

84



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

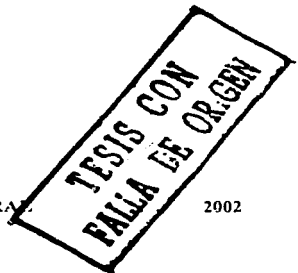
FACULTAD DE CIENCIAS

CARACTERIZACIÓN ISOTÓPICA ($\delta^{13}C$ Y $\delta^{15}N$) Y
ELEMENTAL DE LA FAUNA Y EL SEDIMENTO EN LA ZONA
SUR EN LA CUENCA DE GUAYMAS, GOLFO DE CALIFORNIA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE BIÓLOGO
P R E S E N T A
MANUEL GONZÁLEZ OCAMPO



FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION ESCOLAR
CIUDAD UNIVERSITARIA DISTRITO FEDERAL



2002



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



SECRETARÍA NACIONAL
DE EDUCACIÓN PÚBLICA

M. EN C. ELENA DE OTEYZA DE OTEYZA
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito: "Caracterización Isotópica (delta 13 carbono y delta 15 nitrógeno) y Elemental de la fauna y el sedimento en la zona sur de la Cuenca de Guaymas, Golfo de California"

realizado por Manuel González Ocampo
con número de cuenta 9560079-4 , quién cubrió los créditos de la carrera de
Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis
Propietario

Dra. Elva G. Escobar Briones

Elva Escobar - Briones

Propietario

M. en C. Pedro A. Morales Puentes

Pedro A. Morales Puentes

Propietario

M. en C. Edith Cienfuegos Alvarado

Edith Cienfuegos Alvarado

Suplente

Dr. Javier Alcocer Durand

Javier Alcocer Durand

Suplente

Dra. Ma. Antonieta Aladro Lubel

Ma. Antonieta Aladro Lubel

Consejo Departamental de Biología

FACULTAD DE CIENCIAS
U N A M.

Dra. Patricia Ramos Morales



DEPARTAMENTO
DE BIOLOGÍA

*Por su apoyo y comprensión agradezco a mi
madre Martha Campo Torres*

A mis hermanos. Pili. Paco. Benita. Rená
Malena. Angélica. Vero.

A toda mi familia. Nally. Monse. Carlitos
Cris. Rená. Nitzy. Alximba. Ruth.
Rodrigo y Luis.

A mis amigos. Omar. Silhartha. Raquel.
Miriam. Edith. Toño. Juan y aquellos que
siempre me apoyaron

Índice de Figuras

Página

- Figura 1. A.** Ubicación de la Cuenca de Guaymas en el Golfo de California. El recuadro representa la ubicación de la Cuenca de Guaymas. **B.** Ubicación de la localidad de inmersión en las inmediaciones de la Dorsal del Sur. Las isóbatas se muestran en metros de profundidad. El cuadro negro representa sitio preciso de las inmersiones a 2000 m de profundidad. 13
- Figura 2.** Abundancia isotópica estable de carbono y nitrógeno de los tejidos y los materiales de fauna béntica recolectados en la Cuenca de Guaymas. Los triángulos muestran los valores promedio de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$. Las pirámides construidas con óvalos muestran los niveles tróficos con base en el fraccionamiento de $\delta^{15}\text{N}$ 3.4 ‰, entre los valores promedio en los tejidos de los organismos. Líneas continuas: cadena en la ventila hidrotermal; líneas punteadas: cadena en la planicie abisal. 24
- Figura 3.** Abundancia isotópica estable de carbono $\delta^{13}\text{C}$ y de nitrógeno $\delta^{15}\text{N}$ del sedimento superficial recolectado en la base de una chimenea activa (0 m) y a lo largo de un gradiente a distancia en la zona abisal a 5, 20 y 50 m. 25
- Figura 4.** Composición elemental de carbono orgánico y nitrógeno en tejidos de fauna recolectados en la Cuenca de Guaymas. Los diamantes muestran los valores promedio de la composición elemental de las muestras analizadas por tejido. 26
- Figura 5** Caracterización elemental de muestras de sedimento. Los diamantes muestran los valores de carbono orgánico y nitrógeno elemental, la diferencia de proporción de ambos elementos en una zona con actividad termal, a 0 m, y a distancia sobre la zona abisal a 5, 20 y 50 m. 28
- Figura 6 A.** Intervalos de valores de isótopos estables de carbono $\delta^{13}\text{C}$ y nitrógeno $\delta^{15}\text{N}$ en los tejidos de la fauna asociada a la zona de actividad hidrotermal, e intervalo de valores de las dietas potenciales con base en el fraccionamiento de 1 ‰ en $\delta^{13}\text{C}$ y

de 3.4‰ en $\delta^{15}\text{N}$. Los recuadros oscuros indican los valores reconocidos en este estudio, los recuadros de color blanco indican el intervalo de valores de una dieta potencial y los recuadros con líneas punteadas son algunos valores de referencias (Tabla 1).

30

Figura 6 B. Intervalos de valores de isótopos estables de carbono $\delta^{13}\text{C}$ y nitrógeno $\delta^{15}\text{N}$ en los tejidos de la fauna asociado a la zona abisal, e intervalo de valores de las dietas potenciales con base en el fraccionamiento de 1 ‰ en $\delta^{13}\text{C}$ y de 3.4‰ en $\delta^{15}\text{N}$. Los recuadros oscuros indican los valores reconocidos en este estudio, los recuadros de color blanco indican el intervalo de valores de una dieta potencial y el recuadro con líneas punteadas indica el intervalo de valores para fitoplancton como dieta potencial, basado en referencias (Tabla1).

32

Índice de Tablas

Página

Tabla 1. Abundancia isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) en organismos de ventilas hidrotermales, en organismos abisales, en fuentes potenciales de alimento y en eventos de fraccionamiento isotópico durante la asimilación. Abreviaturas utilizadas. CID = carbono inorgánico disuelto, NID = nitrógeno inorgánico disuelto.	11
Tabla 2. Posición geográfica, número de las inmersiones y valores de los parámetros que caracterizan las localidades en las cuales se recolectó fauna y sedimento para análisis de isótopos estables ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ ‰) y elemental (% C_{org} y N) en la expedición GUAYNAUT (IFREMER - UNAM) en la Cuenca de Guaymas, Golfo de California. Valores proporcionados a la Dra. Escobar, ICML, por la Dra. A. M. Alayse, IFREMER. Abreviaturas utilizadas: COT = carbono orgánico total, n.d. = valores no determinados.	16
Tabla 3. Fauna recolectada en la Cuenca de Guaymas y citada en este estudio, la clasificación filogenética es la propuesta por Brusca y Brusca (1991).	18
Tabla 4. Composición isotópica estable y elemental de la fauna béntica. Valores de los isótopos estables; mínimos, máximos y promedio de carbono orgánico y nitrógeno en tejidos de los grupos taxonómicos de la megafauna recolectada en la Cuenca de Guaymas, Golfo de California. Abreviaturas utilizadas: n = número de muestras.	22
Tabla 5. Composición de isótopos estables y elemental del sedimento superficial recolectado en la Cuenca de Guaymas, Golfo de California. Valores máximos mínimos y promedio de carbono orgánico y nitrógeno. El análisis de isótopos estables fue sin replicación y el análisis elemental se realizó por triplicado.	23

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

En 1995 la Comisión de Pesos Atómicos y Abundancias Isotópicas de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada, (IUPAC) por sus siglas en inglés, recomendó que los resultados de las variaciones isotópicas se expresen en escalas definidas en términos de patrones fijos de referencia de distribución internacional. Por ejemplo,

$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}} = [(^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{MUESTRA}} / ^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{VPDB}}) - 1] * 1000 (\text{‰}) =$ abundancia relativa del isótopo estable del carbono en una muestra, en partes por mil.

$\delta^{15}\text{N}_{\text{AIRE}} = [(^{15}\text{N}/^{14}\text{N}_{\text{MUESTRA}} / ^{15}\text{N}/^{14}\text{N}_{\text{VAIRE}}) - 1] * 1000 (\text{‰}) =$ abundancia relativa del isótopo estable de nitrógeno en una muestra, en partes por mil.

En donde:

δ = la nomenclatura delta se emplea para referir cualquier abundancia relativa de algún isótopo estable de cualquier elemento.

δ^{X} = el número en superíndice indica la masa atómica del isótopo estable (p. e. δ^{13} para carbono, δ^{15} para nitrógeno)

X = es el símbolo del elemento químico en cuestión (p. e., C = carbono, N = nitrógeno).

