $\delta^{13}\text{C}$ obtenidos en este estudio (-16.5 a -18.4 ‰) y registros previos con valores de -15.3 a -19.7 ‰, se infiere que estos organismos tienen una dieta combinada y que el valor isotópico de carbono y nitrógeno es el reflejo del suministro de diferentes fuentes de carbono. Los aportes de materia orgánica continental de los ríos Coatzacoalcos, Grijalva-Usumacinta, lagunas de Carmen, Machona y Términos son las principales fuentes de carbono que alimentan a estos organismos.

Se concluye que el efecto del aporte de carbono por emanaciones de existir es mínimo al igual que la materia orgánica continental y que la mayor parte de carbono orgánico es suministrado a la comunidad béntica de Cantarell por la productividad primaria (como MOP).

1. INTRODUCCIÓN

En la naturaleza todos los átomos de un elemento contienen el mismo número de electrones y protones, pero algunos pueden tener diferente número de neutrones. A estos elementos se les conoce como isótopos que en griego significa mismo lugar (Zumdahl 1992). La proporción de isótopos estables en la naturaleza para el carbono 12 es de 98.89 % y de 1.11 % para el carbono 13. Para el nitrógeno 14 es de 99.64 % y de 0.36 % para el nitrógeno 15. A estas relaciones isotópicas se les conoce como abundancias relativas de isótopos. Las abundancias relativas contenidas en los compuestos orgánicos e inorgánicos juegan un papel importante para el estudio de los procesos naturales, ya que dejan huella de su procedencia y transformación durante su intervención en ciclos biogeoquímicos.

La técnica de mayor precisión que se emplea para determinar esta proporción isotópica es la medida del contenido natural de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, y de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ (y de otros isótopos) por espectrometría de masas de isótopos estables. Este valor se expresa como el cociente de la abundancia de los átomos estables de carbono 13 y 12 ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) y de nitrógeno 15 y 14 ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$), los cuales están referidos a un patrón internacional. Para el carbono se utiliza una belemnita de la formación Pedee del Cretácico (PDB) de Carolina del Sur. Para el nitrógeno se usa aire atmosférico. El $\delta^{13}\text{C}$ y el $\delta^{15}\text{N}$ son una medida de la abundancia relativa de ^{13}C y ^{15}N a un material de referencia. Las unidades del δ son expresadas como partes por mil (‰, Owens 1987).

Si el valor de δ es mayor que el estándar indica que la muestra está enriquecida en ^{15}N o ^{13}C , y si por el contrario el valor es menor que el estándar es indicativo que la muestra está empobrecida con relación al estándar.

La ecuación con la que se calcula la relación isotópica para el carbono y el nitrógeno es la siguiente:

$$\delta^Y X = \frac{(^Y X / ^{Y-1} X)_{\text{mta.}} - (^Y X / ^{Y-1} X)_{\text{std.}}}{(^Y X / ^{Y-1} X)_{\text{std.}}} * 1000$$

donde:

${}^YX = {}^{13}\text{C}$ o ${}^{15}\text{N}$ isótopo más pesado

${}^{Y-1}X = {}^{12}\text{C}$ o ${}^{14}\text{N}$ isótopo más ligero

$\delta {}^YX$ = valor obtenido en ‰

$({}^YX / {}^{Y-1}X)_{\text{mta.}}$ = la relación que hay entre el isótopo más pesado y el más ligero en la muestra.

$({}^YX / {}^{Y-1}X)_{\text{std.}}$ = la relación que hay entre el isótopo más pesado y el más ligero en el estándar.

La partición de isótopos entre dos sustancias con diferente relación isotópica es conocido como fraccionación isotópica. Los principales fenómenos que pueden producir fraccionación isotópica son: reacciones de intercambio isotópico y procesos cinéticos, principalmente los que dependen de diferencias en velocidades de reacción de moléculas isotópicas (Geyer 1980).

1.1 ESTUDIO DE ISÓTOPOS ESTABLES EN TRAMAS TRÓFICAS

Debido a que estos isótopos son importantes como trazadores naturales (Fritz 1980), algunos estudios ambientales, biogeoquímicos, metabólicos, hidrológicos, agronómicos, ecológicos, petroleros y oceanográficos, se han enfocado a la medición de isótopos del carbón y nitrógeno (Mariotti 1983; Owens 1987). El estudio de la relación de isótopos estables es útil para poder inferir cuál es el origen, las transformaciones y los flujos de la materia orgánica así como la complejidad trófica de un ecosistema.

La distribución isotópica en animales está estrechamente relacionada con la composición isotópica de su dieta (DeNiro y Epstein 1978, 1981), por lo que el incremento en los valores de $\delta {}^{15}\text{N}$ indican que hay un incremento en niveles tróficos. Esta propiedad justifica el uso de isótopos de nitrógeno como un indicador trófico en sistemas marinos. Por otra parte, los valores isotópicos del carbón y sus cambios indican las posibles fuentes potenciales de carbono en tramas tróficas (Fry 1988).

DeNiro y Epstein (1978 y 1981) reportaron la relación de la composición isotópica de carbono y nitrógeno que hay entre un organismo y su dieta bajo ciertas condiciones de laboratorio. Los resultados obtenidos revelaron

que los organismos poseían valores más enriquecidos en ^{15}N y ^{13}C relativos a su dieta. Se observó un promedio de fraccionación de + 3.0 a + 2.5 ‰ para el $\delta^{15}\text{N}$ y de 1.0 a 1.5 ‰ para $\delta^{13}\text{C}$.

1.2 ESTUDIOS ISOTÓPICOS EN HIDROCARBUROS FÓSILES

Algunas de las fuentes contaminantes de hidrocarburos fósiles al medio marino son las actividades de exploración, extracción y transporte. Otra fuente importante de aporte de petróleo al océano son las emanaciones naturales de hidrocarburos fósiles (ENHF) y de gas (metano), conocidas comúnmente en México como chapopoterías y seeps en inglés (Wilson *et al.* 1974).

Las emanaciones pueden ser originadas por diferentes causas de acuerdo a las condiciones geológicas y geoquímicas incluyendo la apertura de un reservorio de petróleo, fugas a lo largo de fallas, fracturas asociadas con diapiros que son formados por la migración ascendente de petróleo y gas a través de la superficie de una falla (Wilson *et al.* 1974; MacDonald *et al.* 1993), y también por el estrés tectónico o intrusión de esquistos o rocas ígneas, tectonismo y emanación directa de la roca madre.

Se han calculado cantidades de hidrocarburos fósiles emanados al medio marino de 22.30 m³ en 1000 km²/día y una cantidad de 20,000 m³/año (120,000 barriles por año) en algunas emanaciones en Louisiana (MacDonald *et al.* 1993). Otras estimaciones de emanaciones de hidrocarburos fósiles al medio marino han sido efectuadas por Wilson *et al.* (1974).

El Golfo de México es una de las regiones petroleras más productivas del mundo, principalmente la región de la Sonda de Campeche. Cabe señalar que la fuente de petróleo que se encuentra en la cuenca de la Sonda de Campeche representa aproximadamente el 70% del total de las reservas y producción petroleras mexicanas (Guzmán y Mello 1999). La Zona Económica Exclusiva de México (ZEE), del Golfo de México fue clasificada por Wilson *et al.* (1974) como una región con un alto potencial de ENHF, de acuerdo a sus características geológicas y geoquímicas. Algunas ENHF han sido localizadas en la Laguna de Tamiahua, Tampico, México (Geyer 1980).

Las emanaciones en el piso oceánico pueden ser detectadas a través de datos geofísicos, muestras de sedimentos, presencia de fauna quimiosintética y observaciones directas. Las manchas de petróleo fósil de la superficie

marina originadas por emanaciones naturales pueden ser detectadas y cuantificadas por sensores remotos (MacDonald *et al.* 1993).

Algunos investigadores han efectuado estudios sobre isótopos de carbono en sedimentos marinos y organismos bénticos en emanaciones naturales de hidrocarburos fósiles en el talud continental de Louisiana en el norte del Golfo de México, revelando que la fuente de carbono de estos organismos es quimiosintética, lo que demuestra la importancia de éstos fenómenos en las tramas tróficas cercanas a ellas (Kennicutt *et al.* 1985).

El presente estudio tiene como objetivo determinar con la ayuda de isótopos estables de carbono y nitrógeno en la zona de emanación de Cantarell entre las plataformas petroleras denominadas Nohoch A y Akal C la Sonda de Campeche:

- a) la posible influencia de la ENHF y de metano en la adaptación de los organismos a medios extremos (quimiosíntesis de hidrocarburos)
- b) las posibles fuentes potenciales de aporte de materia orgánica a la comunidad béntica: como lo son el sistema de ríos Grijalva-Usumacinta, la Laguna de Términos, así como la productividad primaria marina
- c) evaluar la complejidad trófica de la trama alimenticia
- d) confirmar la presencia de hidrocarburos fósiles en los sedimentos

También se podrá inferir si la trama trófica es complejidad, ya que la dieta en carbono y nitrógeno como fuente de energía y relación trófica en los ecosistemas de emanaciones naturales de hidrocarburos fósiles, pueden ser complejas y diversas (Brooks *et al.* 1987).

De las ENHF de la Sonda de Campeche no existen registros suficientes sobre los efectos de los hidrocarburos fósiles o metano en este subsistema béntico en comparación con el norte del Golfo de México (i.e. costa de Louisiana y Texas y escarpado de Florida; en donde se han reportado la localización geográfica de las ENHF y algunas estimaciones de cantidades emanadas al océano (MacDonald *et al.* (1993); Wilson *et al.* (1974)). Así como la presencia de biomasa quimiosintética lo que refleja una relación directa entre ambientes químicos inducidos por ENHF y metano a proceso quimiosintéticos (Kennicutt *et al.* 1988a).

2. ANTECEDENTES

2.1 ESTUDIOS ISOTÓPICOS EN TRAMAS TRÓFICAS

En el SW del Golfo de México se han llevado a cabo estudios de isótopos estables por varios autores ya que este lugar constituye un importante subsistema dentro de un gran ecosistema marino. Estos estudios se han utilizado para análisis ecológicos y para establecer las principales fuentes de carbono en tramas tróficas por medio de la relación de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, así como para reconocer la complejidad trófica por medio de la relación de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ en comunidades bénticas marinas y estuarinas.

Soto *et al.* (1980) efectuaron estudios de isótopos estables de carbono en sedimentos y organismos en el SW del Golfo de México, para reconocer la principal fuente de carbono en una comunidad béntica. Los resultados muestran que los organismos utilizan carbón orgánico biogénico marino y terrestre. Estos autores suponen que la principal fuente de carbono orgánico abastecido a esta comunidad béntica del Banco de Campeche es aportada por la Laguna de Términos y el sistema Grijalva-Usumacinta.

Soto y Escobar-Briones (1995) efectuaron mediciones de isótopos estables de carbono y nitrógeno en la plataforma continental del SW del Golfo de México y determinaron tramas tróficas en una comunidad béntica. Los resultados de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ revelan que la composición dominante correspondió a los organismos de la macrofauna epibéntica: decápodos, crustáceos y peces que muestran valores característicos de niveles tróficos altos. Para algunos camarones peneidos obtuvieron valores isotópicos característicos de una mezcla de fuentes de carbono marino y estuarino. Estudios anteriores realizados por Botello *et al* (1987) de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ en sedimentos en el Banco de Campeche, revelaron que las principales fuentes potenciales de carbono son tanto de origen continental como marino y su distribución espacial refleja la interrelación de tres ambientes sedimentarios de carbón orgánico para ésta área:

1. zona que recibe los aportes de materia orgánica proveniente de los ríos Grijalva-Usumacinta, y de las lagunas Carmen y Machona y Mecoacán en el estado de Tabasco, con un $\delta^{13}\text{C}$ de -22.7‰ ,
2. zona que representa valores típicos marinos situada frente a la Laguna de Términos, con un $\delta^{13}\text{C}$ de -21.0‰ ;
3. zona en la porción carbonatada de la Plataforma del Banco de Campeche, con un $\delta^{13}\text{C}$ de -19.8‰ .

En la zona costera Raz-Guzmán (1987) y Raz-Guzmán y De la Lanza (1991), caracterizaron el $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ de la Laguna de Términos incluyendo la vegetación acuática, detritos, sedimentos superficiales y organismos. Los resultados obtenidos, esencialmente de los sedimentos, les permitieron dividir a la laguna en dos áreas isotópicamente diferentes: una predominantemente marina y una segunda zona estuarina que refleja la influencia del carbono orgánico de origen terrestre sobre la materia orgánica depositada en los sedimentos de dicha área. Los valores isotópicos característicos de vegetación acuática de la laguna que realiza una fotosíntesis mediante el mecanismo de C_4 y C_3 ⁽¹⁾ y el valor isotópico de carbón en organismos mostraron que la fuente de carbono orgánico proviene de diferentes orígenes.. Raz-Guzmán (1995) también efectuó estudios sobre las relaciones isotópicas de la materia orgánica de la Laguna de Términos y la Sonda de Campeche y su variación estacional. Para su estudio dividió el área geográfica en zonas estuarinas y oceánicas, obteniendo como resultado que éstas se diferenciaron principalmente por la amplitud de los intervalos de valores isotópicos. Lo anterior se debe aparentemente al mayor número de especies de productores primarios con composición isotópica diferente, característica de sistemas estuarinos del Golfo de México. En la zona marina los valores isotópicos representaron al fitoplancton con un valor isotópico homogéneo (-21.4 ‰). Las comunidades estuarinas exhibieron de 3 a 4 niveles tróficos. Esta autora señala que la Laguna de Términos no exporta materia orgánica a la Sonda de Campeche. La variabilidad isotópica temporal no se registró en ninguna localidad.

Fry *et al.* (1978) efectuaron estudios en una comunidad biológica costera en Texas, con el objetivo de analizar la trama alimenticia por medio de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ en plantas, insectos, roedores y pequeños mamíferos. Los resultados mostraron que los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de las plantas analizadas correspondían a dos distintos grupos de plantas C_4 y C_3 . Así mismo, algunos grupos de insectos pertenecían a dos grupos similares a la de estas plantas, y los valores isotópicos de los demás organismos correspondían a valores intermedios. Esto indicó que los roedores herbívoros aparentemente tienen una mezcla de dietas utilizando plantas C_4 y C_3 .

Fry (1978) llevó a cabo un estudio sobre la estructura de la trama alimenticia en el Banco de George a través de la composición isotópica estable de carbono, nitrógeno y azufre que le sirvieron para trazar las relaciones

¹ El Ciclo de Calvin o C_3 es donde las plantas sintetizan compuestos orgánicos como el ácido 3-fosfoglicérico de 3 átomos de carbono. El ciclo Hatch-Slack o C_4 es el proceso en el cual las plantas sintetizan compuestos dicarboxílicos como el ácido oxálico con 4 átomos de carbono. Bidwell 1979.

tróficas en este importante banco pesquero. En este estudio se registraron valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ con un enriquecimiento de isótopos pesados entre algunos organismos y sus alimentos. El $\delta^{13}\text{C}$ se estimó en 1.0 ‰ por nivel trófico y para el $\delta^{15}\text{N}$ el enriquecimiento fue del 3.0 al 4.0 ‰. De la composición de los tres isótopos estables, sólo los análisis de $\delta^{15}\text{N}$ revelaron una mayor regularidad en los resultados por lo que se consideró a este isótopo como un buen indicador de niveles tróficos. Sus resultados indican que el número de niveles tróficos puede ser calculado por los resultados de $\delta^{15}\text{N}$ utilizando un incremento de 3.6 ‰ para indicar un aumento de nivel trófico. Los valores de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ mostraron evidencias de dos posibles fuentes isotópicas de carbono distintas como base de esta trama trófica. El incremento del $\delta^{15}\text{N}$ de 3.0-4.0 ‰ y del 1.0 ‰ para el $\delta^{13}\text{C}$ por nivel trófico es similar a los observados en estudios de laboratorio (DeNiro y Epstein 1978 y 1981).

Macko *et al.* (1984) realizaron estudios isotópicos de carbono y nitrógeno en sedimentos y materia orgánica particulada (MOP) en la plataforma continental del sur de Florida y de Texas-Louisiana, para contrastar las diferencias isotópicas del E y W del Norte del Golfo de México. Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de la materia orgánica particulada de ambas localidades mostraron diferencias significativas. En la plataforma de Texas-Louisiana los valores estimados son típicos de nitrato de aguas oceánicas mientras que en la plataforma de Florida los valores resultaron cercanos al nitrógeno atmosférico. También se observaron diferencias en $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ en los sedimentos de ambos sitios.

La MOP en el océano es originada esencialmente por el remanente detrital del plancton, en la zona eufótica y refleja la población la población del plancton viviente. La MOP sufre cambios biológicos en su composición química, en compuestos lábiles como los aminoácidos y azúcares que empiezan a degradarse preferentemente antes que los componentes lipídicos refractarios. La degradación biológica de la MOP depende entre otros factores del tiempo de residencia en la columna de agua, y los valores isotópicos son comparables con el plancton viviente en la superficie en tanto que el valor de $\delta^{13}\text{C}$ se incrementa con la profundidad (Hoefs 1987). Ostrom *et al.* (1997) determinaron la composición isotópica de carbono y nitrógeno en materia orgánica particulada y seston de Bahía Concepción, Newfoundland observando que el sestón estaba más enriquecido que el nitrato (NO_3^-) y sugirieron que la actividad microbiana aportaba el nitrógeno a los productores primarios. En

la primavera el valor del $\delta^{13}\text{C}$ del sestón fue de -23.0‰ y del sedimento fue de -21.4‰ . Estas diferencias sugieren que ambos tienen diferente origen y son afectados de manera desigual durante los ciclos biogeoquímicos, no así durante y después de julio cuando tienen valores de $\delta^{13}\text{C}$ similares lo que sugiere un origen común. Los valores isotópicos de nitrógeno para la materia orgánica particulada experimentaron un enriquecimiento. Para el $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ese gradiente no se observa porque los valores son muy similares, observando un empobrecimiento de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ para los meses de mayo y junio. Los cambios temporales observados en $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ se deben principalmente a la variación en la degradación, población, abundancia, y dinámica de crecimiento del fitoplancton y del zooplancton esencialmente.