VPDB = el subíndice o material de referencia base de la escala de reporte para isótopos estables de carbono, en este caso material referido a la calcita fósil de la formación Pee Dee, por sus siglas en inglés (Viena Pee Dee Belemnite limenstone).

AIRE = material de referencia base de la escala de reporte para isótopos estables de nitrógeno, en este caso nitrógeno atmosférico.

Δ = la diferencia entre los valores de dos abundancias isotópicas.

ÍNDICE

	Página
Índice de figuras	i
Índice de tablas	iii
Símbolos y abreviaturas	iv
Resumen	2
Abstract	4
Introducción	6
-Antecedentes	10
-Área de estudio	13
Objetivos	17
Hipótesis	17
Material y método	18
Resultados	21
Discusión	29
Conclusiones	37
Referencias	39
APÉNDICES	
A1 – Espectrómetro de masas, fraccionamiento y patrón de referencia	45
A2 - Purificación de gases	49
A3 - Sistema de introducción de muestras en el espectrómetro	51
A4 – Colectores	52
Agradecimientos	53

RESUMEN

El presente estudio describe la composición isotópica estable de carbono y nitrógeno, al igual que la composición elemental en organismos bénticos y sedimento superficial asociados a una ventila hidrotermal y la planicie abisal de la Cuenca de Guaymas. Los resultados de esta caracterización permitieron reconocer tres fuentes de carbono en la zona de estudio. La primera fuente está asociada al proceso de fijación quimioautotrófica de carbono de dos tipos. Estos valores estuvieron dentro del intervalo de carbono inorgánico disuelto ($\delta^{13}\text{C}$ -12.7 a -19.5 ‰) y se reconocieron en tejido muscular de *Actinia sp.*, del poliqueto *Paralvinella grasslei* y del vestimentífero *Riftia pachyptila*. Así mismo, se reconoció una fuente de metano de tipo termogénico ($\delta^{13}\text{C}$ -35.9 a -35.4 ‰) en el tejido muscular del bivalvo *Vesicomya gigas*. El sedimento de la base de la ventila hidrotermal mostró valores en el mismo intervalo. La segunda fuente de carbono procede del detrito generado en la ventila hidrotermal y se ejemplifica en el gasterópodo *Nuculana grasslei* y el múnido *Munidopsis alvisca* que se alimentan del detrito y bacterias asociado a éste. La tercera fuente se asoció al carbono biogénico de origen fotoautotrófico exportado desde la zona eufótica que, junto con detrito e infauna, sostiene la dieta del poliqueto *Amphisamytha galapagensis* y del cangrejo *Neolithodes diomedeeae*. El sedimento a 5, 20 y 50 m de distancia de las ventilas hidrotermales mostraron una señal de carbono biogénico exportado, mientras que el de la base de la chimenea mostró una señal clara de la ventila, lo anterior indica que el efecto de la ventila hidrotermal está totalmente localizado. Se reconocieron tres niveles tróficos con base en la abundancia isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ de la megafauna: productores primarios ($\delta^{15}\text{N}$ -2.9 a 0.9 ‰) que incluyen a la fauna con simbioses quimioautotróficas (p. e., la anémona *Actinia sp.*, el bivalvo *Vesicomya gigas*, el poliqueto *Paralvinella grasslei* y el vestimentífero *Riftia pachyptila*). En un segundo nivel trófico se encuentra el gasterópodo *Nuculana grasslei* ($\delta^{15}\text{N}$ +2.9 ‰) y el poliqueto *Amphisamytha galapagensis* ($\delta^{15}\text{N}$ +7.9 a +9.4 ‰). El tercer nivel trófico incluyó al múnido *Munidopsis alvisca*

($\delta^{15}\text{N} +5.47 \text{‰}$) y al cangrejo *Neolithodes diomedeeae* ($\delta^{15}\text{N} +15.4$ a $+15.5 \text{‰}$). La abundancia isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ en el sedimento mostró un enriquecimiento en un gradiente a distancia de la ventila hidrotermal hasta la planicie abisal con valores de $\delta^{15}\text{N} +3.4$, $+7.9$, $+9.2$ y $+11.1 \text{‰}$ a 0, 5, 20 y 50 m respectivamente, lo anterior denota que el efecto de la ventila hidrotermal está localizado en la base de la ventila. La proporción de carbono orgánico y nitrógeno elemental en el sedimento superficial fue significativamente diferente a los 5, 20 y 50 m de distancia con valores en el intervalo de 2.7 a 3.7 % C orgánico en contraste a los valores reconocidos en la ventila activa, con valores enriquecidos en el intervalo de 13.6 a 16.2 % C orgánico. Los valores promedio % C orgánico en tejidos fueron de 43.2 % en *Rifta pachyptila* a 24.6 % en la actinia. Los valores promedio en % N fueron de 12.1 % en músculo de *R. pachyptila* a 6.3 % en la actinia.

ABSTRACT

The current study describes the carbon and nitrogen stable isotopic composition, as well as the elemental composition in benthic organisms and superficial sediment associated to a hydrothermal vent and the abyssal plain of the Guaymas Basin. The results of this characterization allowed to recognize three carbon sources in the study site. The first carbon source is related to two types of chemoautotrophic carbon fixing processes. These values were within the range of dissolved inorganic carbon ($\delta^{13}\text{C}$ -12.7 to -19.5 ‰) and were recorded in muscle tissue of the *Actinia* sp., the polychaete *Paralvinella grasslei* and the vestimentiferan *Riftia pachyptila*. A thermogenic methane carbon source was recorded as well, in the range of $\delta^{13}\text{C}$ -35.9 to -35.4 ‰, in muscle tissue of the bivalve *Vesicomya gigas*. The sediment at base of the hydrothermal vent displayed values in the same range. The second carbon source was related to detritus generated at the hydrothermal vent and is exemplified by the gastropod *Nuculana grasslei* and the squat lobster *Munidopsis alvisca* that feed on detritus generated and associated at the vent site bacteria. The third carbon source was related to exported of biogenic carbon of photoautotrophic origin from the euphotic layer that together with the vent debris and infauna supports the diet of the polychaete *Amphisamytha galapagensis* and the spider crab *Neolithodes diomedea*. The sediment at 5, 20 and 50 m in distance from the active hydrothermal vent site showed a signature of exported biogenic carbon whilst the one at the base of the vent showed a hydrothermal signature, which indicates the localized vent effect in the sediment. Three trophic levels were recorded based on the $\delta^{15}\text{N}$ isotopic abundance of the megafauna: primary producers ($\delta^{15}\text{N}$ -2.9 to $+0.9$ ‰) that include the fauna with chemoautotrophic symbionts (e. g., the actinia, the bivalve *Vesicomya gigas*, the polychaete *Paralvinella grasslei* and the vestimentiferan *Riftia pachyptila*). In the second trophic level the gastropod *Nuculana grasslei* ($\delta^{15}\text{N}+2.9$ ‰) and the polychaete *Amphisamytha galapagensis* ($\delta^{15}\text{N}$ $+7.9$ to $+9.4$ ‰) were recorded. The third trophic level included the squat lobster

Munidopsis alvisca ($\delta^{15}\text{N} +5.47 \text{‰}$) and the spider crab *Neolithodes diomedea* ($\delta^{15}\text{N} +15.4$ to 15.5‰). The isotopic abundance of $\delta^{15}\text{N}$ in sediment showed an enrichment of the values in a distance gradient from the hydrothermal vent to the abyssal plain with values of $\delta^{15}\text{N} +3.4$, $+7.9$, $+9.2$ and $+11.1 \text{‰}$ at 0, 5, 20 and 50 m, respectively supporting our observations of a localized vent input in the sediment to base of the vent structure. The ratio of elemental organic carbon and nitrogen in sediment was significantly different at 5, 20, and 50 m distance, with values in the range of 2.7 to 3.7 % organic C in contrast to values recorded at the active vent, with enriched values in the range of 13.6 to 16.2 % organic C. The mean values of % organic C in tissues ranged from 43.2 % in *Riftia pachyptila* to 24.6 % in the anemone. The mean values of % organic N ranged from 12.1 % in muscle of *R. pachyptila* to 6.3 % in the actinia.

INTRODUCCIÓN

Las relaciones tróficas entre los animales de un ecosistema, se evalúan a partir de estrategias diversas como es el análisis del contenido estomacal (Hopkins, 1987), la observación directa en campo y en laboratorio (Michener y Schell, 1994) y el uso de radiotrazadores (Sondergaard *et al.*, 1988; Kioboe *et al.*, 1990).

Estos métodos han sido poco eficientes. Por ejemplo, el análisis del contenido estomacal conlleva a que la recolección de organismos sea muy amplia, también a una serie de problemas para identificar la fuente de la dieta, sobre todo en aquellos organismos donde la digestión es muy rápida y sólo se encuentra lo que no asimilan (Feller *et al.*, 1979). Esta técnica, además de tediosa, requiere del manejo oportuno de material y conocimientos amplios sobre la taxonomía de los organismos del ecosistema.

El método de observación directa es ambiguo ya que, en el caso de observaciones en laboratorio, implica necesariamente reducir el recurso alimenticio lo cual puede afectar la interpretación de los resultados (Feller *et al.*, 1979). Otros métodos de laboratorio proveen un sistema artificial con inclusión y exclusión de presas y alimento, así como un seguimiento de abundancias del depredador y de sus presas en tiempo (Arntz, 1977).

El uso de marcadores radioactivos para analizar estructuras tróficas requiere, evidentemente, de un elemento radioactivo traza p. e., (^{14}C y ^3H) en la fuente potencial de alimento, el cual es registrado a través de la cadena trófica (Marples, 1966; Smith *et al.*, 1979; Hessen *et al.*, 1990). Las desventajas principales de esta técnica radican en el número de muestras que deben ser analizadas y en las licencias que deben tramitarse para hacer uso de material radioactivo en dosis considerables (Feller *et al.*, 1979) y el cuidado en el manejo de muestras.

En los últimos años, el análisis de isótopos estables de carbono y nitrógeno ha sido utilizado como una alternativa para evaluar las relaciones tróficas en los ecosistemas. Para aplicar esta técnica se requiere recolectar los animales y aquellos que conforman su dieta

potencial. El análisis de muestras se realiza en los tejidos o componentes de los animales, con base en el principio de que lo que se asimila conforma el tejido de los organismos. La interpretación de los resultados está en función de cómo los organismos incorporan el alimento reflejado en el fraccionamiento (Apéndice 1) y en la retención del isótopo más pesado (Lajtha y Michener, 1994).

Durante la incorporación de los elementos ocurren múltiples procesos físicos y químicos que promueven una redistribución de los isótopos estables causando el fraccionamiento isotópico que en algunos casos puede ser considerable (hasta - 60 ‰ en $\delta^{13}\text{C}$ de procesos que involucran metanogénesis) y que se reconoce como el enriquecimiento o empobrecimiento del contenido de isótopo pesado (p.e., ^{13}C y ^{15}N) en tejidos y componentes del organismo en cuestión y que se alimenta con respecto a la dieta en estudio (Ponsard y Arditi, 2000).

El fraccionamiento isotópico es aprovechado, en el caso del ^{13}C , para evaluar los flujos de carbono en las comunidades animales y para establecer el origen de la dieta, por ejemplo para diferenciar el carbono de origen terrestre (plantas C_3 -23 a -29 ‰, plantas C_4 -13 a -11 ‰ y plantas CAM -14 a -10 ‰), del de origen marino (fitoplancton -16 a -22 ‰) (Kline *et al.*, 1993). Sin embargo, esto es sólo para el carbono; en el caso del ^{15}N se dice que los tejidos animales tienden a estar enriquecidos con ^{15}N con respecto a su dieta (De Niro y Epstein, 1981).

Normalmente el valor de fraccionamiento del $\delta^{13}\text{C}$ de carbono orgánico, cuando éste es transferido, muestra un enriquecimiento en 1 ‰ por cada nivel trófico superior (Rau *et al.*, 1983; Fry y Sherr, 1984) y cuando es fijado por los productores primarios, presenta un valor con decremento respecto al de la fuente, por ejemplo metano -35 a -60 ‰, bicarbonato -10 ‰, etc., (Lajtha y Michener, 1994). Con base en Libes (1992), los valores de fraccionamiento se encuentran en función de:

- a) La discriminación por los productores primarios que son la base de una red trófica
- b) La tasa de desarrollo que determina cuanto incorporan del y al sistema y

c) La temperatura que influye en la activación del metabolismo

Los análisis del contenido isotópico en tejidos de animales son utilizados para reconstruir dietas, para valorar la condición fisiológica de los organismos (Gannes *et al.*, 1997) y para evaluar el destino de los nutrientes asimilados dentro del animal y en el ecosistema (Trezen *et al.*, 1983).

Los isótopos estables pueden ser utilizados no sólo para elucidar la dieta de un animal, sino también para determinar el nivel trófico en que se encuentra y la condición del organismo. Estos dos son generados a partir de los procesos bioquímicos durante el proceso de la asimilación del alimento, en particular lo que respecta al nitrógeno y que permite a los consumidores tener valores enriquecidos en $\delta^{15}\text{N}$ hasta en 3.4 ‰ en relación a los valores de la dieta (Minagawa y Wada, 1984; Ambrose y DeNiro, 1986; Macko *et al.*, 1987). Esta diferencia es debida a la remoción preferencial de ^{14}N en procesos de excreción de urea principalmente (Steele y Daniel, 1978).

Los isótopos de nitrógeno pueden ser indicadores del nitrógeno inorgánico utilizado por los organismos, y también como indicadores de un estado trófico de una comunidad (Owens, 1987). En el caso del ambiente de ventilas hidrotermales, donde existen múltiples fuentes potenciales de nitrógeno inorgánico (N_2 , y NO_3) con diferentes valores en $\delta^{15}\text{N}$ y con diversas rutas de asimilación, la evaluación del origen de la fuente es compleja (Paull *et al.*, 1985). Durante la fijación de nitrógeno por productores primarios de ventilas hidrotermales, bacterias simbiotas de poliquetos, vestimentíferos y moluscos, se ha reconocido un fraccionamiento del $\delta^{15}\text{N}$ de 4 a 7 ‰ (Macko *et al.*, 1987; Libes, 1992).

En un ambiente con influencia hidrotermal se ha observado una variación de las propiedades físicoquímicas de una localidad con respecto a otra (von Damm, 1988), en la cual la temperatura, la cantidad y el contenido de los fluidos hidrotermales determinan la abundancia y distribución de la fauna (Tunnicliffe, 1991). La biota asociada a ventilas, excepto algunas

bacterias anaerobias (Jannasch y Wirsén, 1979; Jannasch y Mottl, 1985), está confinada a una región donde los fluidos hidrotermales se mezclan con agua del fondo oceánico.

La fisiología y bioquímica con la que cuentan los animales de las ventilas, les permite tolerar fluctuaciones de temperatura, altas concentraciones de sulfuro de hidrógeno y metales, así como concentraciones bajas de oxígeno disuelto en el medio y, sobre todo, utilizar la energía que ahí se produce, por parte de los productores primarios, para generar materia orgánica (Tunnicliffe, 1991).

Antecedentes

Los primeros estudios que emplearon isotopía estable en el ambiente de ventilas hidrotermales se realizan en la Dorsal del Pacífico Oriental a 21° N (Rau y Hedges 1979) con la finalidad de entender los procesos quimiosintéticos donde se esclarecieron estrategias de nutrición de bivalvos reconociéndose los valores isotópicos del proceso de quimiosíntesis. De este estudio deriva una línea de investigación descriptiva en diversas localidades del océano mundial representada por los trabajos de Fisher (1990), Childress y Fisher (1992), Kennicutt *et al.* (1992), Fisher (1995) y Escobar *et al.* (1996) quienes caracterizaron organismos diversos como son anémonas, bivalvos, poliquetos y vestimentíferos, que se destacan por presentar asociaciones simbióticas con bacterias quimioautotróficas. Otra línea de investigación se aboca a reconocer la importancia y el papel de los microorganismos de vida libre (van Dover y Fry 1989; 1994).

En un intento por entender los procesos de fraccionamiento durante la incorporación de carbono y nitrógeno por los organismos, Peterson y Fry (1987) publicaron una síntesis de los resultados generados en experimentos de laboratorio que arrojaron valores isotópicos similares a los encontrados en organismos de ventilas hidrotermales en condiciones naturales (Tabla 1).

Tabla 1. Abundancia isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) en organismos de ventilas hidrotermales, en organismos abisales, en sus fuentes potenciales de alimento y en eventos de fraccionamiento isotópico durante la asimilación. Abreviaturas utilizadas. C = carbono, N = nitrógeno, CID = carbono inorgánico disuelto, NID = nitrógeno inorgánico disuelto.