Goering *et al.* (1990) estudiaron la variación estacional de la relación isotópica de carbono y nitrógeno en fauna béntica, peces demersales, materia orgánica particulada y sedimentos en dos bahías en Alaska. Los resultados del fitoplancton ($> 73\ \mu\text{m}$), alcanzaron una variabilidad en $\delta^{13}\text{C}$ de 2.5‰ y de 3.4‰ en $\delta^{15}\text{N}$, durante la primavera. Estos autores encontraron una correlación positiva del incremento de la temperatura con el $\delta^{13}\text{C}$ y el $\delta^{15}\text{N}$. También se presentó una correlación del $\delta^{15}\text{N}$ del fitoplancton y la concentración del nitrato y concluyeron que el nitrato fue la principal fuente de nitrógeno para el fitoplancton en el afloramiento de primavera. Finalmente notaron variaciones en los valores de estos isótopos del macrozooplancton ($> 505\ \mu\text{m}$) durante el ciclo de producción de primavera, de manera análoga al fitoplancton. Los valores de variación isotópica son de 2.0‰ para el $\delta^{13}\text{C}$ y de 1.0‰ para el $\delta^{15}\text{N}$. Para el macrozooplancton se apreció un enriquecimiento de 3.2‰ con $\delta^{15}\text{N}$ más positivo que el fitoplancton, lo cual pone de manifiesto los primeros niveles tróficos de la trama alimenticia. Asimismo distinguieron un enriquecimiento respecto al fitoplancton de 3.1‰ y 2.5‰ en el $\delta^{13}\text{C}$ de dos tipos de peces demersales juveniles, observando análogamente un enriquecimiento de 2.4‰ y 1.8‰ respectivamente más positivo que el zooplancton ($> 165\ \mu\text{m}$). Ambos peces presentaron un enriquecimiento de 7.1‰ y 6.0‰ en el $\delta^{15}\text{N}$, más positivo que el zooplancton; es evidente que los peces figuraron en uno de los niveles tróficos más altos de la cadena. Los valores de carbono en los sedimentos en una de las bahías mostraron un ligero empobrecimiento en $\delta^{13}\text{C}$ equiparado con el fitoplancton y los valores de nitrógeno reflejaron un enriquecimiento en $\delta^{15}\text{N}$ sobre el fitoplancton; esto demuestra que

posiblemente la mayor parte de carbono y nitrógeno son suministrados a los sedimentos de estas bahías de Alaska por el fitoplancton. Los invertebrados bénticos revelaron un amplio intervalo de valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, debido principalmente a la posición trófica que ocupan estos organismos. La meiofauna (compuesta esencialmente por nemátodos), no exhibió una variación estacional en estos isótopos.

2.2 ESTUDIOS ISOTÓPICOS DE PETRÓLEO EN EL GOLFO DE MÉXICO

La localización de las ENHF en el medio marino mexicano no está del todo documentadas por lo que se desconoce las cantidades de las emanaciones de hidrocarburos que emiten, y su influencia sobre la comunidad béntica.

Ortega-Osorio *et al.* (2000) reportaron en estudios de ecosondeo de penetración cambios de densidad del subsuelo marino que interpretaron como estratos sedimentarios de alta permeabilidad, que permiten el flujo ascendente de una mezcla gas-sólido de hidrocarburos, también percibieron la manifestación de burbujeo, resultado muy probablemente de la degasificación en el fondo. Evidencia adicional fue un fuerte olor a hidrocarburos y manchas iridiscentes superficiales en la zona de Cantarell (crucero PROB-MEX-III).

González (1997) determinó la concentración de hidrocarburos en sedimentos y la estructura de la comunidad béntica en una ENHF localizada entre las plataformas petroleras Nohoch A y Akal C de Petróleos Mexicanos (PEMEX), en el sitio de Cantarell Sonda de Campeche. Encontró que la concentración de los hidrocarburos fósiles fue de 100 a 1000 ppm y concluyendo que los organismos de la comunidad béntica se encontraban adaptados y en equilibrio con la ENHF.

En esta región, las actividad de exploración, explotación, derrames y transporte de hidrocarburos fósiles han sido muy grandes a través del tiempo, por lo cual es esencial mantener una vigilancia permanente sobre los efectos de la contaminación antropogénica del medio marino. A raíz de esta problemática de contaminación se han generado estudios enfocados a la cuantificación de los hidrocarburos fósiles en sedimentos, organismos y columna de agua, o la determinación de las propiedades fisicoquímicas, degradación y biodegradación, intemperización etcétera, así como el impacto que éste tiene en comunidades biológicas principalmente en las bénticas que están expuestas a hidrocarburos fósiles a ENHF crónicos o intermitentes.

Guzmán y Mello (1999) clasifican en cuencas y provincias al petróleo que existe en el Golfo de México y estados adyacentes (México) y cataloga al petróleo de la Sonda de Campeche dentro de la familia Titoniana con un valor de $\delta^{13}\text{C}$ de -27.0 a -27.7 ‰.

Botello y Castro (1980) llevaron a cabo estudios isotópicos en el petróleo derramado en el accidente del pozo Ixtoc-1 en la Sonda de Campeche. Hallaron que el $\delta^{13}\text{C}$ del petróleo de esta zona osciló entre -27.0 a -27.5 ‰. También encontraron que las fracciones saturadas y aromáticas tienen valores isotópicos muy semejantes al petróleo crudo sin fraccionar, por lo que concluyeron que el valor isotópico permanece casi inalterado después de un periodo de intemperización. Botello *et al.* (1987) efectuaron determinaciones de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ en sedimentos en la Sonda de Campeche. Los resultados de $\delta^{13}\text{C}$ en sedimentos colectados en las cercanías de las plataformas petroleras de Pemex revelaron la presencia de hidrocarburos fósiles, lo que pone de manifiesto que las actividades de las plataformas petroleras introducen hidrocarburos fósiles al medio marino.

Sweeney y Haddad (1980) realizaron un trazado del petróleo disperso por el derrame del pozo Ixtoc-1 sobre el Golfo de México empleando isótopos estables de C, H, S y N. Los valores isotópicos del carbono en breas y alquitranes del petróleo son muy similares a los reportados por Botello y Castro (1980) y Guzmán y Mello (1999). Los valores obtenidos para el $\delta^{15}\text{N}$ del petróleo crudo del pozo y lugares cercanos al mismo fueron $+0.63$ ‰ y -0.34 ‰, respectivamente. El intervalo de valores obtenidos de las muestras colectadas a grandes distancias del derrame son -0.80 a $+0.99$ ‰, por lo que concluyó que los valores isotópicos encontrados desde la Península de Yucatán hasta Brownsville Texas son isotópicamente similares al petróleo crudo del pozo Ixtoc-1.

Kennicutt *et al.* (1988a) llevaron a cabo estudios referentes a la distribución regional de la ENHF y fauna asociada frente al delta del Río Mississippi y el talud continental de Texas y estimaron concentraciones de hidrocarburos e isótopos de carbono en tejidos de organismos, con el objeto de inferir cuál podría ser la principal fuente de carbono. Las concentraciones de hidrocarburos obtenidas (n-alcenos) revelaron la presencia de una cantidad considerable de petróleo. Por otro lado, los resultados derivados de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ de algunos organismos quimiosintéticos revelaron que el carbono es isotópicamente ligero lo que indica la presencia de biomasa

quimiosintética. Estos datos reflejan una relación directa entre ambientes químicos inducidos por la ENHF y metano y los procesos quimiosintéticos en el talud continental del NW del Golfo de México.

Wade *et al.* (1989) efectuaron estudios en el NW del Golfo de México para determinar la concentración de hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAH), así como determinaciones de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ en organismos, columna de agua y sedimentos colectados cerca de una ENHF, con el objeto de inferir las fuentes de carbono en esta trama trófica. Los resultados mostraron varios grupos de organismos que de acuerdo a sus valores isotópicos son: heterótrofos, basados en sulfuro, metano y petróleo, por lo que es evidente que los valores empobrecidos en $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ fortalecen la idea de la presencia de carbono quimiosintético. Las concentraciones de los PAH tienen un intervalo de 121 a 7530 ng/g, lo que refuerza la evidencia de la presencia de petróleo en el área. Los organismos que presentaron un valor de δC^{13} más negativo contenían concentraciones de PAH muy altos, como reflejo de su alta exposición a la ENHF.

3. HIPÓTESIS DE TRABAJO

1. Los organismos bénticos en la zona de emanación en el sitio de Cantarell, en la Sonda de Campeche pueden utilizar como fuente potencial de carbono hidrocarburos fósiles, metano y el carbono fotoautotrófico ó continental.
2. La trama trófica del ambiente béntico del sitio Cantarell puede ser de naturaleza compleja.
3. Las señales isotópicas de sedimentos y organismos quimiosintéticos de la zona de emanación son diferentes a otros sitios marinos y costeros en la Bahía de Campeche.

4. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra situada en la Sonda de Campeche en el SW del Golfo de México (Lat. 95°- 90° Oeste y 21°-18.2° Norte)(Fig.1). Se localiza dentro de dos sistemas ecológicos: el primero es la Bahía de Campeche con gran influencia de aguas estuarinas, sedimento limo-arcilloso, pH de 7.6 a 8.3, oxígeno disuelto

igual a 4 ml/L, alta turbidez (7 a 43 % de transparencia), sin macrovegetación béntica, temperatura de 25 a 28 °C y salinidad de 35 a 37. El segundo sistema es el Banco de Campeche, con área de plataforma típicamente marina, arena con carbonato de calcio de 70 a 90 %, pH de 7.7 a 8.9, oxígeno disuelto mayor o igual a 4 ml/L, transparencia de 50 a 93 % y con pastos marinos y microalgas en el fondo. La temperatura y la salinidad son 26 a 29 °C y de 36 a 37 respectivamente. La zona de transición de estos dos sistemas es fluctuante y su cambio de posición se debe a variaciones estacionales (*vide en* Soto y Escobar-Briones 1995).

Tomando en consideración el contenido de carbonatos en los sedimentos, Carranza *et al.* (1993) propusieron tres zonas para la región sureste del Golfo de México: una terrígena con menos del 25%, una transicional entre 25 y 75 % y una carbonatada superior a 75% de carbonatos en su composición sedimentaria. Por lo tanto la zona en cuestión estaría localizada entre las zonas de transición y la terrígena.

En la sonda de Campeche los nitratos varían estacionalmente, en el verano se observan concentraciones bajas (0.03 y 0.07 $\mu\text{g-}\dot{\text{a}}\text{t/L}$) desde la superficie hasta los 70 m. En el otoño a los 10 m de profundidad se alcanza una concentración máxima (7.26 $\mu\text{g-}\dot{\text{a}}\text{t/L}$) debido entre otros factores, al efecto de afloramiento generado a través de la intensa circulación que en esta época constituyen los anillos ciclónicos (De la Lanza 1991).

La parte centro-oriental del Banco de Campeche es la más productiva en materia orgánica primaria, en tanto que en la parte occidental del mismo banco la materia puede ser transportada por las corrientes y acumularse en dicha zona (Licea y Santoyo 1991; De la Lanza 1991). Yáñez-Arancibia y Sánchez (1983) reportaron valores de materia orgánica sedimentaria en el mismo Banco de 2 a 4 % que es una cantidad considerable y refleja la gran productividad primaria en la superficie.

En el Golfo de México el flujo principal de las corrientes penetra por el Canal de Yucatán con dirección norte, formando la Corriente del Lazo (Capurro 1970; Monreal y Salas 1990). En las épocas cuando el flujo principal de la Corriente del Lazo se reduce, se provoca un estrangulamiento del meandro originando así la formación de anillos de masas de agua aislados llamados giros anticiclónicos, con temperaturas cálidas y salinas semejantes a la Corriente del Lazo. Posteriormente el giro anticiclónico se separa de la Corriente del Lazo, iniciando un desplazamiento hacia el oeste hasta llegar en un par de meses a las costas de Tamaulipas, en donde finalmente se

disipa. En el trayecto del anticiclón se forman anillos o giros ciclónicos, éstos al desplazarse dan origen a un ascenso aguas profundas con alta concentración de nutrientes y temperaturas más bajas a las del entorno. En la Bahía de Campeche, Monreal y Salas (1997) confirmaron la formación de giros ciclónicos en la Bahía de Campeche. Observaron un giro ciclónico durante el mes de febrero. Persistiendo en el mes de marzo este giro, sufriendo en su centro un desplazamiento hacia el oeste. En el mes de abril el giro tiende a desvanecerse y la corriente decrece al interior de la Bahía, principalmente en la costa sur, esta variación es necesaria para que se efectúe el cambio en dirección de la corriente, en el mes de mayo el giro ciclónico ha desaparecido completamente y la circulación se efectúa en la dirección este-oeste.

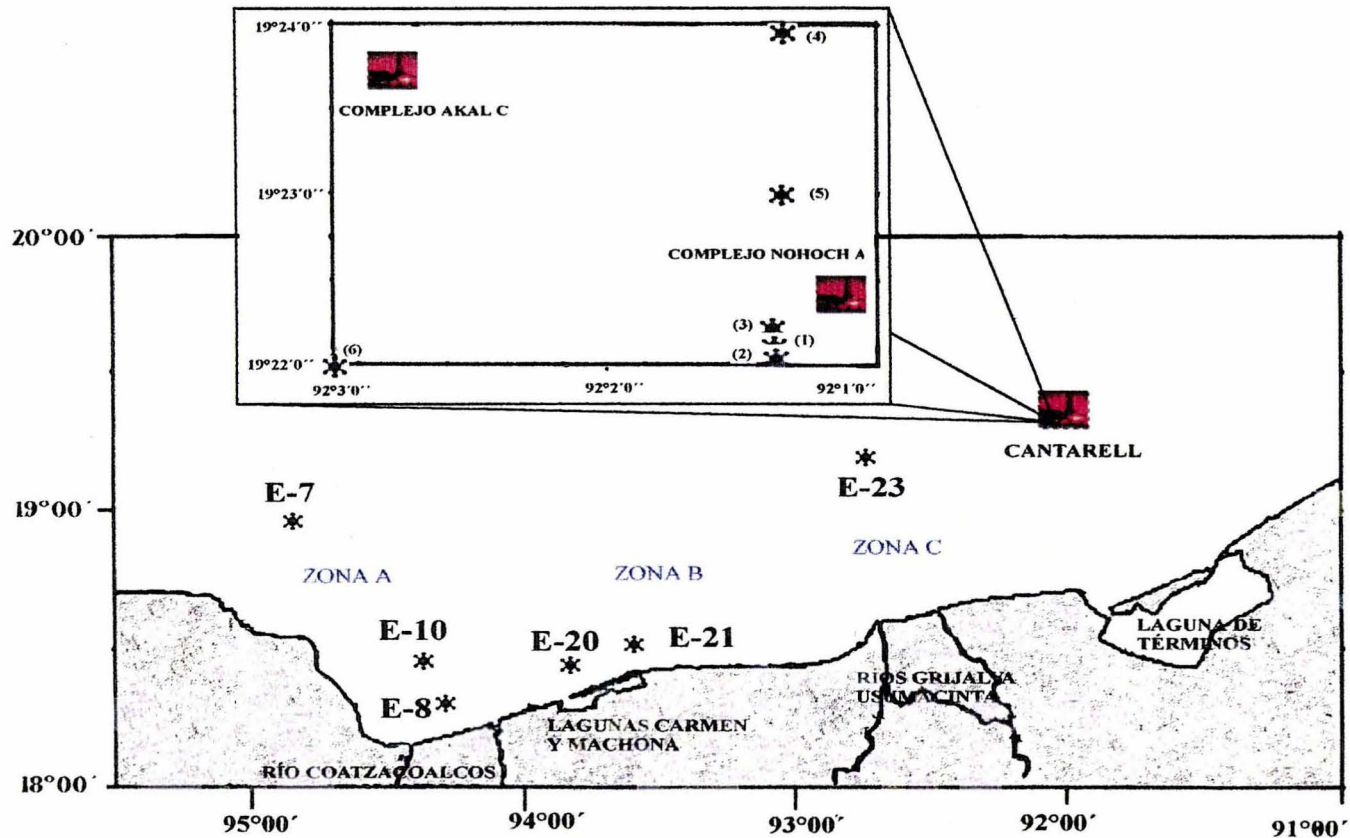


Fig. 1 Zona de estudio en el área de emanación natural de hidrocarburos fósiles, localizada dentro de las plataformas petroleras de Cantarell entre el complejo Nohoch A y Akal C. También se muestran las zonas de referencia; A, B y C. Los asteriscos representan las estaciones realizadas.

5. METODOLOGÍA

5.1 MUESTREO

Los materiales de este estudio se obtuvieron durante la exploración y reconocimiento de una zona de densa actividad petrolera en el Golfo de México que se llevó a cabo durante la campaña oceanográfica "PROB-MEX III" durante el periodo del 17 al 27 de marzo del 2000. El muestreo se realizó a bordo del B/O Justo Sierra, UNAM, en marzo del 2000, en la Sonda de Campeche (Fig. 1).