ORGANISMOS, FUENTES DE (C, N) Y EVENTOS DE FRACCIONAMIENTO	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	AUTOR
Organismos de ventilas			
<i>Riftia pachyptila</i>	-11.3 a -10.8	+0.8 a +4.5	Rau (1981); van Dover y Fry (1989)
<i>Calyptogenia magnifica</i>	-36.9 a -39.1	+7.1 a +11.0	Brooks et al. (1987)
<i>Paralvinella grasslei</i>	-12.8	+7.3	van Dover y Fry (1989)
<i>Vasicornya chordata</i>	-36.3	-0.9	Brooks et al. (1987)
Organismos de la planicie abisal			
Moluscos	-17.0	+14.1	van Dover y Fry (1989)
Cangrejo	-17.2	-	Kennicutt et al. (1985)
Fuentes			
Fitoplancton	-24.0 a -18.0	+6.5 a +12.1	Michener y Schell (1994)
CID	0	-	Michener y Schell (1994)
NID	-	0.5 a +4.5	Peterson y Fry (1987); Kennicutt et al. (1992)
Metano biogénico	< -60.0	-	Conway et al. (1994)
Metano termogénico	-35.0 a -45.0	-13.0 a 5.0	van Dover y Fry (1994)
Poblaciones de bacterias	-10.0 a -15.0	-9.6 a +1.6	Fisher (1995)
Bacterias de vida libre	-41 a -16.8	-	
Eventos de fraccionamiento			
Fotosíntesis	-20 a -10	-	Valores presentados por Peterso y Fry (1987).
Quimiosíntesis con sulfuro	-35 a -10	-	
Quimiosíntesis con metano termogénico.	-35 a -45	-	
Fijación de nitrógeno	-	0 a +4	Clíne y Kaplan (1975)

Los valores en organismos de diferentes localidades donde se presenta actividad hidrotermal son muy similares entre sí (vestimentíferos $\delta^{13}\text{C}$ -10.4 a -11.7 ‰, moluscos $\delta^{13}\text{C}$ -33.2 a -32 ‰, anélidos $\delta^{13}\text{C}$ -10.2 a -12.8 ‰ y artrópodos $\delta^{13}\text{C}$ -13.7 a -16.4 ‰), especialmente en aquellos donde se ha reconocido la presencia de la relación simbiótica con bacterias quimioautotróficas; tal es el caso de *Riftia pachyptila* (Rau, 1981; van Dover y Fry, 1989) y *Calyptogenia magnifica* (Fisher et al., 1988; Conway et al., 1994), así como en organismos de menor talla, incluyendo anémonas (Escobar et al., 1996) y anélidos (Desbruyères et al., 1997).

A diferencia de los organismos de ventilas hidrotermales, aquellos organismos que habitan en la planicie abisal presentan valores empobrecidos de $\delta^{13}\text{C}$ y enriquecidos de $\delta^{15}\text{N}$, con respecto a los que utilizan sulfuros como fuente de energía, ya que dependen energéticamente de la materia orgánica originada en la columna de agua y que es transportada hasta el fondo oceánico (Kennicutt *et al.*, 1989; van Dover y Fry, 1989).

La actividad hidrotermal en la Cuenca de Guaymas fue descrita por Lonsdale *et al.* (1980). A partir de entonces ha surgido un gran interés, sobre todo por parte de un grupo de geofísicos de la Unión Americana de Geofísica, por describir, entre otras, sus características geofísicas, geoquímicas y biológicas. Los sedimentos de la Cuenca de Guaymas han sido estudiados en los marcos de exploración mineral (von Damm *et al.*, 1985), granulométrica (Borys y Simoneit, 1989) y paleogeológica (Thunell *et al.*, 1996). Los organismos en la Cuenca de Guaymas han sido estudiados desde los marcos de productividad, ecológico y de caracterización de fauna hidrotermal (Grassle, 1982; Tunnicliffe, 1991; Thunell *et al.*, 1996).

Los estudios de la diversidad del mar profundo en esta zona, tienen aplicación específica a corto plazo e incluyen. a) La caracterización de bacterias metanogénicas, baro- y termogénicas para su uso en la industria petrolera y b) El estudio de las enzimas antioxidantes como la coelenterazina que se utiliza en la industria farmacéutica como antioxidante para el estrés (Escobar, 2000).

Área de estudio

La cuenca de Guaymas se ubica en la parte central del Golfo de California a 2000 m de profundidad (Figuras 1A y B). Es la zona limitrofe entre dos placas tectónicas, la del Pacífico y la de Norteamérica, que divergen a una tasa de 5 a 6 cm. año⁻¹. La zona forma parte de la falla de San Andrés (Simoneit, 1983). La cuenca de Guaymas cubre un área de ~ 240 km de largo por 60 km de ancho y se divide en las dorsales del norte y del sur que son el producto de las dos fallas transformantes (Gieskes *et al.*, 1987).

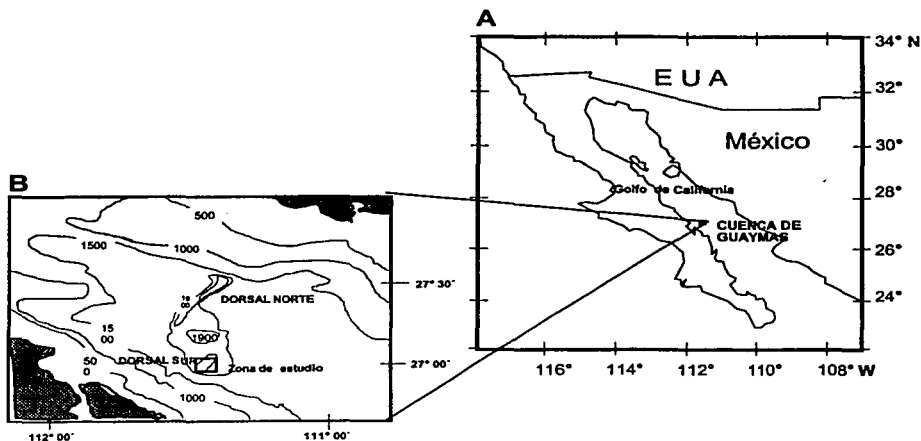


Figura 1. A. Ubicación de la Cuenca de Guaymas en el Golfo de California. El recuadro representa la ubicación de la Cuenca de Guaymas. B. Ubicación de la localidad de inmersión en las inmediaciones de la Dorsal Sur. Las isóbatas se muestran en metros de profundidad. El cuadro negro representa sitio preciso de las inmersiones a 2000 m de profundidad.

El perfil vertical de temperatura de la columna de agua en la zona de la Cuenca de Guaymas, presenta variación temporal en la capa eufótica. Ziveri y Thunell, (2000) señalan que el intervalo de variación de la temperatura superficial va de 30° C en julio a 15° C en enero. La productividad primaria es alta cuando la temperatura es baja, los valores más altos de temperatura ocurren en el verano o cuando se presenta el fenómeno de *El Niño*. En el mar profundo la temperatura es estable y se mantiene persistentemente en 2° C. En las zonas de emanación hidrotermal la temperatura del agua alcanza 300° C y el flujo de calor de 1.2 W. m⁻² (Simoneit, 1985; Simoneit *et al.*, 1990).

Las reacciones a altas temperaturas entre soluciones y sedimentos traen como resultado la degradación de la materia orgánica, lo cual genera un pH alcalino e incrementa la concentración del amonio abisal local (von Damm *et al.*, 1985).

Las comunidades bénticas abisales dependen de la exportación de la productividad primaria de la superficie, la cual es parcialmente mineralizada durante su descenso al fondo de los océanos (Desbruyères *et al.*, 1997). Lo anterior conlleva a producir biomasa de las comunidades bénticas en un promedio de < 1 g de peso húmedo. m⁻².

Los aportes principales de materia orgánica hacia los fondos marinos en la Cuenca de Guaymas los conforman diatomeas (1.3 x 10¹² ind. m⁻². día⁻¹), coccolitofóridos (3.0 x 10⁶ ind. m⁻². día⁻¹), silicoflagelados (7 x 10⁶ ind. m⁻². día⁻¹), y foraminíferos (3.7 x 10³ ind. m⁻². día⁻¹) (Thunell *et al.*, 1996).

Los sedimentos de la Cuenca de Guaymas son de los más productivos en el mundo, la composición no alterada contiene 30–50 % de diatomeas con algunos radiolarios y silicoflagelados, 30 – 45 % de detrito de arcillas minerales, 10–15 % de nanofósiles calcáreos, 4–15 % de feldespatos, 3–10 % de cuarzo y 1–2 % de minerales pesados, éstos descansan sobre una capa basáltica (von Damm *et al.*, 1985). También se caracterizan por sus concentraciones altas de metano (CH₄) que van de 2.0 a 6.8 mM.1000.g⁻¹, de NH₄ que van de 10.3 a 15.6 mM. 1000.g⁻¹ y sulfuro de hidrógeno (Lilley *et al.*, 1993). Estas condiciones no son

comunes en los fondos abisales. En esta zona con actividad hidrotermal los sedimentos superficiales están cubiertos por tapetes de consorcios de bacterias quimioautotróficas que aprovechan los compuestos reducidos (Lonsdale y Becker, 1985). El contenido de materia orgánica resultado de la depositación se estima entre 2 y 4 % (von Damm *et al.*, 1985).

Las descargas hidrotermales en la Cuenca de Guaymas fluyen a través de depósitos porosos o a través de chimeneas dispersas en un área de cientos de metros. Algunas chimeneas alcanzan decenas de metros de altura y tienen una duración de vida de más de cien años (Fornari y Embley, 1995). Las emanaciones hidrotermales que fluyen a través de las chimeneas se asocian a procesos masivos de intrusión magmática (Gieskes *et al.*, 1987).

Debido a la depositación elevada de sedimentos, la composición de los fluidos hidrotermales en la Cuenca de Guaymas es marcadamente diferente a la de otros sistemas hidrotermales, destacándose dos propiedades fisicoquímicas poco usuales en relación a otras localidades.

- 1) Los valores de pH por encima de los valores del agua de su entorno (pH 8-9) (von Damm, 1990), consecuencia en el incremento de materia orgánica que interactúa con la actividad termal en esas localidades (Lutz *et al.*, 1988); y
- 2) La concentración baja de metales de origen hidrotermal (von Damm *et al.*, 1985; von Damm, 1990).

Se ha estimado que la diversidad de invertebrados en la Cuenca de Guaymas es de 38 especies distribuidos en seis Phyla, algunas de estas especies se alimentan del material que llega al fondo exportado de la superficie, por depositación y otras de la materia orgánica que se produce en el lugar a partir de la fijación de material inorgánico disuelto (Tunnicliffe, 1991). La zona de estudio comprende cuatro localidades de recolecta (Tabla 2) que se eligieron con base en zonas previamente estudiadas y la actividad hidrotermal sostenida por diversos años.

Tabla 2 Posición geográfica, número de las inmersiones y valores de los parámetros que caracterizan las localidades en las cuales se recolectó fauna y sedimento para análisis de isótopos estables ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ ‰) y elemental (% C_{org} y N) en la expedición GUAYNAUT (IFREMER - UNAM) en la Cuenca de Guaymas, Golfo de California. Valores proporcionados a la Dra. Escobar, ICML, por la Dra. A. M. Alayse, IFREMER. Abreviaturas utilizadas: COT = carbono orgánico total, n.d. = valores no determinados.

LOCALIDAD	LATITUD N	LONGITUD W	PROFUNDIDAD (m)	INMERSIÓN #	COT %	H_2S mM	O_2 mM	MUESTRAS RECOLECTADAS
27	27° 00'.5	111° 24'.6	2 030	15; 16	3 a 98	0.64 a 1.12	0	fauna
28	27° 00'.5	111° 24'.5	2 020	7	90	n.d.	n. d.	fauna
32	27° 00'.9	111° 24'.5	2 020	4	6 a 25	2.4 a 3.4	0	fauna, sedimento
37	27° 00'.9	111° 24'.7	2 023	5; 13; 17	6 a 92	0.001 a 0.35	0 a 0.088	fauna, sedimento

OBJETIVOS

El presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar isotópicamente y en su composición elemental los organismos y el sedimento superficial en la zona abisal con y sin actividad hidrotermal de la Cuenca de Guaymas en el Golfo de California. Para ello se propusieron tres objetivos particulares:

- 1) Reconocer las principales fuentes de carbono orgánico disponibles para los organismos a partir de las abundancias de $\delta^{13}\text{C}$ para cada uno de los componentes faunísticos bénticos.
- 2) Delinear las relaciones tróficas a partir del fraccionamiento de $\delta^{15}\text{N}$ entre los componentes faunísticos de la zona abisal y aquellos recolectados en la zona de influencia hidrotermal.
- 3) Caracterizar la composición de carbono orgánico y nitrógeno elemental en la fauna abisal y en los sedimentos superficiales.

HIPÓTESIS

H₁ La composición isotópica estable y elemental mostrarán uniformidad en sus valores con base en la naturaleza de los procesos biogeoquímicos que se llevan a cabo en el mar profundo y que incluyen la degradación de la materia orgánica de origen fotoautotrófico y su transferencia en la trama trófica.

H₂ La composición isotópica estable y elemental mostrarán variabilidad con base en los procesos que se llevan a cabo en el mar profundo y que incluyen quimioautotrofia (basada en sulfuro y metano) y diagénesis temprana de la materia orgánica de origen fotoautotrófica.

MATERIAL Y MÉTODO

Trabajo de campo. En las cuatro localidades (tabla 2), ubicadas en torno a una chimenea activa se recolectaron un total de ocho ejemplares de cada una de las especies representativas de los cinco fila de invertebrados que habitan las localidades de actividad hidrotermal en la cuenca de Guaymas, Golfo de California (Tabla 3)

Tabla 3 Fauna recolectada en la Cuenca de Guaymas y citada en este estudio, la clasificación es la propuesta por Brusca y Brusca, 1991.

PHYLUM	ESPECIE
Cnidaria	<i>Actinia sp.</i>
Mollusca	<i>Vesicomya gigas</i> <i>Nuculana grasslei</i>
Annelida	<i>Paralvinella grasslei</i> <i>Amphisamytha galapagensis</i>
Vestimentífera	<i>Rifita pachyptila</i>
Crustacea	<i>Munidopsis alvisca</i> <i>Neolithodes diomedeeae</i>

Los organismos fueron recolectados en las cuatro estaciones de estudio, utilizando el brazo mecánico del sumergible *Nautille* fueron colocadas en la canastilla del sumergible y transportadas a la superficie. Adicionalmente, con los nucleadores se recolectaron tres muestras de sedimento superficial a 5, 20 y 50 m de la base de una chimenea activa en la localidad 32, una muestra más se recolectó de la base de la chimenea activa de la localidad 37 (0 m). En cada localidad se hicieron registros ambientales de profundidad, temperatura, contenido de carbono orgánico total, concentración de oxígeno disuelto, presencia y concentración de sulfuro de hidrógeno.

Preparación de las muestras. Se disecó el tejido de los organismos y, al igual que el sedimento, se secó a bordo a 60 °C en cápsulas de porcelana en un horno secador dentro de las tres horas

siguientes a la recolecta. El tejido disecado incluyó músculo en todos los casos. Adicionalmente se separaron las branquias en *Neolithodes diomedea* y las branquias, el vestimento, el trofosoma y el tubo de colágeno en *Riftia pachyptila*. La estrategia de disección del vestimentífero se basó en el método de disección de Lutz *et al.* (1988). Las muestras de tejido se acidularon con HCl 0.1 N y se lavaron repetidas veces con agua bidestilada. Posteriormente se secaron a 60°C en el horno secador, se homogeneizaron con ayuda de un mortero de ágata y se pasaron por un tamiz de 42 µm para analizar partículas de igual tamaño (Escobar *et al.*, 1996).

Sedimento. Las muestras de sedimento se acidularon con HCl 0.1 N durante 72 horas. Posteriormente se enjuagaron dos veces con agua bidestilada y se secaron a 60°C. Las muestras se homogeneizaron previamente a su análisis. Posteriormente se procedió al análisis isotópico y elemental. Los análisis, tanto isotópicos como elementales, se realizaron por triplicado tanto en sedimentos como en organismos. Se pesaron 3 mg de muestra para carbono y 3 mg para nitrógeno de material seco. Las cantidades se pesaron en una balanza analítica marca Sartorius modelo 2474 (precisión = 0.1 mg).

Isótopos estables. El análisis de isótopos estables se realizó en forma pareada en el laboratorio de isótopos estables en Texas A & M University en College Station y G. G. Isotope Laboratories de la U. de Ottawa. Para ello se usó un espectrómetro de masas de isótopos estables Termo Finningan Delta Plus para determinar abundancias isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ (Apéndice 1).