Se colectaron muestras de sedimentos en un nucleador de caja (box-corer) de 0.6 m² de área. La macrofauna formada por sipuncúlidos, ascidia, *Raninia l. poliqueto*, pepino de mar y *Squilla chydrea*, se colectó con una draga de arrastre tipo ancla en un sitio próximo a la ENHF, entre las plataformas petroleras de Akal C y Nohoch A de Petróleos Mexicanos. También se muestrearon los sitios de referencia al oeste y este de la desembocadura del río Coatzacoalcos (Zona A), al oeste del sistema lagunar de Carmen y Machona (Zona B) y frente a la desembocadura del sistema de ríos Grijalva-Usumacinta (Zona C). Las muestras de sedimento se conservaron en bolsas de plástico y los camarones se envolvieron en papel aluminio. Las muestras se guardaron en el congelador hasta su posterior análisis.

5.2.- PROCESADO DE MUESTRAS

Se utilizó el método empleado por Goering et al.(1990) para el procesado de las muestras:

1.-ORGANISMOS: se extrajo el tejido muscular de camarones peneidos, cangrejos braquiuros y otros macroinvertebrados. Las muestras de tejido fueron lavadas con agua destilada y se secaron en crisoles dentro de una estufa a 60 °C, durante 24 h. Posteriormente las muestras secas se pulverizaron con un mortero y pistilo de cristal y se guardaron en tubos viales de vidrio.

2.-SEDIMENTOS: se secaron en un crisol dentro de una estufa a 60°C, durante 24 h. Se pulverizaron con un mortero y pistilo de cristal, se trataron con HCl 2 M para eliminar carbonatos, se lavaron con agua destilada, se secaron de la misma forma que al inicio y posteriormente se pulverizaron y se almacenaron en tubos viales de vidrio.

5.3 PREPARACIÓN Y COMBUSTIÓN DE LAS MUESTRAS PARA LA GENERACIÓN DE CO₂ Y N₂

Se utilizó el método empleado por López-Veneroni (1998):

1. Se cortaron tubos de cuarzo en tramos de 30 cm.
2. Se selló uno de los extremos.
3. Se calentaron a una temperatura de 500 °C durante 3 horas para eliminar la materia orgánica existente.
4. Se pesó y se introdujo 2.5 g de óxido de cobre II (previamente se calentó el óxido a 500 °C durante 15 horas en la mufla) y 2 g de cobre elemental al tubo de cuarzo, junto con una pequeña cantidad de la muestra a analizar (para los sedimentos se pesó aproximadamente 200 mg y para los organismos cerca de 10 mg).
5. Se conectó el tubo de cuarzo a la línea de vacío y obteniendo un vacío de 2×10^{-6} mili torr, se selló el tubo con soplete (Fig. 2).
6. Los tubos se introdujeron a una mufla y se calentaron durante 2 horas a una temperatura de 850°C, para realizar la combustión de la materia orgánica y formar los gases de combustión deseados (CO₂ y N₂). Se disminuyó la temperatura a 600°C y se calentó durante una hora más a esta temperatura para evitar la formación de CO y posteriormente se apagó la mufla para enfriar hasta temperatura ambiente.

5.4 SEPARACIÓN CRIOGÉNICA DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN

Para medir la composición isotópica de C y N, en el espectrómetro de masas se procedió de la siguiente manera:

1. Se colocó el tubo con la muestra en el punto A de la línea de vacío y el tubo colector con la malla o tamiz molecular en el punto B y un tubo pirex en el punto C (Fig. 2).
2. Se creó un vacío de 2×10^{-6} mili torr en la línea, posteriormente se cerraron las válvulas de los puntos D y E.
3. En el segundo tubo colector se colocó un termo con nitrógeno líquido.
4. En la trampa de serpentín F se colocó un termo con una mezcla de hielo seco y etanol.
5. El tubo de la muestra (A) se congeló con nitrógeno líquido.
6. El tubo de la muestra (A) se rompió a la línea de vacío.
7. Después de esperar 10 minutos se colectaron la totalidad de los gases en la trampa de serpentín F.
8. Se abrió la válvula G.

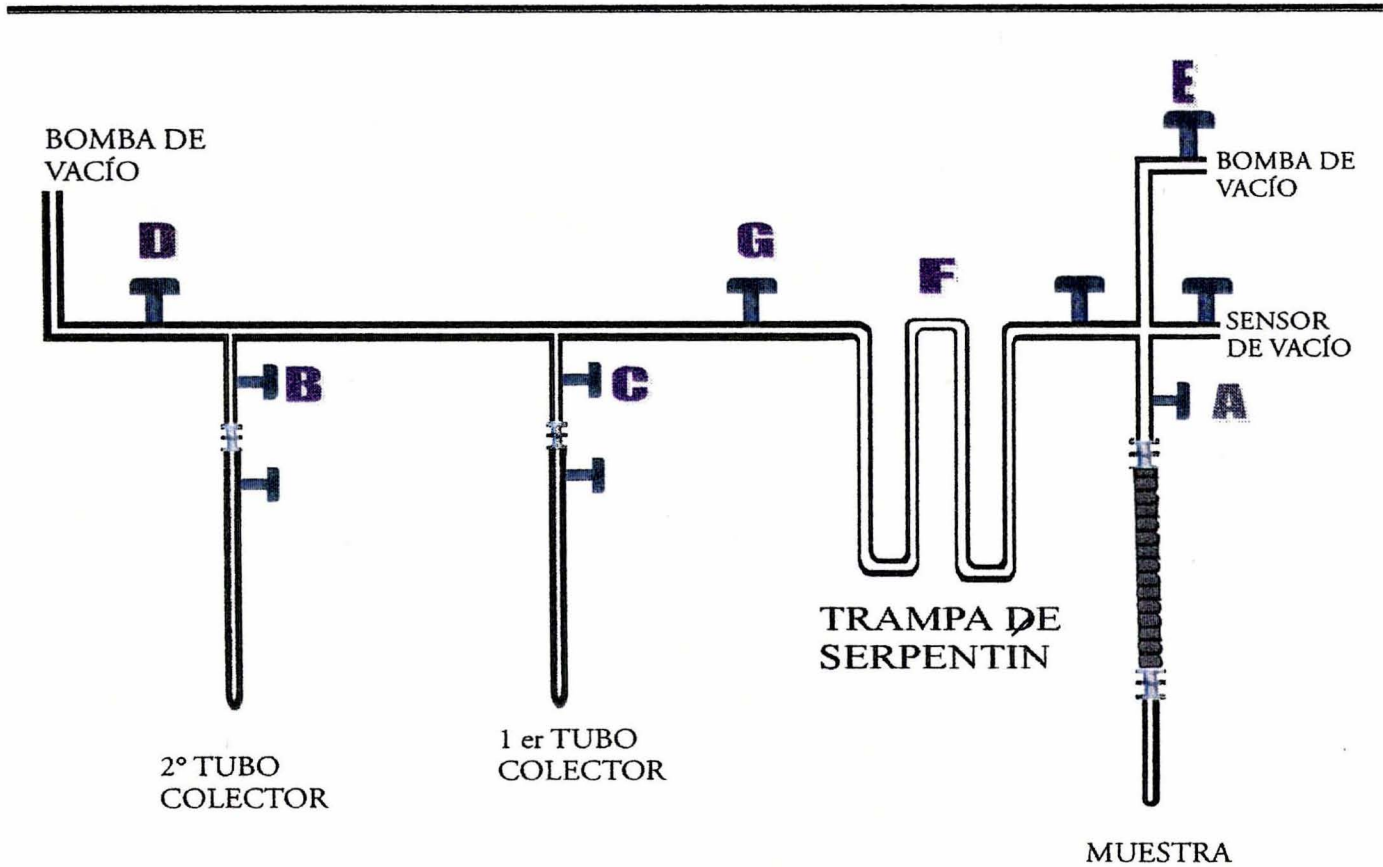


Fig. 2 Diagrama de la línea de vacío. La línea cuenta con dos bombas de vacío, un sensor de vacío, un dispositivo donde se incorpora el tubo con la muestra (CO_2 y N_2), una trampa y dos tubos colectores. Las símbolos en forma de T representan válvulas de paso.

9. Se esperó 10 minutos para que el nitrógeno se adsorbiera en la malla molecular en el segundo tubo colector.
10. Se cerró la válvula B de la trampa y el nitrógeno quedó dentro del tubo colector para su posterior análisis en el espectrómetro de masas
11. La muestra de carbón se colectó en el primer tubo colector, colocando el termo de nitrógeno líquido en el tubo, retirando el termo con la mezcla de alcohol hielo seco de la trampa de serpentín F, y calentando un poco.
12. Se abrió la válvula C para colectar el CO₂
13. Se esperó 10 minutos para atrapar todo el CO₂ en el tubo.
14. Se selló el tubo pirex con soplete para posteriormente analizar el CO₂ en el espectrómetro de masas.

5.5 ANÁLISIS EN EL ESPECTRÓMETRO DE MASAS DE ISÓTOPOS ESTABLES

El espectrómetro se calibró con un estándar de N₂ gas con un valor isotópico de -0.58 ‰ vs aire. El tubo colector de nitrógeno se conectó al espectrómetro de masas, posteriormente se calentó el tubo con una cinta de calentamiento para liberar el N₂ gas atrapado en la malla molecular y transferirlo al espectrómetro. Para el análisis del carbono el espectrómetro se calibró con un estándar de CO₂ gas con un valor isotópico de -39.80 ‰ vs. PDB (la precisión del espectrómetro es de 0.2 ‰). Posteriormente se conectaron los tubos que contenían el CO₂ de las muestras al espectrómetro y se les determinó su relación ¹³C/¹²C.

Las determinaciones isotópicas de carbono y nitrógeno de materiales sedimentarios y biológicos fueron efectuadas en los laboratorios de análisis isotópicos de las siguientes instituciones: Laboratorio de Isótopos Estables, Instituto Mexicano del Petróleo en un Mat Finnigan 252 ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, precisión 0.2 ‰); Laboratorio de Espectrometría de Masas de Isótopos Estables del Instituto de Geología, UNAM ($\delta^{13}\text{C}$, precisión 0.1 ‰) y en el Stable Isotope Laboratory MGG/RSMAS/ Universidad de Miami ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$). La intercalibración de los aparatos se detalla en el Anexo 1.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 ANÁLISIS ISOTÓPICOS DE CARBONO Y NITRÓGENO DE SEDIMENTOS Y MACROINVERTEBRADOS DE LA ZONA DE ENHF

6.1.1 ISÓTOPOS DE CARBONO EN SEDIMENTOS

Los valores isotópicos de carbono en los sedimentos en la zona de emanación tienen un intervalo de -21.0 a -21.6 ‰ observado una zona isotópicamente homogénea (Tabla 1). Los valores isotópicos en sedimentos de la Sonda de Campeche son parecidos a los encontrados por Soto *et al.* (1980), Botello *et al.* (1987) y Raz-Guzmán (1995), en la Sonda de Campeche; Botello *et al.* (1998), en Salina Cruz Oaxaca, Gearing *et al.* (1976) en la plataforma continental del Norte del Golfo de México; Gearing *et al.* (1977) en la zona marina de Louisiana, Texas, Tamaulipas y Veracruz; Macko *et al.* (1984) y López-Veneroni (1998) en el NW del Golfo de México; Libes (1983) en Perú y Golfo de Maine USA, Ostrom *et al.* (1997), en la Bahía Concepción, Newfoundland, Canadá, Goering *et al.* (1990), en Alaska y Wada *et al.* (1990) en la Bahía de Tokio. Los valores isotópicos registrados por estos autores son señales características de materia orgánica sedimentaria marina originada en gran parte por el remanente detrital del plancton (Tabla 2). Estos valores típicamente marinos procedentes esencialmente de la MOP, tienen un intervalo isotópico reducido, posiblemente debido a la relación que hay entre el fitoplancton con la temperatura y el carbón inorgánico disuelto. Estos factores juegan un papel importante en la determinación del $\delta^{13}\text{C}$ latitudinalmente (Rau *et al.* 1982).

En la Fig. 3 se presenta una gráfica de $\delta^{13}\text{C}$ vs $\delta^{15}\text{N}$ con los valores determinados en este estudio en sedimentos (y organismos) y valores de bibliográficos reportados por algunos autores de la Tabla 2. Se observa que los valores isotópicos de los sedimentos obtenidos en este trabajo coinciden con los valores isotópicos de sedimentos típicamente marinos.

En este estudio no se colectaron muestras de materia orgánica particulada (MOP) en la zona de emanación para análisis de isótopos de carbono: sin embargo, al comparar los valores isotópicos de sedimentos obtenidos en este trabajo con los de referencia citados en la Tabla 2 y Figura 3, donde se incluyen valores isotópicos de sedimentos

y MOP de origen marino, se puede inferir con base en los valores isotópicos de carbono que una fuente significativa de aporte de carbono orgánico a estos sedimentos proviene de la MOP y no de una emanación.

Tabla 1. RESULTADOS DE $\delta^{13}\text{C}$ Y $\delta^{15}\text{N}$ DE SEDIMENTOS DE LA ZONA DE ENHF

ESTACIÓN	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	LATITUD	LONGITUD	OBSERVACIONES*
1 (1-R1)	-21.0	4.1	19° 22' 07''	92° 02' 46''	P (m)=43 T (°C)= 24.2 Sedimento: lodoso, gris-verdoso
2 (1-R2)	-21.2	5.3	19° 22' 02''	92° 01' 23''	P (m)= 43.5 T (°C) = 24.0 Sedimento: lodoso, gris-verdoso
3 (1-R3)	-21.2	4.5	19° 22' 02''	92° 01' 16''	P (m)= 43 T (°C) = 24.5 Sedimento: lodoso, gris-verdoso
4 (2-R1)	-21.0	5.5	19°23'07''	92° 01' 16''	P (m)= 38 T (°C) = 24.2 Sedimento: lodoso, gris-verdoso
5 (2-REPLICA 2)	-21.2	5.2	19° 23' 02''	92° 01' 15''	P (m)= 39 T (°C) = 24.2 Sedimento: lodoso, gris-verdoso
6 (3-REPLICA 1)	-21.6	7.4	19°22' 26''	92° 03' 00''	P (m)= 42.1 T (°C) = 23.0 Sedimento: lodoso, gris-verdoso

* P: profundidad T: temperatura m: metros.

La fraccionación isotópica del carbón de los sedimentos es muy pequeña durante la descomposición y diagénesis de la materia orgánica (Libes 1992). Los valores isotópicos de carbono obtenidos en los sedimentos no son señales isotópicas características de una emanación natural de hidrocarburos fósiles, de acuerdo a los valores isotópicos determinados para el petróleo en la Sonda de Campeche por Botello y Castro (1980), Sweeney y Haddad *et al.* (1980) y Guzmán y Mello (1999), todos con un intervalo de $\delta^{13}\text{C}$ de -26.0 a -27.5 ‰. Botello *et al.* (1987) analizó isótopos de sedimentos entre las plataformas petroleras "Azteca" y "Akal" registrando valores de $\delta^{13}\text{C}$ de -26.4 a -27.5 ‰ en la Sonda de Campeche. Wade *et al.* (1989) obtuvo valores de $\delta^{13}\text{C}$ de petróleo de -26.5 a -27.5 ‰ en el NW del Golfo de México en una ENHF (Fig. 3).

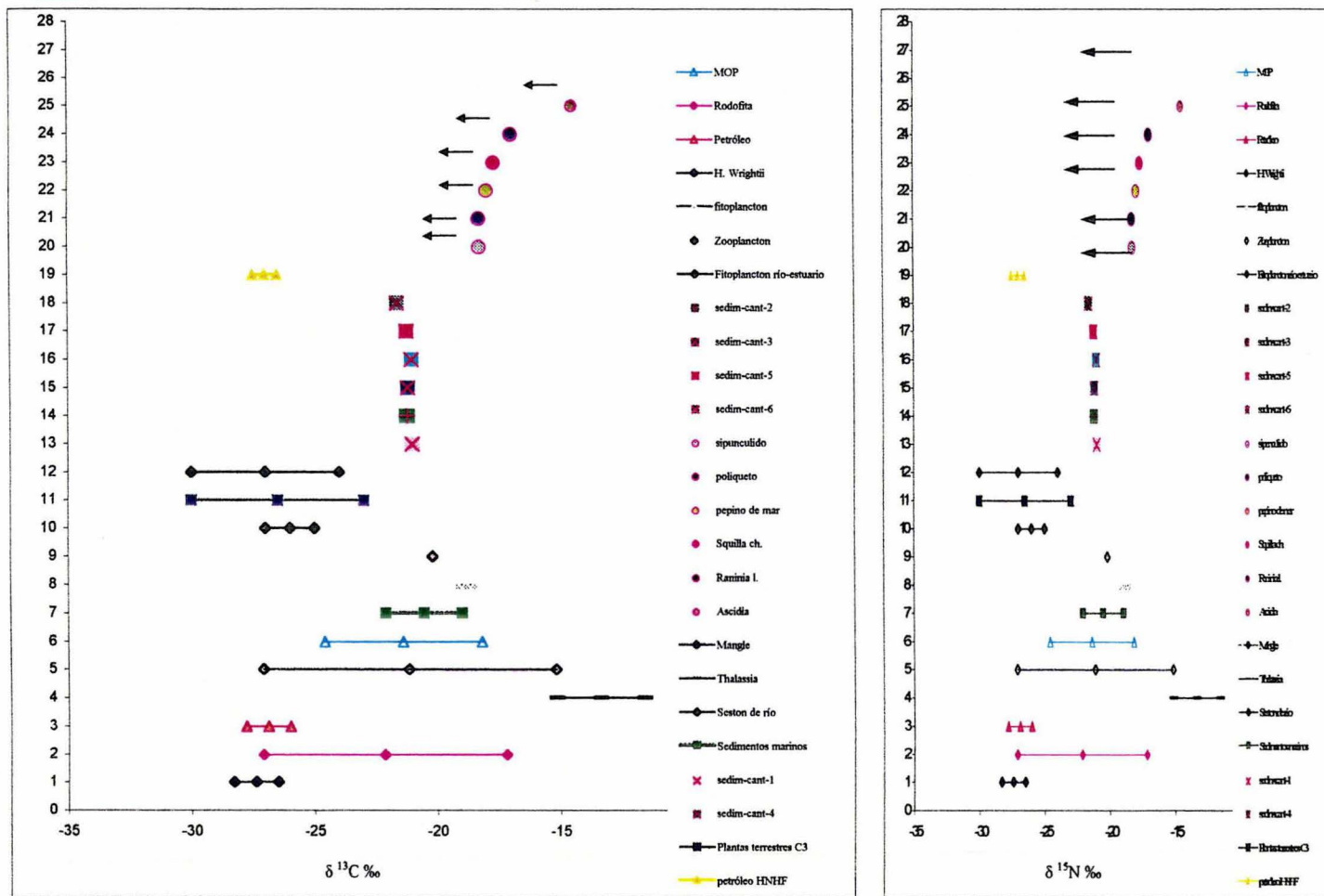


Fig. 3. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ obtenidos en este trabajo. Los sedimentos y los organismos de Cantarell están representados por cuadrados y círculos respectivamente (sin línea horizontal, excepto el zooplankton). Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ compilados de varias fuentes, se representan con símbolos y una línea horizontal (los símbolos representan el intervalo de valores y el promedio). Las flechas continuas sobre los organismos (círculos) representan la fraccionación de $\delta^{13}\text{C}$ (1.5 ‰) y $\delta^{15}\text{N}$ (3.0 ‰) respecto a su dieta (DeNiro y Epstein 1978, 1981).

Tabla 2. VALORES DE $\delta^{13}\text{C}$ DE SEDIMENTOS REGISTRADOS EN ESTE TRABAJO Y BIBLIOGRAFICOS Y DE MOP

ZONA	$\delta^{13}\text{C}$		OBSERVACIONES	REFERENCIA
	SEDIMENTOS	MOP		
Sonda de Campeche, SW del Golfo de México	-21.0 a -21.6 ‰		PROB-MEX-3	
Sonda de Campeche SW del Golfo de México	-20.5 a -21.9 ‰			Soto <i>et al.</i> (1980)
Sonda de Campeche SW del Golfo de México	-21 ‰			Botello <i>et al.</i> (1987)
Sonda de Campeche SW del Golfo de México	-19.3 a -20.6 ‰	-18.5 a -19.2 ‰	Fitoplancton luz de malla 333 μ	Raz-Guzmán (1995)
Louisiana, Texas, Tamaulipas y Veracruz (Zona marina)	-19.5 a -21.6 ‰			Gearing <i>et al.</i> (1977)
Norte del Golfo de México. (1998) 92° W		-21.47 a -19.3 ‰		López-Veneroni
W del Golfo de México y Florida.	-20.6 ‰	-21.0 y -19.4 ‰		Macko <i>et al.</i> (1984)
Plataforma continental del Norte del Golfo de México.	-20 a -22.1 ‰			Gearing <i>et al.</i> (1976)
Golfo de Maine EUA.	-21.1 ‰	-15 a -22 ‰		Libes (1983)
Golfo de México (zona marina).		-21.7 ‰	compilación	Fry y Sherr (1984)
Golfo de México (zona marina).		-20.2 ‰	Zooplancton compilación	Fry y Sherr (1984)
Salina Cruz Oaxaca, México.	-18.9 a 20.9 ‰			Botello <i>et al.</i> (1998)
Perú (3-18° S y 86-71° W)	-20.0 a -21.4 ‰	-19.1 a -24.8 ‰		Libes (1983)
Bahía Concepción Newfoundland, Canadá.	-21.4 ‰	-23 a -24 ‰		Ostrom <i>et al.</i> (1997)
SE de Alaska, (1990) Aukey Bay and Fritz, EUA.	-20.8 ‰	-22.5 ‰		Goering <i>et al.</i>
Bahía de Tokio, Japón.		-20.1 a -21.5 ‰		Wada <i>et al.</i> (1990)
Sonda de Campeche, México	-26.0 a 27.5 ‰		en petróleo	Guzmán y Mello (1999); Botello y Castro (1980).
NW del Golfo de México	-26.5 a -27.5 ‰		petróleo en una chapopotera	Wade <i>et al.</i> (1989)
NW del Golfo de México	-26.0 a 27.4 ‰		petróleo en una chapopotera	Kennicutt (1988a)
NW del Golfo de México	-30 a -60 ‰		metano	Mango y Elrod (1999).

Las señales isotópicas de carbono en sedimentos determinadas en el presente estudio tampoco corresponden a materia orgánica particulada de origen terrestre (para plantas C_3 el valor de $\delta^{13}C$ es de -23.0 a -30.0 ‰ y para las C_4 es de -10.0 a -14.0 ‰) y para el seston de río el $\delta^{13}C$ de -25.0 a -27.0 ‰ de acuerdo con Fry y Sherr (1984, Fig. 3). Los sedimentos tampoco exhiben una señal isotópica tan empobrecida característica del gas metano ($\delta^{13}C$ -30.0 a -60.0 ‰) según Mango y Elrod (1999, Fig. 3).

Los valores isotópicos calculados en el presente estudio entran en el intervalo de valores isotópicos registrados para la MOP por Macko *et al.* (1984) y López-Veneroni (1998) en el norte del golfo de México (Tabla 2). El intervalo de $\delta^{13}C$ observado por Kennicutt (1988a) (-26.0 a -27.4 ‰) en una zona de emanación natural (-27.0 a -31.5 ‰), en el norte del Golfo de México, por Botello y Castro (1980) y Sweeney *et al.* (1980) en petróleo del SW del Golfo de México (-27.0 a 27.5 ‰) es fuertemente empobrecido con relación al obtenido en este estudio (-21.0 a -21.6 ‰).

Cantarell, se localiza aproximadamente a 80 Km. de los sistemas deltaicos de los ríos Grijalva y Usumacinta y de las desembocaduras de la Laguna de Términos. En esta región las plumas ribereñas y el flujo neto de la Laguna de Términos tienen su mayor efecto en cuanto a su descarga sedimentaria hacia la porción occidental de la costa; por lo tanto, la señal de $^{13}C/^{12}C$ en sedimentos sobre la plataforma continental media (aprox. 40 m) en donde se halla enclavado Cantarell, es esencialmente derivado de una fuente de MOP de origen marino.

6.1.2 ISÓTOPOS DE CARBONO DE MACROINVERTEBRADOS BÉNTICOS DE LA ZONA DE LA ENHF

En tres sitios dentro de la zona de ENHF de la zona de Cantarell, se colectaron 6 macroinvertebrados bénticos, 2 infaunales y 4 epifaunales. Los organismos infaunales representados por 2 sipuncúlidos y un gusano anélido poliqueto mostraron los valores isotópicos de carbono más empobrecidos (Tabla 3).

Los dos especímenes sipuncúlidos tienen valores de $\delta^{13}C$ muy semejantes de -19.4 y -18.3 ‰ (Tabla 3). Estos organismos permanecen semienterrados en los primeros 5 cm del sedimento, proyectando su probocis hacia la

interfase agua-sedimento, succionando a microorganismos y a la materia orgánica sedimentaria concentradas en dicha interfase; a esta adaptación trófica, los sipunculidos reflejan claramente la fuente de materia orgánica a partir de la cual deriva su nutrición. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ registrados en estos organismos aparecen ligeramente enriquecidos con respecto a los valores de $\delta^{13}\text{C}$ obtenidos en sedimentos; sin embargo, al considerar la fraccionación del carbono orgánico de 1.5 ‰ (DeNiro y Epstein 1978) con respecto a la dieta de los sipunculidos, la fuente de carbono orgánico coincide con la MOP de origen marino (Fig. 3).

El anélido poliqueto presenta un valor muy similar al de los sipunculidos (-18.3 ‰) como consecuencia de la estrecha relación con los materiales orgánicos particulados propios de los sedimentos superficiales. Para fines comparativos, este valor se encuentra dentro del intervalo isotópico para gusanos poliquetos (-16.1 a -19.3‰) reportado por Fry (1983, Fig.3).

Entre los organismos epifaunales el pepino de mar es el que refleja de acuerdo a su valor de $\delta^{13}\text{C}$ (-18.0 ‰) una mayor semejanza al de los organismos infaunales, debido a la ingesta significativa de material sedimentario. El valor de $\delta^{13}\text{C}$ de la *Squilla chydrea* es de -17.7 ‰. Este valor es semejante a los obtenidos por Soto y Escobar-Briones (1995), en el SW del Golfo de México (-17.3 a -20.4 ‰) y a los registrados por Raz-Guzmán (1995) para su congénere *Squilla empusa*, en la misma zona de estudio y por Fry (1983)(-15.0 a -17.5‰, Tabla 4).

Tabla 3. VALORES DE $\delta^{13}\text{C}$ Y $\delta^{15}\text{N}$ EN MACROINVERTEBRADOS BÉNTICOS COLECTADOS EN ZONA DE LA ENHF, CANTARELL

ORGANISMO Y ESTACIÓN	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	LATITUD	LONGITUD
Sipunculido (3 R-3)	-19.4	10.8	19° 22' 56"	92° 01' 18"
Sipunculido (3)	-18.3	ND	19° 22' 28"	92° 01' 41"
Poliqueto (3 R-2)	-18.3	11.1	19° 22' 55"	92° 01' 44"
pepino de mar (3 R-2)	-18.0	10.1	19° 22' 56"	92° 01' 44"
<i>Squilla chydrea</i> (3 R-2)	-17.7	10.1	19° 22' 56"	92° 01' 44"
<i>Raninia louisianensis</i> (3)	-17.0	10.5	19° 22' 28"	92° 01' 41"
Ascidia (3 R-2)	-14.5	11.2	19° 22' 56"	92° 01' 44"

ND = no determinado

Con base en los hábitos tróficos de carroñero y depredador activo de *Squilla ch.* y considerando que es un organismo de alta movilidad y a los valores registrados por Soto y Escobar-Briones (1995) se puede inferir que el valor isotópico de este género de estomatópodo se deriva de la mezcla de las diferentes presas a partir de las cuales se alimenta. En la figura 3 se observa que *Squilla chydrea* se encuentra desplazada hacia valores más enriquecidos con respecto a los sedimentos, sipuncúlidos, el gusano poliqueto y al pepino de mar; también se advierte que la principal fuente potencial de carbono corresponde principalmente a la MOP marina como suministro de alimento, además de considerar la fraccionación que resulta del metabolismo propio de estos organismos.

Otro de los organismos epifaunales colectados en este estudio fue el cangrejo braquiuro *Raninia louisianensis*. Su valor de -17.0‰ , es parecido a los registrados por Soto y Escobar-Briones (1995) para el cangrejo *Raninoides lamarcki* (-18.2 a -18.3‰) (Tabla 4). Este organismo tiene hábitos tróficos de carroñero y depredador igual que *S. chydrea*. También tiene una movilidad activa propia de organismos adaptados a sustratos lodosos por lo que se puede inferir que el valor isotópico de carbono de este organismo es el reflejo de las diferentes fuentes de carbono de su dieta. Lo anterior se puede apreciar en la figura 3 en donde se observa que el valor isotópico de *R. louisianensis* es más enriquecido que los otros organismos e incluso que los registrados para el sedimento. El último de los organismos epibénticos analizados corresponde a una ascidia (hemicordado sésil, filtrador) cuyo valor de $\delta^{13}\text{C}$ es de -14.6‰ ; el valor es relativamente más enriquecido con respecto a los demás organismos y a los sedimentos. El enriquecimiento con respecto a los demás macroinvertebrados se podría deber probablemente a la fraccionación de la MOP y materia orgánica sedimentaria al ser metabolizada por este organismo, además también se debe considerar el tamaño y madurez sexual del mismo, así como los efectos cinéticos asociados con las diferencias de biosíntesis y metabolismo.

Tabla 4. VALORES DE $\delta^{13}\text{C}$ DE ORGANISMOS DE LA ENHF Y DE BIBLIOGRAFÍA

ESPECIE	PROB-MEX-3	OGMEX-1	OGMEX-2	OGMEX-3	OGMEX-5
	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{13}\text{C}$
<i>Squilla chydæa</i>	-17.7 ‰	-17.3 ‰	-16.4 ‰	-20.4 ‰	-17.9 ‰
<i>Raninia louisianensis</i>	-17.0 ‰				
<i>Raninoides lamarcki</i>		-18.2 ‰	-18.3 ‰	-18.3 ‰	
Sipunculidos	-19.4 y -18.3 ‰				
Ascidia	-14.5 ‰				
Poliqueto	-18.3 ‰				
<i>Squilla empusa</i>		-15.1 ‰	Sonda de Campeche, Raz-Guzmán (1995)		
<i>Squilla empusa</i>		-15.0 a -17 ‰	N. Del Golfo de México, Fry (1983)		
Poliqueto		-16.1 a -19.3 ‰	Georges Bank, Fry (1988)		
Filtradores bénticos		-18.2 ‰	Golfo de México, Fry y Sherr (1984)		

6.1.3 ISOTÓPOS DE NITRÓGENO EN SEDIMENTOS DEL ÁREA DE LA ENHF

Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ obtenidos en los sedimentos presentan un intervalo de 4.1 a 7.4 ‰ (Tabla 1). Estos valores isotópicos se encuentran dentro del intervalo de sedimentos marinos y MOP reportados por Owens (1987) cuyo intervalo es de 3.0 a 9.0 ‰. También son semejantes a los publicados por Macko *et al.* (1984), Minagawa y Wada (1984), Goering *et al.* (1990), Voss *et al.* (1996), López-Veneroni, (1998) en el NW del Golfo de México, Wada *et al.* (1990) y Sweeney y Kaplan (1980, Tabla 5).

Al comparar los valores de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ determinados en los sedimentos de la zona de ENHF con los sedimentos y MOP observados en otras regiones se puede deducir que el nitrógeno orgánico particulado que se encuentra en los sedimentos en la zona de Cantarell, Sonda de Campeche es suministrado principalmente por MOP, que es originada en gran parte por el remanente detrital del plancton.

Monreal y Salas (1990) confirmaron la existencia de giros ciclónicos en el Banco de Campeche, los cuales dan como resultado un ascenso de aguas con temperaturas más bajas que su entorno, llevando consigo una alta concentración de nutrientes, nitratos principalmente ($7.26 \mu\text{M}$) (De la Lanza 1991). Por lo anterior se presume que la principal fuente abastecedora de nitrógeno al fitoplancton es el nitrato.

Macko (1984) reportó valores de $\delta^{15}\text{N}$ de productividad primaria como MOP de 7.5 ‰ (zooplancton y materia orgánica sedimentaria de 6.5 ‰) en el NW del Golfo de México. Este valor es característico de nitrógeno de nitratos de aguas oceánicas (Macko 1984). Por lo que al ser metabolizado por el zooplancton la fraccionación es muy pequeña y éste es isotópicamente similar al sustrato.

La sonda de Campeche es de las más productivas en materia orgánica primaria (Licea y Santoyo 1991; De la Lanza 1991) y el porcentaje de la misma en los sedimentos es de 3 a 4 % (Yáñez-Arancibia y Sánchez Gil 1983), por lo que se presume que los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de los sedimentos son semejantes a los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de la MOP que se hunde, sufriendo una pequeña alteración de composición isotópica durante el transporte hacia el fondo y en la incorporación dentro de los sedimentos.

Saino y Hattori (1980) observaron una distribución isotópica vertical de la MOP en el noroeste del Océano Índico encontrando un enriquecimiento de 3.0 a 4.0 ‰ de la superficie hasta los 100 m de profundidad. El área de la ENHF tiene una profundidad promedio de 40 m por lo que se puede inducir que la fraccionación isotópica de la MOP que se hunde y la de los sedimentos es mínima. En los sedimentos es donde se lleva a cabo la diagénesis y oxidación de la materia orgánica por actividad microbiana con la ayuda del oxígeno disuelto en el agua (4 a 3 ml/L reportados por Yáñez-Arancibia y Sánchez Gil 1983; De la lanza 1991). Este proceso produce poca fraccionación (Hoefs 1987).

En la figura 3 se advierte que los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de los sedimentos registrados en este trabajo se encuentran dentro del intervalo de los valores isotópicos de la MOP, del zooplancton, fitoplancton y sedimentos marinos (Tabla 5). Así mismo, los valores isotópicos de los sedimentos no son característicos de los hidrocarburos fósiles de la zona de Cantarell, de acuerdo al valor reportado de 0.63 ‰ para el petróleo (Sweeney y Haddad 1980).