El sistema de combustión convirtió cuantitativamente las muestras de materia orgánica en dióxido de carbono y nitrógeno molecular. La purificación de gases se llevó a cabo en un sistema en línea operado manualmente. El patrón de referencia o estándar que se utilizó para el análisis comparativo de CO_2 fue NBS-19 (carbonato de calcio en roca caliza) (Apéndice 1) referido a la calcita fósil de la formación Pee Dee Belemnite ($\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$) (Craig, 1953) y para el análisis del N_2 fue el referido al nitrógeno atmosférico NSVEC (8552) (Apéndice 1) $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIRE}}$

(Mariotti, 1983). Los valores se expresaron en partes por mil (‰) con un margen de error en reproducibilidad de ± 0.2 ‰. Los Apéndices 2, 3 y 4 describen con detalle la estrategia de purificación de gases, la introducción de gases al espectrómetro y el sistema de colectores, respectivamente.

Análisis elemental. El análisis de la proporción de carbono orgánico y nitrógeno elemental, se determinó como biomasa de peso seco, a tasas fisiológicas normalizadas. Se analizaron por triplicado en un Analizador Carlo Erba Modelo 1106 utilizando como patrón el material de referencia SRM 1941 (NIST, USA), para material orgánico.

Los resultados se describieron gráficamente. El número reducido de réplicas limitó llevar a cabo un análisis estadístico más amplio, sin embargo, la naturaleza de las muestras permitió reconocer la variabilidad de la composición tanto isotópica como elemental.

RESULTADOS

Composición de $\delta^{13}\text{C}$. Las abundancias isotópicas de carbono en los diferentes tejidos de los organismos presentaron valores que se encuentran en el intervalo de -35.9 a -12.7 ‰. Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en los organismos asociados a simblontes quimiosintéticos fueron de -13.6 ‰ en la *Actinia sp.*, -35.9 a -35.4 ‰ en *Vesicomya gigas*, -17.8 a -14.1 ‰ en *Paralvinella grasslei*, y -16.7 a -12.7 ‰ en *Riftia pachyptila* (Tabla 4).

Los organismos detritívoros tuvieron valores de -19.5 ‰ en el molusco *Nuculana grasslei* y, de -29.1 a -17.8 ‰ en el poliqueto *Amphisamytha galapagensis*. Los organismos omnívoros que habitan en las inmediaciones de las ventilas presentaron valores de $\delta^{13}\text{C}$ -26.4 ‰ p. e. en el cangrejo *Munidopsis alvisca*. El cangrejo *Neolithodes diomedea* mostró valores de -19.9 a -13.8 ‰.

El intervalo isotópico de carbono en la materia orgánica del sedimento fue de -18 a -32.2 ‰. Las muestras de sedimento recolectadas a 5, 20 y 50 m en la zona abisal se caracterizaron isotópicamente por valores de $\delta^{13}\text{C}$ -18.2 , -18.1 y -18.0 ‰ respectivamente (Tabla 5). Se apreció un enriquecimiento de $\Delta^{13}\text{C}$ en la materia orgánica sedimentaria a lo largo del gradiente de distancia de las estructuras hidrotermales. Este enriquecimiento fue de $\Delta^{13}\text{C}$ 14, 14.1 y 14.2 ‰ en los sedimentos de 5, 20 y 50 m, con respecto a la muestra recolectada en la base de la chimenea hidrotermal activa, la cual presentó un valor de $\delta^{13}\text{C}$ -32.2 ‰.

Tabla 4 Composición isotópica estable y elemental de la fauna béntica. Valores de los isótopos estables; mínimos, máximos y promedio de carbono orgánico y nitrógeno en tejidos de los grupos taxonómicos de la megafauna recolectada en la Cuenca de Guaymas, Golfo de California. Abreviaturas utilizadas: n = número de muestras.

SISTEMA	ESPECIE	TEJIDOS Y COMPONENTES	LOCALIDAD	COMPOSICIÓN ISOTÓPICA			COMPOSICIÓN ELEMENTAL						
				n	$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ‰	$\delta^{15}\text{N}_{\text{VAIRE}}$ ‰	n	%C			%N		
								mín	máx	prom	mín	máx	prom
Ventila	<i>Actinia</i> sp.	músculo	27	1	13.6	-0.6	3	24.2	25.1	24.6	6.3	6.4	6.3
	<i>Riftia pachyptila</i>	músculo	37; 28	2	-13.6; -12.7	-0.9; +0.2	6	41.3	45.1	43.2	12.1	12.3	12.1
		pluma branquial	37; 28	2	-14.2; -13.9	-0.7; -0.16	6	38.4	40.1	39.5	10.4	10.8	10.6
		vestimanto	37; 28	2	-14.3; -13.8	-0.3; +0.7	6	40.8	42.2	41.5	10.5	10.9	10.7
		trofosoma	37; 28	2	-13.3	+0.9	6	40.5	44.9	42.7	7.4	7.8	7.6
		tubo de colágeno	37; 28	2	-16.7; -14.9	+0.5; +4.9	6	31.5	33.3	32.4	6.7	7.1	6.9
	<i>Vesicomya gigas</i>	músculo	37;27	2	-35.9;-35.4	-2.9; -1.2	6	40.2	41.6	40.9	10.6	10.9	10.7
	<i>Nuculana grasslei</i>	músculo	27	1	-19.5	+2.9	3	37.6	37.9	37.7	8.9	9.1	9.0
<i>Paralvinella grasslei</i>	músculo	32; 37	2	-17.8; -14.1	-0.1; +0.4	6	35.8	42.2	39.5	9.1	10.7	9.9	
<i>Munidopsis alvisca</i>	músculo	32	1	-26.4	+5.47	3	33.1	34.1	33.6	8.0	8.3	8.1	
Abisal	<i>Amphisamytha galapagensis</i>	músculo	28; 37	2	-29.1; -17.8	+7.9; +9.4	6	39.1	39.8	39.4	8.8	8.9	8.8
	<i>Neolithodes diomedeeae</i>	músculo branquias	37 37; 28	2 1	-19.9; -16.6 -13.8	+15.4; +15.5 +15.5	6 3	40.8 37.8	43.0 38.0	41.9 37.9	11.5 9.7	11.9 9.8	11.7 9.7

Tabla 5. Composición de isótopos estables y elemental del sedimento superficial recolectado en la Cuenca de Guaymas, Golfo de California. Valores máximos, mínimos y promedio de carbono orgánico y nitrógeno. El análisis de isótopos estables fue sin replicación y el análisis elemental se realizó por triplicado.

SISTEMA	MUESTRA	LOCALIDAD	ISÓTOPOS ESTABLES		COMPOSICIÓN ELEMENTAL					
			$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPOB}}$ ‰	$\delta^{15}\text{N}_{\text{VAIRE}}$ ‰	%C			%N		
					máx	mín.	prom.	máx.	mín.	prom.
Ventilia activa	sedimento 0 m	37	-32.2	3.4	16.2	13.6	15.1	3.3	2.7	3.1
Abisal	sedimento 5 m	32	-18.2	7.9	3.1	3.1	3.1	0.2	0.2	0.2
	sedimento 20 m	32	-18.1	9.2	2.7	2.7	2.7	0.1	0.2	0.1
	sedimento 50 m	32	-18.0	11.1	3.7	3.6	3.6	0.4	0.3	0.4

Composición de $\delta^{15}\text{N}$. Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en tejido animal permiten visualizar las relaciones de enriquecimiento y las interacciones entre los diferentes organismos (Figura 2) y se pueden agrupar como organismos asociados a la actividad hidrotermal y organismos de planicie abisal, reconociéndose dos cadenas paralelas, una más enriquecida (abisal) y otra empobrecida (ventilias hidrotermales). El primer grupo, asociado a la actividad hidrotermal, tiene en primer nivel trófico a los organismos en cuyos tejidos se presentaron los valores isotópicos empobrecidos en el intervalo de $\delta^{15}\text{N}$ -2.9 a $+0.7$ ‰ que incluyen a la anémone *Actinia sp.*, el bivalvo *Vesicomya gigas*, el anélido *Paralvinella grasslei*, y el vestimentífero *Riftia pachyptila*. En segundo nivel incluyó al gastrópodo *Nuculana grasslei* con un valor isotópico de $\delta^{15}\text{N}$ $+2.9$ ‰ y en el tercer nivel al crustáceo *Munidopsis alvisca* con valores de $\delta^{15}\text{N}$ $+5.5$ ‰. El intervalo entre el valor más empobrecido $\delta^{15}\text{N}$ -2.9 ‰ y el más enriquecido $\delta^{15}\text{N}$ $+5.5$ ‰ fue de $\Delta^{15}\text{N}$ 8.4 ‰ que dividido entre 3.4 ‰ correspondiente al fraccionamiento reconocería 2.4 niveles tróficos para este primer grupo.