Tabla 5. VALORES DE $\delta^{15}\text{N}$ DE SEDIMENTOS DERIVADOS DE ESTE TRABAJO Y VALORES DE $\delta^{15}\text{N}$ DE SEDIMENTOS Y MOP TOMADOS DE LA LITERATURA

SITIO	$\delta^{15}\text{N} \text{ ‰}$		OBSERVACIONES	REFERENCIA
	SEDIMENTOS	MOP		
Sonda de Campeche	4.1 a 7.4			PROB-MEX-3
Noroeste del Golfo de México	6.5	7.5		Macko <i>et al.</i> (1984)
Sur de Florida, EUA	3.6	-0.9		Macko <i>et al.</i> (1984)
Banco de Georges, EUA		5.1		Fry <i>et al.</i> (1988)
Bahía Concepción, Canadá)	8.5			Ostrom <i>et al.</i> (1997)
Bahía de Auke, Alaska, EUA.	5.9	8.3		Goering <i>et al.</i> (1990)
Bahía de Auke, Alaska, EUA.		2.7		Goering <i>et al.</i> (1990)
Bahía de Auke, Alaska, EUA.		2.8 a 6.9		Goering <i>et al.</i> (1990)
Norte del Golfo de México	5.2	5.7 a 8.8		López-Veneroni (1998)
Atlántico Norte	2.30 a 8.0	2.2 A 10.0		Voss <i>et al.</i> (1996)
	3.0 a 9.0	4.0 a 10.0	sedimentos típicamente marinos MOP marina (recopilación)	Owens (1987)
		3.0 a 9.0	fitoplancton (recopilación)	Owens (1987)
		8.0 a 11.0	zooplancton (recopilación)	Owens (1987)
		1.0 a -3.0	fitoplancton fijador de N_2 (recopilación)	Owens (1987)
		0 a 3.0	zooplancton asociado a fitoplancton fijador de N_2 (recopilación)	Owens (1987)
		0 a 6.0		Minagawa y Wada (1984) Saino y Hattori (1980)
		2.1 a 6.0	zooplancton	Minagawa y Wada (1984)
Santa Barbara, EUA.	10.0	8.9	Plancton	Sweeney y Kaplan (1980)
Bahía de Tokio, Japón	6.6 a 8.7			Wada <i>et al.</i> (1990)

6.1.4 ISÓTOPOS DE NITRÓGENO DE MACROINVERTEBRADOS

El intervalo de valores de $\delta^{15}\text{N}$ en los organismos de la zona de ENHF es de 10.1 a 11.2 ‰, (Tabla 3). La diferencia entre el valor más empobrecido y el más enriquecido es de 1.1 ‰, a pesar de la gran diversidad de hábitos alimenticios de organismos filtradores, detritívoros y carroñeros.

El valor de $\delta^{15}\text{N}$ del sipuncúlido es de 10.8 ‰ y, de acuerdo a su adaptación trófica de succionar a microorganismos y materia orgánica sedimentaria en la interfase agua-sedimento, se puede inferir que la principal fuente de nitrógeno a este macro invertebrado béntico es el nitrógeno particulado y sedimentario.

El $\delta^{15}\text{N}$ de este organismo es más enriquecido con respecto a los valores de los sedimentos de la zona de Cantarell (4.1 a 7.4 ‰, Tabla 1), por lo tanto se puede interpretar que la señal isotópica del sipuncúlido es el reflejo de los sedimentos considerando la fraccionación que ocurre al metabolizar la materia orgánica (DeNiro y Epstein 1981; Fry y Sherr 1984).

El anélido poliqueto tiene un valor de $\delta^{15}\text{N}$ de 11.1 ‰. Este valor es igual al reportado por Fry 1988 (11.1 ‰, Tabla 6). Este organismo tiene adaptación trófica similar al sipuncúlido por lo que se presume que el valor isotópico sería similar. En contraste el pepino de mar tiene un valor de $\delta^{15}\text{N}$ de 10.1 ‰, semejante al sipuncúlido y cercano al del poliqueto, por lo que se presume que el mayor suministro de nitrógeno orgánico es el nitrógeno sedimentario.

El valor de $\delta^{15}\text{N}$ del estomatópodo *Squilla chidaea* es de 10.1 ‰ (Tabla 3), este valor está por encima de los reportados por Soto y Escobar-Briones (1995) para el mismo organismo y misma zona (6.2 a 9.6 ‰) y al registrado por Fry (1983) para su congénere *S. empusa* (8.0 a 14.0 ‰, Tabla 6). Estos valores son característicos de organismos con hábitos tróficos de carroñeros y depredador activo, por lo que se puede inferir que la fuente de nitrógeno asimilado es de origen mixto en la zona de estudio.

El cangrejo braquiuro *Raninia louisianensis* tiene un $\delta^{15}\text{N}$ de 10.5 ‰. Este valor es más enriquecido (2.5 ‰) que los registrados por Soto y Escobar-Briones (1995) para su congénere *Raninia lamarcki*, en la misma zona de estudio (8.0 a 8.2 ‰, Tabla 6). Este cangrejo tiene los mismos hábitos alimenticios que la *S. chidaea*, lo cual sugiere que su valor isotópico refleja una mezcla de fuentes de nitrógeno. Mientras que la ascidia tiene un valor

de $\delta^{15}\text{N}$ de 11.2 ‰, y con base en los hábitos tróficos de filtrador, es posible reconocer como su principal fuente de nitrógeno es el nitrógeno orgánico particulado y sedimentario.

De acuerdo con estos resultados, sólo se reconoce un nivel trófico entre los organismos macroinvertebrados analizados, los cuales se encuentran por arriba del nivel trófico de los productores primarios y del zooplancton ya que sus valores son más enriquecidos a los reportados en bibliografía (Fig.3). Los valores isotópicos de los sedimentos tienen un intervalo de 4.1 a 7.4 ‰. Comparándolos con los valores de los organismos y de acuerdo con los hábitos alimenticios de la mayoría de los mismos, se infiere que el valor isotópico de los organismos es el reflejo de la señal isotópica de la materia orgánica sedimentaria y de la MOP. También se tiene que considerar la fraccionación que le ocurre a la materia orgánica por el proceso de metabolismo que realizan estos organismos; esta fraccionación comprende un valor de 3.0 a 4.0 ‰ (DeNiro y Epstein, 1980).

Tabla 6. RESULTADOS ISOTÓPICOS DE NITRÓGENO DE ORGANISMOS DEL SITIO DE ENHF, LOS REGISTRADOS POR SOTO Y ESCOBAR-BRIONES (1995) Y OTROS AUTORES.

ESPECIE	PROB-MEX-3		OGMEX-1	OGMEX-2	OGMEX-3
	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{15}\text{N}$
OGMEX-5					
<i>Squilla chydæa</i>	10.1 ‰		9.6 ‰	9.3 ‰	6.2 ‰
<i>Raninia louisianensis</i>		10.5 ‰			
<i>Raninia lamarcki</i>		8.2 ‰	8 ‰	8.2 ‰	8.1 ‰
Sipunculidos	10.8 ‰				
Ascidia	11.2				
Poliqueto	11.1				
Pepino de mar	10.1				
Poliqueto			11.1 ‰	Georges Bank	Fry (1988)
<i>Squilla empusa</i>			8.1	N. del Golfo de México	Fry (1983)

6.2 ESTUDIOS DE $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ Y $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ DE SEDIMENTOS Y ORGANISMOS DE LAS ZONAS DE REFERENCIA

6.2.1 ISÓTOPOS DE CARBONO EN SEDIMENTOS

Con el propósito de comparar los valores isotópicos de carbono y nitrógeno obtenidos en una zona de ENHF situada entre los complejos petroleros Akal C y Nohoch A (Fig. 1), se seleccionaron tres áreas de referencia a lo largo de la plataforma continental interna y media, situadas frente a las desembocaduras de los ríos Grijalva y Usumacinta (zona C), las lagunas de Carmen y Machona (zona B), y frente a la zona de influencia del río Coatzacoalcos (zona A).

En los 6 sitios examinados, el carbono isotópico sedimentario mostró un gradiente positivo con relación a la distancia de la costa. Los valores isotópicos más empobrecidos (-24.1 a -24.6 ‰), comprenden a sitios someros sobre la plataforma continental interna (< 70 m) expuestos a los aportes costeros y ribereños de materiales de carbono orgánico empobrecido (Fig.4).

En la zona A, correspondiente a la pluma ribereña del Coatzacoalcos, los valores son de $\delta^{13}\text{C}$ (-24.1 a -24.6 ‰) lo que sugiere una influencia de carbón terrestre en un radio aproximado de hasta de 30 Km. frente a la desembocadura a profundidades de 70 m (Tabla 7, Fig. 4). Sin embargo, frente a esta localidad a una profundidad de 137 m, la señal isotópica sedimentaria de carbono presenta un valor más enriquecido (-22.5 ‰) indicando una posible coadición de mezcla con materiales orgánicos de origen marino.

Esta misma tendencia se observa en los valores isotópicos de carbono sedimentario registrados en las zonas B y C respectivamente (Fig. 4), en los cuales los valores presentan un intervalo de $\delta^{13}\text{C}$ de -21.9 a -24.1 ‰ (Tabla 7). Los aportes de material orgánico empobrecidos de origen continental frente al sistema Grijalva-Usumacinta no se detectan más allá de la plataforma externa (>100 m) donde predominan valores isotópicos típicamente marinos (-21.9 ‰) los cuales coinciden con los registrados en la zona de ENHF.

Sackett y Thompson (1963) y Gearing (1977) llevaron a cabo estudios de isótopos de carbono en sedimentos en la desembocadura del Río Mississippi y en sector NW del Golfo de México hasta las costas de Veracruz México. Estos estudios revelaron que en la desembocadura del Mississippi existe un claro gradiente de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ de

la costa hacia el ambiente marino. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en la zona costera y estuarina (-22.6 a 24.6 ‰) indican un empobrecimiento causado por influjo de materia orgánica epicontinental. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en sedimentos obtenidos sobre la plataforma continental aproximadamente a 50 Km. de la costa fluctuaron entre -22.6 a -21.9 ‰, los cuales corresponden a señales isotópicas de sedimentos típicamente marinos.

En este estudio se puede observar la presencia de un gradiente de $\delta^{13}\text{C}$ de la zona costera hacia la plataforma continental adyacente (Fig. 4), como los observados por Sackett y Thompson N y NW del Golfo de México (1963) y Gearing et al. (1977). La dirección de dicho gradiente se puede deber a las condiciones hidrográficas y litográficas prevaecientes en el SW del Golfo de México. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ registrados en la plataforma continental influenciado por las plumas ribereñas del Coatzacoalcos y Grijalva-Usumacinta (-24.6‰) se aproximan considerablemente al $\delta^{13}\text{C}$ obtenidos para el sedimento de lagunas costeras como Alvarado de -25.0 ‰ (Raz-Guzmán *et al.* 1995), Pueblo Viejo de -26.8‰, Carmen y Machona de -27.4 ‰ y Mecoacán de -25.0 ‰ (Botello y Macko 1982).

Tabla 8 RESULTADOS DE $\delta^{13}\text{C}$ Y $\delta^{15}\text{N}$ DE SEDIMENTOS DE LAS ZONAS DE REFERENCIA

ZONA Y ESTACIÓN	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	LATITUD	LONGITUD	OBSERVACIONES	
ZONA A	7	-24.2	18° 34' 59"	94° 50' 36"	(P) = 60 (T) = 23.5 °C OESTE DEL RÍO COATZACOALCOS SEDIMENTO LODOSO (LIMO- ARCILLOSO)	
	8	-24.6	18° 16' 49"	94° 17' 46"	P = 69.5 T = 24 ESTE DEL RÍO COATZACOALCOS SEDIMENTO GRANULAR	
	10	-22.6	4.7	18° 24' 51"	94° 17' 40"	P = 137 T = 19 ESTE DEL RÍO COATZACOALCOS SEDIMENTO (LIMO-ARCILLOSO)
ZONA B	20	-22.6	3.5	18° 26' 36"	93° 51' 19"	P = 100 T = 24.2 ESTE DE CARMEN Y MACHONA SED. LODOSO
	21	-24.1	3.0	18° 29' 51"	93° 35' 55"	P = 30.4 T = 24.9 ESTE DE CARMEN Y MACHONA SED. GRANULAR
ZONA C	23	-21.9	3.7	19° 10' 54"	92° 45' 10"	P = 129.4 T = 20.2 OESTE DEL SISTEMA DE RÍOS GRIJALVA-USUMACINTA. SEDIMENTO LODOSO

P = Profundidad en metros T = Temperatura en °C

ND = no determinado

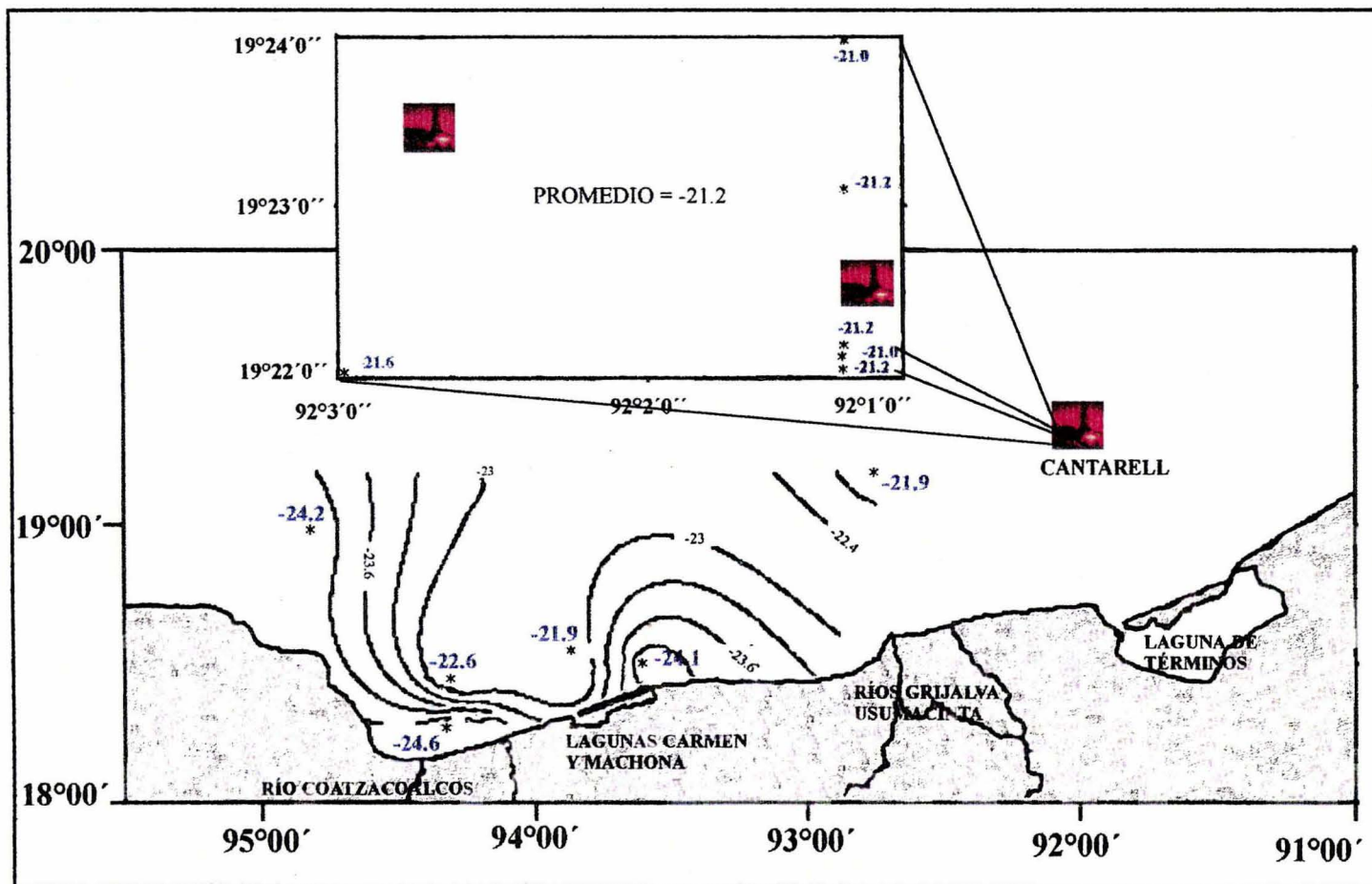


Fig. 4. Valores de $\delta^{13}C$ de sedimentos de las zonas de referencia en donde se observa un gradiente de carbono con valores más enriquecidos hacia la parte marina, y valores isotópicos homogéneos sedimentarios en la zona de la ENHF.

6.2.2 ISÓTOPOS DE CARBONO DE MACROINVERTEBRADOS

En las áreas de referencia, se colectaron organismos bénticos representados principalmente por camarones peneidos pertenecientes a las siguientes especies: *Litopenaeus setiferus*, *Penaeus goodie* y *Farfante penaeus duorarum* (Tabla 8). Estas especies se distribuyen ampliamente sobre el ambiente de plataforma continental interna y media del SW del Golfo de México (Soto, comunicación personal) y su dieta de carácter omnívora, incluye una cantidad de material detrítico. Presumiblemente los valores isotópicos de carbono en tejido muscular de estos organismos deben reflejar la fuente de carbono orgánico asimilado para su crecimiento. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de estos camarones muestran un intervalo estrecho entre -16.5‰ a -18.4‰ .

Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ isotópicos más empobrecidos (-18.0 y -18.4‰ , Tabla 9) corresponden al camarón blanco *L. setiferus*, que coinciden con los valores registrados para la misma especie por Soto *et al.* (1980) y Raz-Guzmán (1995) en la Sonda de Campeche, Raz-Guzmán (1995) en la Laguna de Términos y Fry (1983) en el N. del Golfo de México (Tabla 9).

En contraste el *P. goodie*, colectado en la misma localidad frente al río Coatzacoalcos a 60 m (Tabla 8), refleja un valor más enriquecido (-17.0‰); este último valor isotópico es muy próximo a los registrados para la misma especie, en el área influenciada por la pluma ribereña del Grijalva y Usumacinta (-16.5‰). El camarón rosado, *F. duorarum*, muestra un valor isotópico de carbono similar (-16.5‰) indicativo del notable enriquecimiento de materiales orgánicos de origen continental.

Los valores isotópicos de carbón en camarones registrados en este trabajo, caen dentro del intervalo publicado por Soto *et al.* 1980 y 1995 (-19.7‰ y -16.4 a -19.4‰ respectivamente) y por Raz-Guzmán (1987, 1995) para las mismas especies distribuidas en la Sonda de Campeche, e incluso coinciden con los registrados por esta última autora, en el área lagunar de Términos, Campeche, y por Fry 1983 (-16.0 a -19.5‰) en el N. del Golfo de México (Tabla 9).

El hábitat que ocupan estos organismos bénticos, en el SW del Golfo de México recibe un importante subsidio de materiales de carbono orgánico de origen continental, considerando que las fuentes estuarinas son más

diversas isotópicamente que las zonas marinas (Fry 1983), las cuales se acumulan en un reservorio detrítico que representa una fuente esencial de carbono para los organismos epi e infaunales. Una fuente importante de dicho

Tabla 9. RESULTADOS DE $\delta^{13}\text{C}$ Y $\delta^{15}\text{N}$ DE MACROINVERTEBRADOS BÉNTICOS DE LAS ZONAS DE REFERENCIA

ZONA Y ESTACION	ORGANISMO	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	LATITUD	LONGITUD	OBSERVACIONES	
ZONA A	7	<i>L. setiferus</i>	-18.0	10.0	18° 35' 37''	94° 50' 03''	P = 62.5 m OESTE DEL RÍO COATZACOALCOS
	7	<i>P. goodie</i>	-17.0	8.5	18° 35' 37''	94° 50' 03''	P = 61.8/62.3 OESTE DEL RÍO COATZACOALCOS
ZONA B	21	<i>F. duorarum</i>	-16.5	11.4	18° 29' 04''	93° 36' 59''	P = 30.7 m ESTE DE LAGUNAS DE CARMEN Y MACHONA
ZONA C	22 (1)	<i>L. setiferus</i>	-18.4	ND	18° 46' 41''	92° 43' 11''	P = 22.5/23 m ENFRENTE DEL SISTEMA GRIJALVA-USUMACINTA
	22 (2)	<i>L. setiferus</i>	-17.1	11.3	18° 46' 41''	92° 43' 11''	P = 22.5/23 m ENFRENTE DEL SISTEMA GRIJALVA-USUMACINTA
	22	<i>P. goodie</i>	-16.5	8.3	18° 46' 41''	92° 43' 11''	P = 22.5/23 m ENFRENTE DEL SISTEMA GRIJALVA-USUMACINTA

P : profundidad en metros

ND : no determinado

Tabla 10 VALORES ISOTÓPICOS DE MACROINVERTEBRADOS DE LA ZONA DE REFERENCIA Y VALORES

BIBLIOGRÁFICOS

CAMARÓN	$\delta^{13}\text{C}$	SITIO	OBSERVACIONES	REFERENCIA
<u>F. duorarum</u>	<u>-16.5 ‰</u>	<u>Zona de referencia E-21</u>		<u>Crucero PROB-MEX-3</u>
<i>F. duorarum</i>	-19.7 ‰	Sonda de Campeche		Soto <i>et al.</i> (1980)
<i>F. duorarum</i> (1995)	-16.4 a -19.4 y ‰	Sonda de Campeche		Soto y Escobar-Briones.
<i>F. duorarum</i>	-15.2 ‰	Subancuy	Laguna de Términos	Raz-Guzmán (1995)
<i>F. duorarum</i>	-15.1 a -15.9 ‰	Sonda de Campeche		Raz-Guzmán (1995)
<i>F. duorarum</i>	-16.5 ‰	Chacahito	Laguna de Términos	Raz-Guzmán (1987)
<i>F. duorarum</i>	-14.1 ‰	Punta Gorda	Laguna de Términos	Raz-Guzmán (1987)
<i>F. duorarum</i> (10 a 30 g)	-13.5 a -17.0 ‰	N. del Golfo de México		Fry (1983)
<i>F. duorarum</i> (5 a 10 g)	-11.0 a -17.0 ‰	N. del Golfo de México		Fry (1983)
<u>L. setiferus</u>	<u>-18.0, -18.4, -17.1 ‰</u>	<u>Zona de referencia E-7 y E-22</u>		<u>Crucero PROB-MEX-3</u>
<i>L. setiferus</i>	-16.8 y -17.2 ‰	Sonda de Campeche		Soto <i>et al.</i> (1980)
<i>L. setiferus</i>	-16.7 ‰	Boca de Balchacah	Laguna de Términos	Raz-Guzmán (1995)
<i>L. setiferus</i>	-15.2 a -16 ‰	Sonda de Campeche		Raz-Guzmán (1995)
<i>L. setiferus</i>	-15.3 ‰	Boca de pargos		Raz-Guzmán (1987)
<i>L. setiferus</i>	-16.0 a -20.5 ‰	N. del Golfo de México		Fry (1983)
<u>P. goodie</u>	<u>-17.0 y -16.5 ‰</u>	<u>Zona de referencia 7 y 22</u>		<u>Crucero PROB-MEX-3</u>
<i>Pandalido</i>	-16.8 ‰	Georges Bank		Fry (1988)
<i>Crangon</i>	-17.4 ‰	Georges Bank		Fry (1988)
<i>Camarón Stereomastis s.</i>	-17.1 ‰	ENHF Norte del Golfo de México		Wade <i>et al.</i> (1989)
<i>Camarón Stereomastis s.</i>	-17.0 ‰	Talud Continental de Louisiana		Kennicutt <i>et al.</i> (1985)
<i>Camarón Nematocarcinus r.</i>	-18.2 ‰	Talud Continental de Louisiana		Kennicutt <i>et al.</i> (1985)
<i>Camarón Acanthephira e.</i>	-18.3 ‰	Talud Continental de Louisiana		Kennicutt <i>et al.</i> (1985)
Camarón	-16.1 ‰	N. del Golfo de México	compilación	Fry y Sherr (1984)
<i>P. aztecus</i>	-16.0 a -18.5 ‰	N. del Golfo de México		Fry (1983)

subsidio, son las plantas vasculares como el lirio acuático (*Eichornia crassipes*) y la vegetación subacuática de ríos y lagunas costeras (*Rupia maritima*, *Valisneria sp.*, *Thalassia testudinum*), e incluso plantas superiores como el manglar. Los materiales detríticos son exportados del medio lagunar/costero hacia la plataforma continental adyacente en donde son depositados y captados por los componentes béticos (Soto, comunicación personal).

La variabilidad observada en los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en una misma especie es atribuible a la condición biológica del individuo, talla y etapa de reproducción. Por ejemplo, los camarones peneidos adultos pueden retener trazas isotópicas de su pasado estuarino por cierto tiempo en comparación con los jóvenes que las pierden rápidamente (Fry 1983). También se deben considerar los patrones migratorios de ciertas especies, ya que para algunas de éstas los valores son más negativos cuando migran de ambientes estuarinos a ambientes marinos (Fry 1983); tal parece ser el caso de los ejemplares de *L. setiferus* (-17.1, -18.0 y -18.4 ‰) capturados en áreas con posible influencia marina.

Otros estudios de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ en camarones han sido realizados por diferentes autores. Por ejemplo Fry y Sherr (1984) en el norte del Golfo de México, Kennicutt *et al.* (1985) en el talud continental de Louisiana, Fry (1988) en el Georges Bank, y Wade *et al.* (1989) en un emanación natural de hidrocarburos fósiles en el norte del Golfo de México (Tabla 9). En esta tabla se puede notar que los $\delta^{13}\text{C}$ de diferentes especies de camarones y diferentes áreas geográficas (Fig. 5) tienen un intervalo de valores de -19.4 a -14.1 ‰, y que los determinados en este estudio están dentro de este intervalo. Wade *et al.* (1989) reportaron el valor $\delta^{13}\text{C}$ de un camarón (-17.1 ‰) encontrado en una ENHF en el N. del Golfo de México, reportando que los camarones no son afectados por la emanación de hidrocarburos fósiles como otros organismos. Por lo anterior se puede pensar que camarones peneidos que habitan en una zona de emanaciones de hidrocarburos fósiles dentro de Cantarell su valor isotópico estaría dentro del intervalo reportado por algunos autores (Tabla 9).

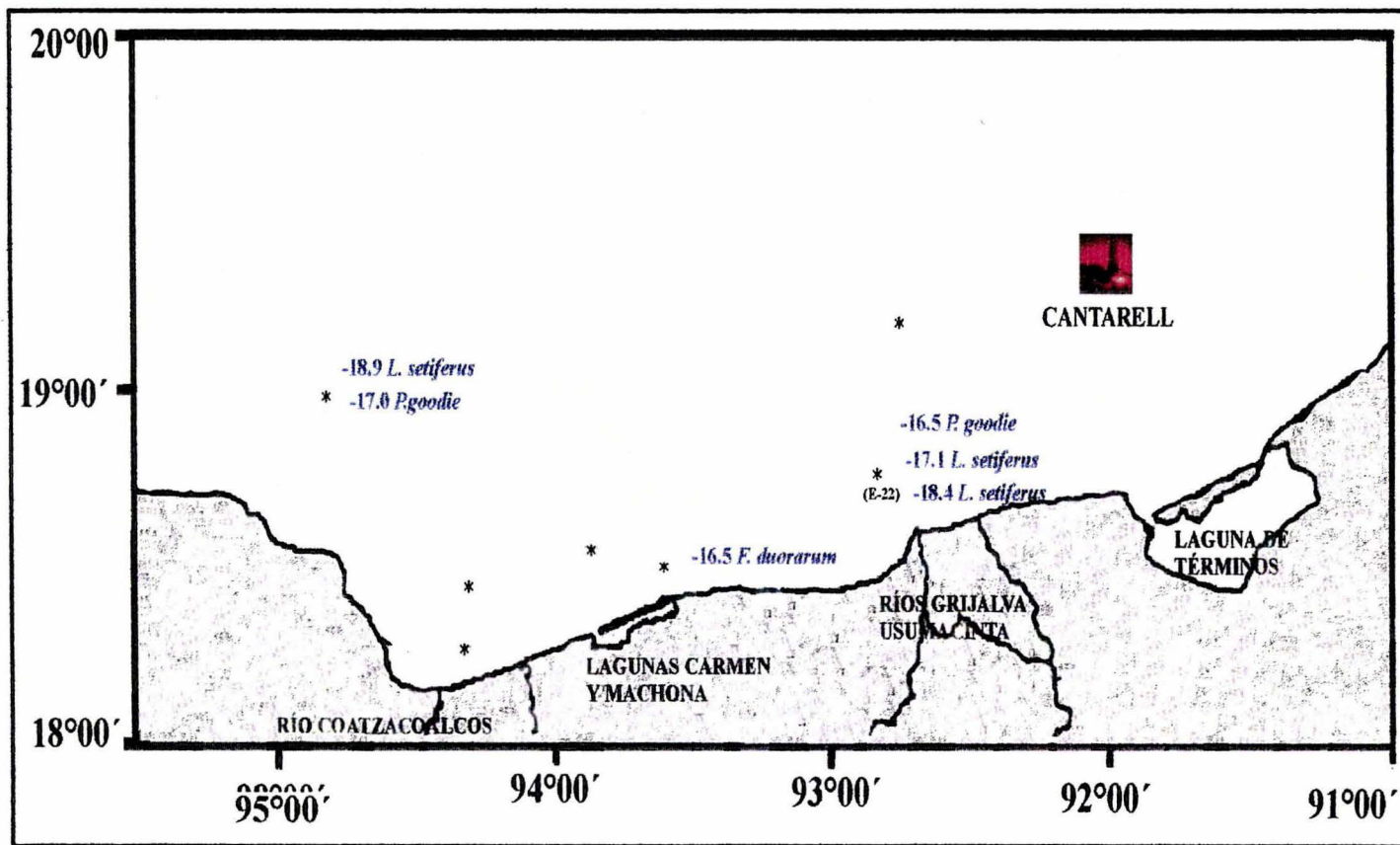


Fig. 5. Valores de δ de ^{13}C de macroinvertebrados bénticos colectados en las tres zonas de referencia. Sólo se colectaron camarones peneidos de diferente especie en las estaciones 7, 21 y 22. Los asteriscos representan las estaciones.

6.2.3 ISÓTOPOS DE NITRÓGENO DE SEDIMENTOS

Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ registrados en los sedimentos de las tres áreas de referencia tienen un intervalo de 2.6 a 4.7 ‰ (Tabla 7). Las estaciones 7 y 8 localizadas a lo largo de la plataforma continental interna (< 70 m) frente a la desembocadura del río Coatzacoalcos tienen valores de $\delta^{15}\text{N}$ de 2.6 y 4.7 ‰. En estas estaciones la materia orgánica continental aportada por el río es considerable (Fig. 6), como se refleja en los valores isotópicos de carbono. Estos valores son similares a los reportados por Wada et al. (1990) para sedimentos de algunos ríos (3.1 a 4.7 ‰ y de 2.7 a 5.5 ‰) y un estuario (1.8 a 4.2‰) en Japón, en donde la presencia de la materia orgánica continental es característica.

Para la estación 10 localizada en la plataforma continental externa (137 m) frente a la desembocadura del mismo río Coatzacoalcos presenta un $\delta^{15}\text{N}$ de 4.7 ‰. Este valor es igual al de la estación 8, pero aquí la señal isotópica de la materia orgánica sedimentaria ya es una mezcla tanto continental como marina. Este resultado sugiere que la cantidad de materia orgánica continental es considerable en comparación con la marina, lo que se ve reflejado en el valor isotópico (Fig. 6).

Los valores isotópicos de nitrógeno sedimentario registrados en las zonas B y C influenciadas por los aportes de materia orgánica continental de las lagunas Carmen y Machona y el sistema de ríos Grijalva –Usumacinta tienen un $\delta^{15}\text{N}$ de 3.0 ‰ (30.4 m), y 3.5 ‰ (100 m) para la zona B y para la zona C 3.7 ‰, también son parecidos a los reportados por Wada et al. (1990), con señal isotópica de materia orgánica continental y no se observa un gradiente isotópico de nitrógeno hacia la parte marina con relación a la costa como se observa en el caso del carbón.

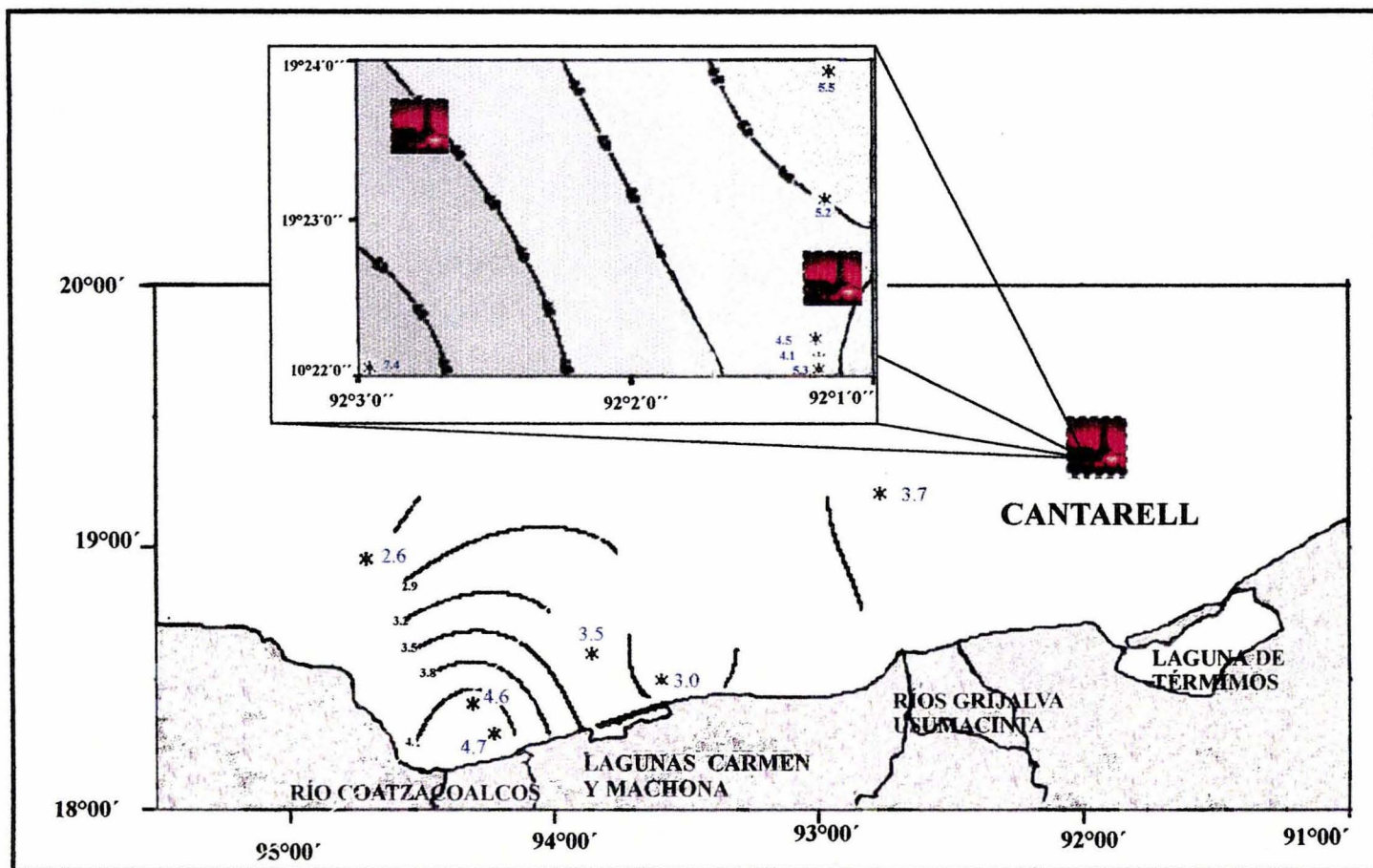


Fig. 6. Valores de δ de ^{15}N (‰) de sedimentos de las zonas de referencia y de la zona de la ENHF. Se observa un gradiente de nitrógeno menos enriquecido hacia la parte marina con relación a la costa. Los valores de la ENHF son parecidos a los de la zona de referencia.