Los valores en el segundo grupo faunístico asociado a la superficie abisal presentaron valores de $\delta^{15}\text{N}$ enriquecidos con relación al grupo trófico anterior. Los valores en el poliqueto

Amphysamytha galapagensis fueron de +7.9 a +9.4 ‰ y en el crustáceo *Neolithodes diomedaeae* fueron de $\delta^{15}\text{N}$ +15.3 a +15.5 ‰. El intervalo entre el valor más empobrecido y el valor más enriquecido comprendió $\Delta^{15}\text{N}$ 7.6 ‰ y se calcularon 2.2 niveles tróficos, sin tomar en cuenta a los productores primarios en la capa eufótica que son la fuente del detrito. Estos niveles fueron: segundo para *A. galapagensis* y tercero para *N. diomedaeae*.

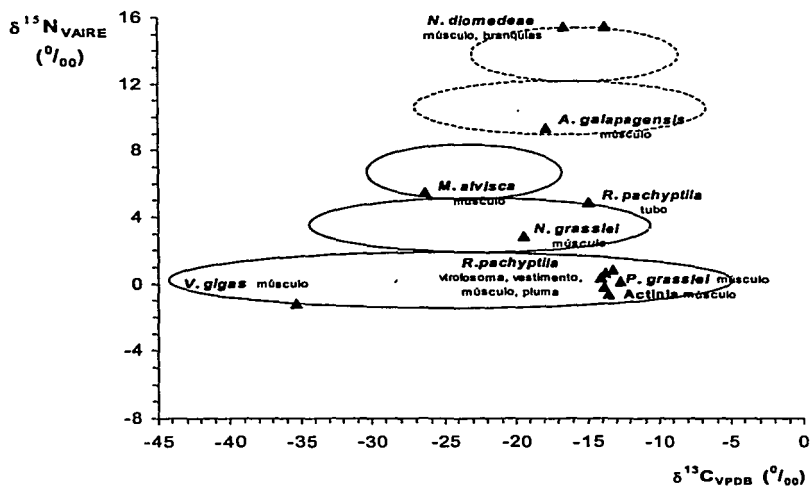


Figura 2. Abundancia isotópica estable de carbono y nitrógeno de los tejidos y los materiales de fauna béntica recolectados en la Cuenca de Guaymas. Los triángulos muestran los valores promedio de $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$. Las pirámides construidas con óvalos muestran los niveles tróficos con base en el fraccionamiento de $\delta^{15}\text{N}$ 3.4 ‰, entre los valores promedio en los tejidos de los organismos. Líneas continuas: cadena en la ventila hidrotermal; líneas punteadas: cadena en la planicie abisal.

Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en materia orgánica del sedimento se reconocieron en el intervalo de $\delta^{15}\text{N} +3.4$ a $+11.1$ ‰. Se reconoció un incremento de $\delta^{15}\text{N}$ en el gradiente de distancia de la chimenea hidrotermal de la siguiente forma: a los 5 m el valor isotópico fue de $\delta^{15}\text{N} +7.9$ ‰, a los 20 m de $\delta^{15}\text{N} +9.2$ ‰ y a los 50 m de $+11.1$ ‰. En la base de la chimenea activa (0 m) se obtuvo un valor de $\delta^{15}\text{N} +3.4$ ‰ para el sedimento superficial (Figura 3), que significa que el efecto hidrotermal está localizado y afecta a la fauna inmediata asociada a la ventila hidrotermal.

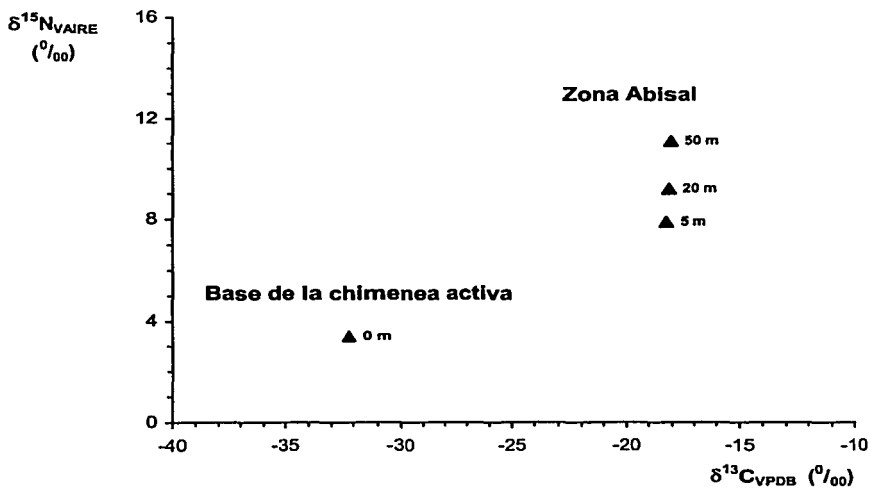


Figura 3 Abundancia isotópica estable de carbono $\delta^{13}\text{C}$ y de nitrógeno $\delta^{15}\text{N}$ del sedimento superficial recolectado en la base de una chimenea activa (0 m) y a lo largo de un gradiente a distancia en la zona abisal a 5, 20 y 50 m.

Composición Elemental. Los valores promedio de % C orgánico en tejidos y tubo de colágeno en *Riftia pachyptila* fueron de 43.2 % en músculo, 39.5 % en la pluma, 41.5 % en el vestimento, 42.7 % en el trofosoma y 32.4 % en el tubo de colágeno; en músculo de *Vesicomya gigas* el valor fue de 40.9 %; en músculo de *Paralvinella grasslei* el valor fue de 39.5 % y finalmente en *Actinia sp.* el valor fue de 24.6 %.

Los valores promedio en % N para estas mismas especies fueron de 12.1% en músculo, 10.6 % en pluma, 10.7 % en vestimento, 7.6 % en trofosoma y 6.9 % en tubo de colágeno para *Riftia pachyptila*, en músculo de *Vesicomya gigas* de 10.7 %, en músculo de *Paralvinella grasslei* de 9.9 %, y en músculo la actinia 6.3 % (Figura 4).

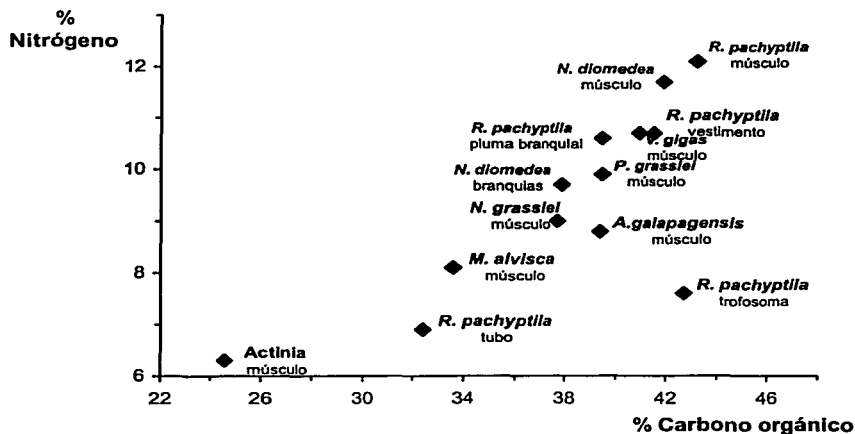


Figura 4. Composición elemental de carbono orgánico y nitrógeno en tejidos de fauna recolectados en la Cuenca de Guaymas. Los diamantes muestran los valores promedio de la composición elemental de las muestras analizadas por tejido.

Los valores promedio de carbono son: en músculo de *Munidopsis alvisca* de 33.6 %; 39.4 % en músculo de *Amphisamytha galapagensis*; y 37.7 % en músculo de *Nuculana grasslei*. Los valores promedio del porcentaje de nitrógeno en estos mismos organismos fueron de 8.1 % en músculo de *Munidopsis alvisca*; de 8.8 % en músculo de *Amphisamytha galapagensis*; y de 9 % en *Nuculana grasslei*. El valor porcentaje promedio de carbono en *Neolithodes diomedeeae* fue de 41.9 % en músculo y 37.9 % en branquias. El valor porcentaje promedio de nitrógeno para la misma especie fue de 11.7 % en músculo y 9.7 % en branquias (Figura 4). Los valores de % C orgánico y N se presentan en la tabla 4.