6.2.4 ISÓTOPOS DE NITRÓGENO DE ORGANISMOS

Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ de los organismos de las tres zonas de referencia presentan un intervalo de 8.3 a 11.4 ‰. (Tabla 9). El valor del *L. setiferus* de la estación 7 es de 10.0 ‰ y el *P. goodie* de 8.5 ‰. Estos organismos de distinta especie tienen una diferencia en sus valores de 1.3 ‰, aunque espacialmente sean de la misma estación. El valor de estos dos organismos es mucho más enriquecido que el valor isotópico de los sedimentos por lo tanto se puede inferir que la principal fuente de nitrógeno en la dieta de estos organismos es mixta y es aportada por la materia orgánica continental trasladada por el río Coatzacoalcos y una cantidad menos considerable de materia orgánica de origen marino.

Para el *F. duorarum* de la estación 21 ubicada del lado este de las lagunas de Carmen y Machona el valor isotópico es de 11.4 ‰, este valor es muy similar a los encontrados por Soto y Escobar-Briones (1995) en la Sonda de Campeche. (tabla 10). El valor de este organismo es el más enriquecido de todos los camarones peneidos encontrados. Por lo que se puede pensar que la mayor parte de la materia orgánica aparentemente es aportada por las lagunas Carmen y Machona (Fig. 7).

El valor de $\delta^{15}\text{N}$ del camarón *L. setiferus* de la estación 22 (2) es de 11.3 ‰, el segundo más enriquecido y comparando con el *L. setiferus* de la estación 7, podemos suponer que las diferencias en estos valores se pueden deber a la talla, etapa reproductiva y madurez. Para *P. goodie* su valor es de 8.3 ‰ para esta estación y comparándolo con el de la estación 7, podemos notar que los valores son aproximadamente los mismos, aunque sean de diferentes áreas geográficas. (Fig. 7).

Estos organismos tienen una dieta detritívora y carroñera y con base a los valores isotópicos de $\delta^{15}\text{N}$ registrados en este trabajo entran en el intervalo de valores reportados por Fry (1983), Macko *et al.* (1984) en el N y NW del Golfo de México, Fry (1988) en el Banco de Georges y Soto y Escobar-Briones (1995) en la Sonda de Campeche (Tabla. 10). También se advierte que la materia orgánica que suministra de nitrógeno a los camarones peneidos en la plataforma continental interna es de origen continental, y en la plataforma continental media empieza a manifestarse la influencia de la materia orgánica de origen marino. Las diferencias isotópicas de los camarones con respecto a los sedimentos es aproximadamente de 6.0 a 8.0 ‰ más enriquecido. Por lo

anterior se puede presumir que estos organismos pertenecen al tercer nivel trófico, y se encuentran por debajo del nivel trófico de los organismos que son carnívoros por excelencia y por encima del nivel trófico del plancton.

Tabla 10 COMPARACIÓN DE VALORES DE $N^{15}/^{14}N$ DE LOS ORGANISMOS DE LAS ZONAS DE REFERENCIA Y VALORES DE LITERATURA

ESPECIE	CRUCERO				
	PROB-MEX-3	OGMEX-1	OGMEX-2	OGMEX-3	OGMEX-5
	Soto y Escobar-Briones (1995)				
	$\delta^{15}N$	$\delta^{15}N$	$\delta^{15}N$	$\delta^{15}N$	$\delta^{15}N$
<i>F. duorarum</i>	11.4 ‰	7.6 ‰	9.3 ‰	9.4 ‰	7.5 ‰
<i>P. goodie</i>	8.5 y 8.3 ‰				
<i>L. setiferus</i>	10.0 y 11.3 ‰				
<i>F. aztecus</i>		9.2 ‰	9.0 ‰	9.1 ‰	7.9 ‰

	$\delta^{15}N$	SITIO	REFERENCIA
<i>Penaeus spp.</i>	12.9 ‰	Noroeste del Golfo de M.	Macko <i>et al.</i> (1984)
<i>Penaeus spp.</i>	8.4 ‰	Sur de Florida	Macko <i>et al.</i> (1984)
Camarón <i>Pandalido</i>	9.6 ‰	Banco de Georges	Fry (1988)
Camarón <i>Crangon sp.</i>	9.3 ‰	Banco de Georges	Fry (1988)
Camarón peneido (colectado en estuario)	6.0 a 12.0 ‰	N. del Golfo de México	Fry (1983)
Camarón peneido (colectado en zona marina de origen estuarino)	7.0 a 15.0 ‰	N. del Golfo de México	Fry (1983)
Camarón peneido (residente marino)	8.0 a 12.5 ‰	N. del Golfo de México	Fry (1983)

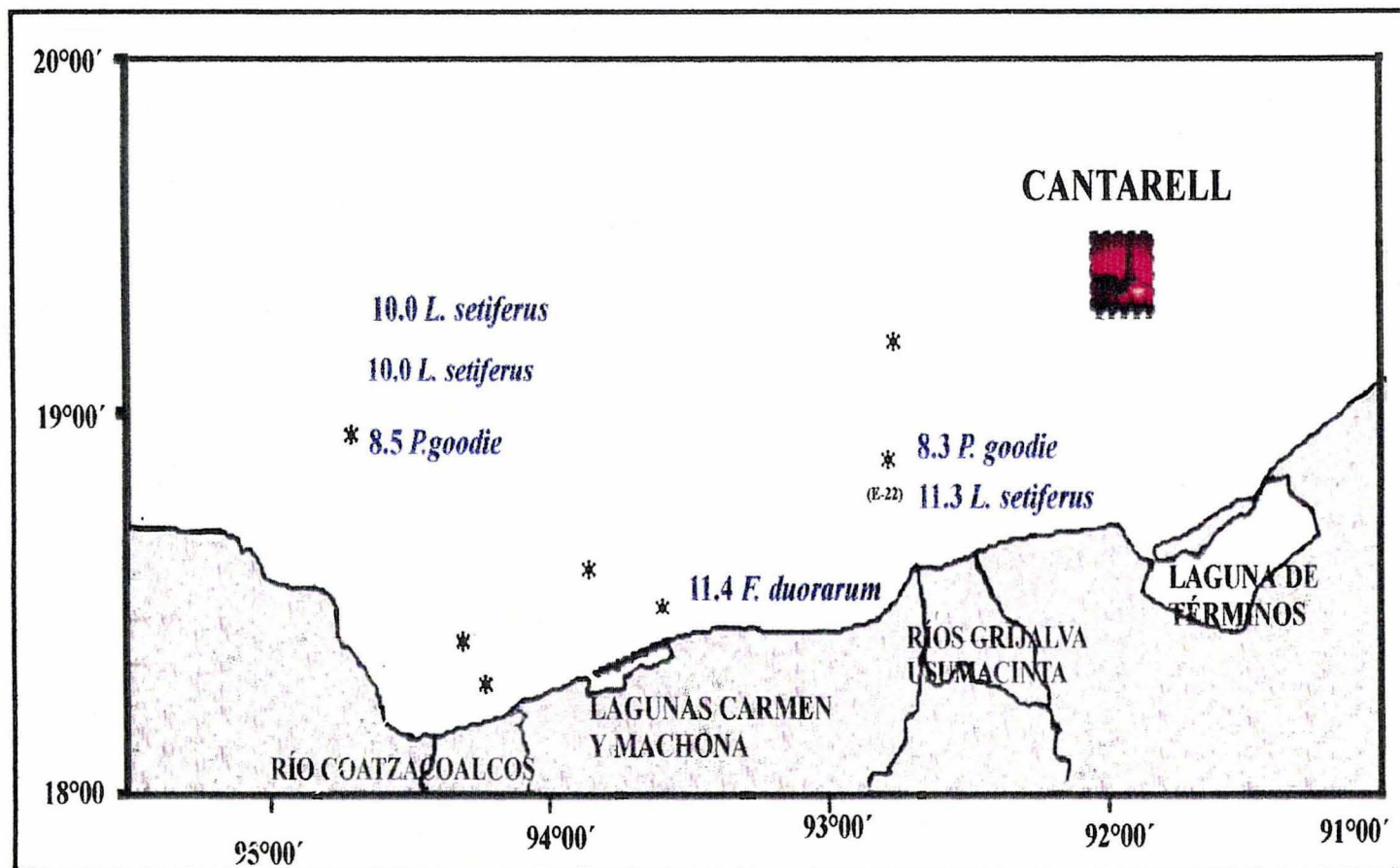


Fig. 7. Valores de $\delta^{15}\text{N}$ de macroinvertebrados bénticos colectados en las tres zonas de referencia. Los valores de los camarones *L. Setiferus* son semejantes entre sí así como los *P. goodie* a pesar de las diferencias geográficas. Estos valores caen dentro del intervalo reportado en la Tabla 2.

7 CONCLUSIONES

Los resultados isotópicos de carbono y nitrógeno de sedimentos y organismos del área de estudio (Cantarell), en donde se pensaba la existencia de una emanación natural de hidrocarburos fósiles (ENHF), no reflejan la señal isotópica de petróleo, metano o de materia orgánica continental, pero sí la señal de materia orgánica particulada característica de zonas marinas. Estos resultados nos conducen a la conclusión de que la emanación no estaba bien localizada, tal vez porque es muy puntual y probablemente la descarga de hidrocarburos es discreta.

La materia orgánica continental que aporta el sistema de ríos Grijalva-Usumacinta y la Laguna de Términos al Golfo de México, aparentemente no logra llegar o casi no llega hasta la zona de plataformas petroleras de PEMEX (Cantarell), por lo que no se expresa en los valores isotópicos de los sedimentos de esta zona. Por lo tanto se concluye en base a valores isotópicos bibliográficos que la principal fuente de carbono que mantiene a la comunidad béntica en Cantarell es la MOP.

En relación a los resultados isotópicos de nitrógeno en organismos de Cantarell se puede concluir que la trama trófica en esta comunidad béntica estudiada es sencilla, formada por organismos filtradores, detritívoros y carroñeros, con una diferencia de $\delta^{15}\text{N}$ entre ellos de 1.1 ‰, observando un solo nivel trófico en esta comunidad, además de que el tipo de asimilación de la principal fuente carbón no es quimiosintética y el principal suministro de nitrógeno a la productividad primaria es de nitratos.

Los resultados isotópicos de carbono de los sedimentos de las zonas de referencia muestran un claro gradiente de materia orgánica continental que aporta el río Coatzacoalcos, las lagunas de Carmen y Machona, el sistema de ríos Grijalva-Usumacinta a la plataforma continental interna principalmente.

Los valores isotópicos de carbono en la costa son más empobrecidos que en la parte marina, comparando estos valores con los de la zona de emanación que son menos empobrecidos y homogéneos, característicos de zona marina.

En cuanto a los isótopos de nitrógeno sedimentario no se distingue un gradiente como para el $\delta^{13}\text{C}$.

Los isótopos de carbono y nitrógeno de los organismos de las zonas de referencia muestran que el origen de la materia orgánica que alimenta a estos camarones es de origen continental principalmente y una proporción menor es de origen marino.

8. LITERATURA CITADA

Bidwell R.G.S. (1979) Fisiología vegetal, primera edición en español, AGT. EDITOR, S.S. 784

Botello V. A y G. Castro (1980) Chemistry and natural weathering of various crude oil fractions from the Ixtoc-1 oil spill. Proceedings of a symposium on "Preliminary results from the September 1979 Researcher/Pierce Ixtoc-1 cruise, held at Key Biscayne, Florida, June 9-10, 1980, National Oceanic and Atmospheric Administration, Boulder, Co. Office of Marine Pollution Assessment, Dec 1980, 387-407.

Botello V. A. y S. Macko (1982) Oil pollution the carbon isotope ratio in organism and recent sediments of coastal lagoons in the Gulf of Mexico. *Oceanologica acta*, N° SP 56-62.

Botello V. A., S. Villanueva y M. Mendelewicz (1987) Programa de vigilancia de los hidrocarburos fósiles en sedimentos del Golfo de México y Caribe Mexicano: 1978-1984. *Caribbean Journal Science*. 23 (1), 29-39.

Botello V. A., S. Villanueva, G. G. Díaz y E. Escobar-Briones (1998) Polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from Salina Cruz Harbors and coastal areas, Oaxaca, Mexico. *Marine Pollution Bulletin* 36 (7), 554-558.

Brooks J., M. C. Kennicutt II, C. R. Fisher, S. A. Macko, K. Cole, J. J. Childress, R. Bidigare y R. D. Vetter (1987) Deep-sea hydrocarbon seep communities: Evidence for energy and nutritional carbon sources. *Science* 238, 1138-1142.

Capurro L. R. (1970) Contributions on the geological and geophysical oceanography of the Gulf of Mexico, vol. 3, Texas A & M University, Oceanographic Studies, 1-288

Carranza-Edwards A., L. Rosales-Hoz y A. Monreal-Gómez. (1993) Suspended sediments in the southeastern Gulf of Mexico. *Marine Geology* **112**, 257-269.

De la Lanza Espino G. (1991) Oceanografía de los Mares Mexicanos, AGT Editor, S. A., 569

DeNiro M. J. y S. Epstein (1978) Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **42**, 495-506.

DeNiro M. J. y S. Epstein (1981) Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **45**, 341-351.

Fritz P. (1980) Handbook of environmental isotope chemistry, vol. 1 Elsevier Scientific Publishing Company. 329-344.

Fry B., J Woei-Lih, R. S. Scalan y P. L. Parker (1978) $\delta^{13}\text{C}$ food web analysis of a Texas sand dune community. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **42**, 1299-1302.

Fry B. (1983) Fish and shrimp migrations in the northern Gulf of Mexico analyzed using stable C, N, y S isotopes ratios. *Fishery Bulletin* **81** (4), 789-801.

Fry B. y E. Sherr (1984 compilación) $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. *Contributions in Marine Science* **27**, 13-47.

Fry B. (1988) Food web structure on Georges Bank from stable C, N, and S isotopic composition. *Limnology and Oceanography* **33** (5), 1182-1189.

Gearing P., J. Newman, T. Lytle y J. Lytle (1976) Hydrocarbons in 60 northeast Gulf of Mexico Shelf sediments: a preliminary survey. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **40** (9), 1005-1017.

Gearing P., F. Pluker y P. Parker (1977) Organic carbon stable isotope ratios of continental margin sediments. *Marine Chemistry* **5**, 251-266.

Geyer A. (1980), Marine Environmental pollution, 1. Elsevier Scientific Publishing Company, 27-49.

Goering J., V. Alexander y N. Haubenstock (1990), Seasonal variability of stable carbon and nitrogen isotope ratios of organisms in a North Pacific Bay. *Estuarine Coastal and Shelf Science* **30**, 239-260.

González M. C. (1997) Análisis de la comunidad bentónica en una chapopotera del Golfo de México y sus relaciones con la presencia crónica de hidrocarburos del petróleo. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, 75

Guzmán-Vega A. y M. Mello (1999) Origin of oil in the Sureste Basin, Mexico. *The American Association of Petroleum Geologists* **83**, 1068-1095

Hoefs J. (1987), Minerals and Rocks. Stable isotope geochemistry. Springer-Verlag, editor in Chief P.J. Wyllie, Chicago, IL, Editors, A. El Goresy, Heidelberg. 241

Kennicutt M. C. II, J. M. Brooks, R. R. Bidigare, R. R. Fay, T. L. Wade y T.J. McDonald (1985) Vent-type taxa in a hydrocarbon seep region on the Louisiana slope. *Nature* **317**, 351-353.

Kennicutt M. C. II, J. M. Brooks, R. T. Bidigare y G. J. Denoux (1988a) Gulf of Mexico hydrocarbon seep communities-I. regional distribution of hydrocarbon seepage and associated fauna. *Deep-Sea Research* **35** (9), 1639-1651.

Libes S. (1992) An introduction to marine biogeochemistry. John Wiley y Sons, Inc. 733

Libes S. (1983) Stable isotope geochemistry of nitrogen in marine particulates. Doctoral dissertation of philosophy, Massachusetts Institute of Technology and the Woods Hole Oceanography Institution, 1-288

Licea S. y H. Santoyo (1991) Algunas características del fitoplancton de la región central de la Bahía de Campeche, *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, **18** (2), 157-167.

López V. (1998) The dynamics of dissolved and particulate nitrogen in the northwest Gulf of Mexico. Doctoral dissertation of philosophy, Texas A & M University. Dept. of Oceanography, 1-16, 24-45, 100-125, 182-199.

MacDonald I. R., N. L. Guinasso, Jr., S. G. Ackleson, J. F. Amos, R. Duckworth, R. Sassen, y J. M. Brooks (1993) Natural oil slicks in the gulf of Mexico visible from space. *Journal of Geophysical Research* **98**, NO. C9 16351-16364.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Macko S. A., Entzeroth y P. L. Parker (1984) Regional differences in nitrogen and carbon isotopes on the continental shelf of the Gulf of Mexico. *Naturwissenschaften* **71**, 374-375.

Mango F. D. y L. W. Elrod (1999) The carbon isotopic composition of catalytic gas: A comparative analysis with natural gas. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **63** (7/8), 1097-1106.

Mariotti A. (1983) Atmospheric nitrogen is a reliable standard for natural ^{15}N abundance measurements. *Nature* **303**, 685-687.

Mariotti A. (1984) Natural ^{15}N abundance measurements and atmospheric nitrogen standard calibration. *Nature* **311**, 251-252.

Minagawa M. y E. Wada (1984) Stepwise enrichment of ^{15}N along food chains: Further evidence and the relation between $\delta^{15}\text{N}$ and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **48**, 1135-1140.

Monreal-Gómez M. A. y D. Salas de León (1990) Simulación de la circulación de la Bahía de Campeche. *Geofísica Internacional*, **29** (2), 101-111.

Monreal-Gómez M. A., D. Salas de León, A. R Padilla Pilotze. y M. A. Alatorre Mendieta (1992) Hidrografía y estimación de corrientes de densidad en el sur de la Bahía de Campeche, México. *Ciencias Marinas* **18** (4), 115-133.

Monreal-Gómez M. A. y D. Salas de León (1997) Circulación y estructura Termohalina del Golfo de México. Contribuciones a la Oceanografía física en México, monografía No. 3, Unión Geofísica Mexicana, 183-199.

Ortega Osorio A., L. Soto., E. Galván, C. Illescas, C. González, V. García (2000) Prospección de emanaciones naturales de hidrocarburos en el Golfo de México, XII Congreso Nacional de Oceanografía, Huatulco, Oaxaca, México.

Ostrom N. E., S. A. Macko, D. Diebel y T. J. Raymond (1997) Seasonal variation in the stable carbon and nitrogen isotope biogeochemistry of a coastal cold ocean environment. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **61** (14), 2929-2942.

Owens N. J. (1987) Natural variations in ^{15}N in the marine environment. *Advances in Marine Biology* **24**, 389-443.

Rau G. H., E. Sweeney y I. R. Kaplan (1982) Plankton $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$ ratio changes with latitude: differences between northern and southern oceans. *Deep Sea Research* **29** (8A) 1035-1039.

Raz-Guzmán M. A. (1987) Proporción isotópica del carbono en camarones, sedimentos y vegetación de la Laguna de Términos, Campeche. Tesis de Maestría, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM., 1-38.

Raz-Guzmán M. A. and E. G. De La Lanza (1991) Evaluation of photosynthetic pathways of vegetation, and of sources of sedimentary organic matter through $\delta^{13}\text{C}$ in Terminos Lagoon, Campeche, Mexico. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Botánica* **62** (1), 39-63.

Raz-Guzmán M. A. (1995), Caracterización trófica de los componentes de las comunidades bentónicas en Laguna de Términos, Campeche y en la plataforma continental adyacente. Tesis Doctoral, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM., 1-63.

Sackett W. y R. Thompson (1963) Isotopic organic carbon composition of recent continental derived clastic sediments of E. Gulf Coast, Gulf of Mexico. *Bulletin of American Association of Petroleum Geologists* 47 (3), 525-531.

Saino T. y A. Hattori (1980) ^{15}N natural abundance in oceanic suspended particulate matter. *Nature* 283, 752-754.

Spies R. y DesMarais (1983) Natural isotope study of trophic enrichment of marine benthic communities by petroleum seepage. *Marine Biology* 73, 67-71.

Soto L., A. Gracia y V. A. Botello. (1980) Study of the penaeid shrimp population in relation to petroleum hydrocarbons in Campeche. Bank. *Gulf Caribbean Fisheries International* 33, 81-100.

Soto L. y E. Escobar-Briones (1995) Coupling mechanisms related to benthic production in the SW Gulf of Mexico. Biology and ecology of shallow coastal waters. 28 Embs symposium. Edited by a. Eleftheiou et al. Published by Olsen & Olsen Helstedsvej 10 dk-3480 Fredensborg Denmark, International Symposium Series, 233-242.

Spies R., J. Bauer y D. Hardin (1989) Stable Isotope study of sedimentary carbon utilization by *Capitella spp.*: effects of two carbon sources and geochemical condition during their diagenesis. *Marine Biology* 101, 69-74.

Sweeney R. y I. Kaplan (1980) Natural abundances of ^{15}N as a source indicator for near-shore marine sedimentary and dissolved nitrogen. *Marine Chemistry* 9, 81-94.

Sweeney R. E. y R. I. Haddad (1980) Tracing the dispersal of the Ixtoc-1 oil using C, H, S, and N stable isotopes ratios. Proceedings of a symposium on "preliminary results from the September 1979 Researcher/Pierce Ixtoc-1 cruise, held at Key Biscayne, Florida, June 9-10, 1980. National Oceanic and Atmospheric Administration, Boulder, Co. Office of Marine Pollution Assessment, Dec 1980, 89-114.

Voss M., A. M. Altabet y B. Bodungen (1996) $\delta^{15}\text{N}$ sedimenting particles as indicator of euphotic-zone processes. *Deep-Sea Research* **43**, (1), 33-47.

Wada E., Y. Kabaya, K. Tsuru y R. Ishiwatari (1990) ^{13}C and ^{15}N abundance of sedimentary organic matter in estuarine areas of Tokyo Bay, Japan. *Mass spectroscopy* **38** (6), 307-319.

Wade T., M. C. Kennicutt II y J.M. Brooks (1989) Gulf of Mexico hydrocarbon seep communities: part III. Aromatics hydrocarbon concentrations in organisms, sediments and water. *Marine Environmental Research* **27**, 19-30.

Wilson D., H. Monaghan, A. Osakik, C. Price y A. Rogers (1974) Natural marine oil seepage. *Science*. **184** (4139), 857-865.

Yáñez-Arancibia A. y P. Sánchez Gil (1983) Environmental behavior of Campeche Sound ecological system, off Términos Lagoon Mexico: preliminary results. *Anales del Instituto de Ciencias Del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México* **10** (1), 117-136.

Zundahl, Fundamentos de química (1992), Mc Graw Hill 1-71

ANEXO 1

TRATAMIENTO DE RESULTADOS

Valores de $\delta^{13}\text{C}$ y de $\delta^{15}\text{N}$ de la zona de ENHF, así como las de referencia, tanto de material sedimentario y biológico. Estos resultados se obtuvieron de los análisis de tres laboratorios de las siguientes instituciones: Laboratorio de Isótopos Estables, Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$, precisión 0.2 ‰); Laboratorio de Espectrometría de Masas de Isótopos Estables del Instituto de Geología (IG), UNAM ($\delta^{13}\text{C}$, precisión 0.1 ‰) y en el Stable Isotope Laboratory MGG/RSMAS/ Universidad de Miami (UM) ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$).

TABLA A-1. VALORES DE $\delta^{13}\text{C}$ DE SEDIMENTOS DEL ÁREA DE ENHF

ESTACIÓN	IG ‰	UM ‰	IMP ‰	Promedio IG e IMP (X_{prom}) ‰	Valores corregidos de la UM ‰	Valor promedio UM (corregidos), de IG e IMP ‰
1 (1-R1)	-21.06	-20.05	-21.10	-21.08	-20.88	-21.0
2 (1-R2)	-21.27	-20.39	ND	ND	-21.22	-21.2
3 (1-R3)	-21.13	-20.43	ND	ND	-21.26	-21.2
4 (2-R1)	-21.1	-20.15	ND	ND	-20.98	-21.0
5 (2-R2)	-21.21	-20.42	ND	ND	-21.25	-21.2
6 (3-R1)	-21.68	-20.65	-21.68	-21.68	-21.48	-21.6

ND = no se determino

Los valores del IG y del IMP son estadísticamente iguales, por lo que se decidió hacer una corrección a los valores registrados de la Universidad de Miami:

$$(1) (1)-21.08 - (-20.05) = -1.03$$

$$(6)-21.68 - (-20.65) = -1.03$$

Se calculó la diferencia entre los valores del I. de Geología y de la U. de Miami para las estaciones 2, 3, 4 y 5, y el promedio.

$$(2) -21.27 - (-20.39) = -0.88$$

$$(3) -21.13 - (-20.43) = -0.70$$

$$(4) -21.10 - (-20.15) = -0.95$$

$$(5) -21.21 - (-20.42) = -0.79$$

$$\text{prom.} = -0.83 \pm 0.13 \text{ este valor será el factor de corrección}$$

A los valores isotópicos reportados por la U. de Miami se les aplicara el factor de corrección calculado.

- (1) $-20.05 + (-0.83) = -20.88$
 (2) $-20.39 + (-0.83) = -21.22$
 (3) $-20.43 + (-0.83) = -21.26$
 (4) $-20.15 + (-0.83) = -20.98$
 (5) $-20.42 + (-0.83) = -21.25$
 (6) $-20.65 + (-0.83) = -21.48$

Finalmente se calculó un promedio de los valores obtenidos del I. de Geología del IMP y de los valores corregidos de la U. de Miami.

Los valores utilizados de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ para los sedimentos del área de estudio fueron los realizados por la U. De Miami (Tabla 2).

TABLA 2-A. VALORES DE $\delta^{15}\text{N}$ DE SEDIMENTOS DEL ÁREA DE ESTUDIO

ESTACIÓN		U. MIAMI
		‰
1	(1-R1)	4.1
2	(1-R2)	5.3
3	(1-R3)	4.5
4	(2-R1)	5.5
5	(2-R2)	5.2
6	(3-R1)	7.4

Los valores de los organismos de la zona de estudio efectuados por la Universidad de Miami se corrigieron con el factor de corrección de -0.83 ‰. (Tabla 3-A).

TABLA 3-A. VALORES DE $\delta^{13}\text{C}$ DE ORGANISMOS DEL ÁREA DE ENHF

ORGANISMO Y ESTACIÓN	I. DE GEOLOGÍA ‰	U. DE MIAMI ‰	IMP ‰	VALORES CORREGIDOS DE MIAMI ‰	VALORES PROMEDIO DE U. DE MIAMI(CORREGIDOS), DEL IG E IMP ‰
<i>Raninia louisianensis</i> 3	-15.98	-17.82	-16.32	-18.65	-17.0
<i>Squilla Chydrea</i> 3-R2	-17.18	-18.12	-16.89	-18.95	-17.7
Sipunculido 3-R3	-18.25	-19.63	ND	-20.46	-19.4
Sipunculido 3	-18.26	ND	ND	ND	-18.3
Poliqueto 3-R2	ND	-17.46	ND	-18.29	-18.3
Ascidia 3-R2	ND	-13.51	ND	-14.34	-14.5
Pepino de mar 3-R1	ND	ND	-17.96	ND	-18.0

ND = no se determino

Los valores de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ para los organismos de la zona de estudio se realizaron en la Universidad de Miami y en el IMP. Las muestras que se analizaron en ambos laboratorios fueron promediados. (Tabla 4-A)

TABLA 4-A. VALORES DE $\delta^{15}\text{N}$ DE ORGANISMOS DEL ÁREA DE ESTUDIO.

ORGANISMO Y ESTACIÓN	U. MIAMI ‰	IMP ‰	PROMEDIO ‰
<i>Raninia louisianensis</i> 3	11.05	9.85	10.5
<i>Squilla chydrea</i> 3-R2	10.97	9.12	10.1
Sipunculido 3-R3	10.75	ND	10.8
Sipunculido 3	ND	ND	ND
Poliqueto 3-R2	11.14	ND	11.1
Ascidia 3-R2	11.15	ND	11.2
Pepino de mar 3-R1	ND	10.07	10.1

ND = no determinado.

A los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de los sedimentos de las áreas de referencia también se les aplicó el factor de corrección -0.83 ‰ y posteriormente se realizó el cálculo de los promedios de los tres diferentes laboratorios. (Tabla 5-A)

TABLA 5-A. VALORES DE $\delta^{13}\text{C}$ DE SEDIMENTOS DE ÁREAS DE REFERENCIA

ESTACIÓN	U. MIAMI ‰	VALORES CORREGIDOS DE UM		PROMEDIO ‰
		U. MIAMI ‰	IMP ‰	
E-7	-23.43	-24.26	-24.13	-24.2
E-8	-23.79	-24.64	ND	-24.6
E-10	-21.69	-22.52	ND	-22.6
E-20	-21.76	-22.59	ND	-22.6
E-21	-23.30	-24.13	ND	-24.1
E-23	-21.38	-22.21	-21.55	-21.9

ND = no se determino

Se efectuó una corrección a los valores de la U. De Miami con el factor de corrección de -0.83 ‰ para el $\delta^{13}\text{C}$.

A los valores de $\delta^{13}\text{C}$ de los organismos de referencia se les aplicó el factor de corrección de -0.83‰ , para los valores obtenidos por la U. de Miami, posteriormente se realizó un promedio con los valores de la U. Miami corregidos, del Instituto de Geología y solo se obtuvieron 2 valores del IMP. (Tabla 6-A)

TABLA 6-A. VALORES DE $\delta^{13}\text{C}$ DE ORGANISMOS DE ÁREAS DE REFERENCIA

ORGANISMO Y ESTACIÓN	IG ‰	UM ‰	VALORES CORREGIDOS ‰	UM IMP ‰	PROMEDIO IG Y VALORES CORREGIDOS UM ‰
<i>L. Setiferus</i> (E-7)	-16.63	-18.8	-19.46	ND	-18.0
<i>P. Goodie</i> (E-7)	ND	ND	-----	-16.90	-17.0
<i>F. Duorarum</i> (E-21)	-15.65	-16.54	-17.37	ND	-16.5
<i>L. Setiferus</i> (22) (1)	-17.92	-17.98	-18.81	ND	-18.4
<i>L. Setiferus</i> (22) (2)	-17.07	ND	-----	ND	-17.1
<i>P. Goodie</i> (E-22)	ND	ND	-----	-16.48	-16.5

ND = no se determino

Se llevo a cabo una corrección de los valores de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ de los organismos con el factor de corrección de -0.83‰

$$L. Setiferus \text{ (E-7)} \quad -18.63 + (-0.83) = -19.46$$

$$F. Duorarum \text{ (E-21)} \quad -16.54 + (-0.83) = -17.37$$

$$L. Setiferus \text{ (E-22(1))} \quad -17.98 + (-0.83) = -18.81$$

Para los valores de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ de los sedimentos de las áreas de referencias solo se tomaran en consideración los realizados por la U. De Florida, porque solo ellos los realizaron. (Tabla 7-A)

TABLA 7-A. VALORES DE $\delta^{15}\text{N}$ DE SEDIMENTOS DE ÁREAS DE REFERENCIA

ESTACIÓN	U. MIAMI ‰
E-7	2.6
E-8	4.7
E-10	4.7
E-20	3.5
E-21	3.0
E-23	3.7

Los valores de $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ para los organismos de referencia solo los analizo la U. de Miami, y solo 2 el IMP (Tabla 8-A)

TABLA 8-A. VALORES DE $\delta^{15}\text{N}$ DE ORGANISMOS DE ÁREAS DE REFERENCIA

ORGANISMOS Y ESTACIÓN	U. MIAMI ‰	IMP ‰
<i>L. Setiferus</i> (7)	9.81	ND
<i>P. Goodie</i> (E-7)	ND	8.51
<i>F. Duorarum</i> (E-21)	11.39	ND
<i>L. Setiferus</i> (22) (2)	11.26	ND
<i>P. Goodie</i> (E-22)	ND	8.28
<i>L. Setiferus</i> (22) (1)	ND	ND

ND = no se determino

Los valores isotópicos de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ y $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ de los sedimentos y de organismos de la zona de estudio que se consideraran para la interpretación de este trabajo se muestran en la tabla 9-A y 10-A

TABLA 9-A. VALORES DE $\delta^{13}\text{C}$ Y $\delta^{15}\text{N}$ DE SEDIMENTOS DE LA ZONA DE ESTUDIO

ESTACIÓN	^{13}C ENHF ‰	^{15}N ENHF ‰
1 (1-R1)	-21.0	4.1
2 (1-R2)	-21.2	5.3
3 (1-R3)	-21.2	4.5
4 (2-R1)	-21.0	5.5
5 (2-R2)	-21.2	5.2
6 (3-R1)	-21.6	7.4

TABLA 10-A. VALORES DE $\delta^{13}\text{C}$ Y $\delta^{15}\text{N}$ DE ORGANISMOS DE LA ZONA DE ESTUDIO

ORGANISMO Y ESTACIÓN	VALORES PROMEDIO DE LA UM(CORREGIDOS), IG. E IMP DE ^{13}C ‰	PROMEDIO DE ^{15}N ‰
<i>Raninide</i>		
3	-17.0	10.5
<i>Squilla Chidae</i>		
3-R2	-17.7	10.5
<i>Simpuncúlido</i>		
3-R3	-19.4	10.8
<i>Sipunculido</i>		
3	-18.3	ND
<i>Poliqueto</i>		
3-R2	-18.3	11.1
<i>Ascidia</i>		
3-R2	-14.5	11.2
<i>Pepino de mar</i>		
3-R1	-18.0	10.1

ND = no se determino

Los valores isotópicos de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ y $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ de los sedimentos y de organismos de las zonas de referencia que se consideraran para la interpretación de este trabajo se muestran en las tablas 11-A y 12-A

TABLA 11-A. VALORES DE $\delta^{13}\text{C}$ Y $\delta^{15}\text{N}$ DE SEDIMENTOS DE LAS ZONAS DE REFERENCIA

ESTACIÓN	^{13}C ‰	^{15}N ‰
E-7	-24.2	2.6
E-8	-24.6	4.7
E-10	-22.6	4.7
E-20	-22.6	3.5
E-21	-24.1	3.0
E-23	-21.9	3.7

TABLA 12-A. VALORES DE $\delta^{13}\text{C}$ Y $\delta^{15}\text{N}$ DE ORGANISMOS DE LAS ZONAS DE REFERENCIA

ORGANISMO Y ESTACIÓN	^{13}C ‰	^{15}N ‰
<i>Setiferus</i> E-7 (3)	-18.0	10.0
<i>Goodie</i> (E-7)	-17.0	8.5
<i>Duorarum</i> E-21	-16.5	11.4
<i>Setiferus</i> E-22 (1)	-18.4	ND
<i>Setiferus</i> E-22 (2)	-17.1	11.3
<i>Goodie</i> E-22	-16.5	8.3

ND = no se determino