Los valores de contenido de % C orgánico %N en materia orgánica de los sedimentos se muestran en la Tabla 5. La proporción de C orgánico y N del material orgánico del sedimento es mayor en la base de la chimenea a 0 m con valores de 13.6 a 16.2 % C y de 3.1 a 3.3 % N respectivamente. Se aprecia un decremento significativo en % C orgánico y % N en el gradiente de distancia (Figura 5), y se reconoce a los 5 m que los valores son de 3.1 % C y 0.2 % N, a los 20 m de distancia los valores son de 2.7 % C y 0.1 a 0.2 % N, a 50 m los valores fueron de 3.7 a 3.6 % C y 0.3 a 0.4 % N y son más elevados que los de 5 y 20 m.

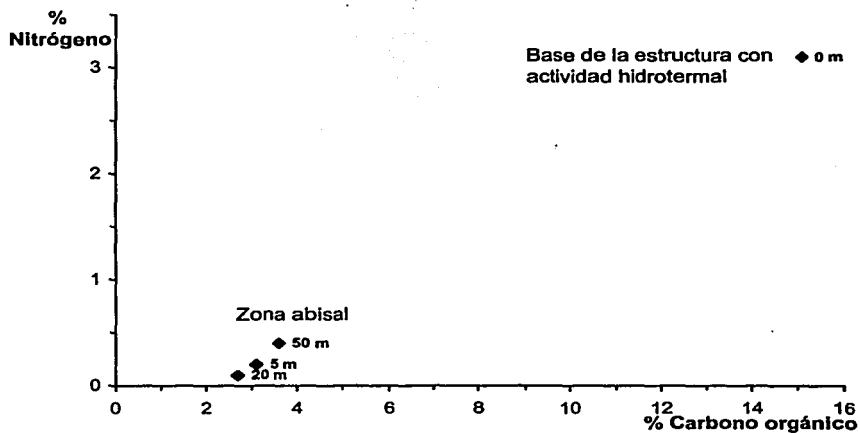


Figura 5 Caracterización elemental de muestras de sedimento. Los diamantes muestran los valores de carbono orgánico y nitrógeno elemental, la diferencia de proporción de ambos elementos en una zona con actividad termal, a 0 m, y a distancia sobre la zona abisal a 5, 20 y 50 m.

DISCUSIÓN

Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en tejidos de *Actinia sp.*, del poliqueto *Paralvinella grasslei* y del vestimentífero *Riftia pachyptila* estuvieron relativamente enriquecidos con respecto a los valores del resto de los organismos estudiados. Considerando a este grupo de organismos como autotróficos, en virtud de la presencia de simbioses quimioautotróficos, se esperaba, pero no se presenta claramente, una discriminación con respecto a la fuente de carbono inorgánico disuelto (Fisher, 1995). Esta discriminación ocurre principalmente durante la incorporación del carbono (Conway *et al.*, 1994) donde estos valores pueden ser comparados con los valores más frecuentemente registrados para bacterias de vida libre (-11 ‰) que han fijado carbono (Fisher, 1995). De acuerdo con Fisher *et al.*, (1990), los valores que se encontraron en los tres grupos son característicos de organismos que dependen de bacterias quimioautotróficas, las cuales fijan el carbono inorgánico disuelto (CID) en un intervalo de valores de $\delta^{13}\text{C}$ -3.7 a +3.9 ‰ (Childress *et al.*, 1993). El intervalo de $\delta^{13}\text{C}$ es amplio, sin embargo la selectividad por parte de las bacterias puede deberse a dos factores. El primero es la escasez de carbono inorgánico en el medio acuático, que conlleva a las bacterias a discriminar menos el ^{13}C durante el proceso de fijación (Conway *et al.*, 1994). La segunda alternativa es que los organismos de mayor talla tiendan a discriminar menos al isótopo pesado (Conway *et al.*, 1994). La presencia de enzimas que transforman el CID en el tejido trofosomal evitarían esta posible limitante de carbono y se podría proponer que en, todo caso, los resultados se puedan deber a discriminación por enzimas como reconocen Kochevar *et al.* (1993) y Scott *et al.* (1994). Los valores observados en la Cuenca de Guaymas son similares a los reconocidos en otras localidades de ventilas mostrando que el $\delta^{13}\text{C}$ en los tejidos analizados tienen una relación muy estrecha con la fuente de energía y la fuente de procesado (van Dover y Fry, 1989; Fisher *et al.*, 1990, 1994).

El $\delta^{13}\text{C}$ en *Actinia sp.* y el poliqueto *Paralvinella grasslei* es muy parecido al valor de *R. pachyptila* lo cual sugiere un mecanismo similar de incorporación de carbono, que puede

llevarse a cabo por vía bacteriana (Fisher *et al.*, 1990). Tomando en cuenta los valores de una dieta potencial para organismos con simbiontes quimioautotróficos, el valor se debe al fraccionamiento de -10‰ con respecto a los valores de carbono inorgánico disuelto (Figura 6A).

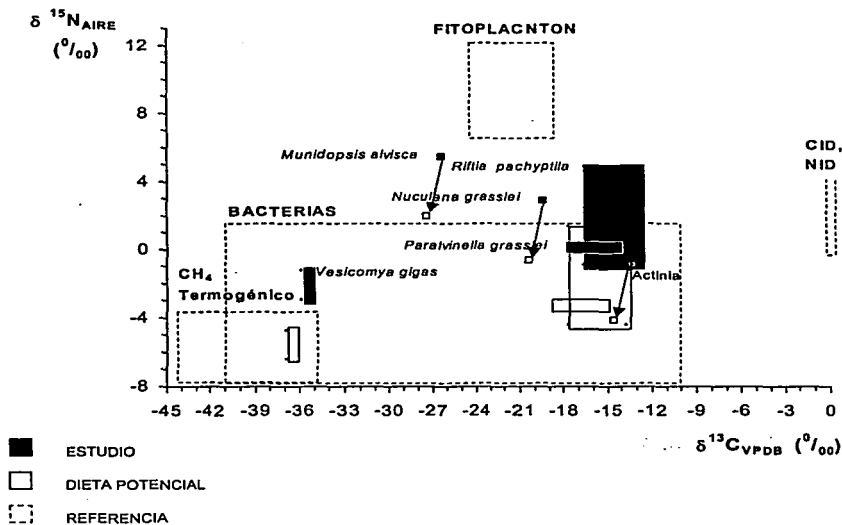


Figura 6 A. Intervalos de valores de isótopos estables de carbono $\delta^{13}\text{C}$ y nitrógeno $\delta^{15}\text{N}$ en los tejidos de la fauna asociada a la zona de actividad hidrotermal, e intervalo de valores de las dietas potenciales con base en el fraccionamiento de 1‰ en $\delta^{13}\text{C}$ y de 3.4‰ en $\delta^{15}\text{N}$. Los recuadros oscuros indican los valores reconocidos en este estudio, los recuadros de color blanco indican el intervalo de valores de una dieta potencial y los recuadros con líneas punteadas son algunos valores de referencias (Tabla 1).

El trabajo de Escobar *et al.* (1996) ha reconocido la posible presencia de simbioses en el tejido de la anémona y los trabajos de Desbruyères *et al.* (1997) la presencia de ecosimbioses en el poliqueto *P. grasslei*.

Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en el bivalvo *Vesicomya gigas* representan el valor típico de una discriminación por bacterias simbióticas que usan como fuente de energía metano o sulfuros para fijar carbono por la vía de quimiosíntesis, -40 a -34.5 ‰ (Kennicutt *et al.*, 1992). Otros autores sugieren que estos valores empobrecidos se deben al fraccionamiento por bacterias en un ambiente rico en metano (Kulm *et al.*, 1986; Dron *et al.*, 1987; Juniper y Sibuet, 1987). Sin embargo, cuando el metano es abundante el CID en el agua intersticial refleja la oxidación por bacterias en los sedimentos y el CID tendría valores más negativos aún (Kennicutt *et al.*, 1989). Investigaciones posteriores realizadas por Fiala-Médioni *et al.* (1993) basados en la fisiología, anatomía y en adaptaciones de los bivalvos, han confirmado que los simbioses de *V. gigas* son quimioautótrofos a base de metano, sin embargo, cuando la concentración de metano es mínima se puede considerar esa opción energética (Fisher, 1995).

Nuculana grasslei y *Munidopsis alvisca* son consumidores secundarios alimentándose de bacterias y detritos del ambiente de actividad hidrotermal (Arquit, 1990). Estas especies presentan valores de $\delta^{13}\text{C}$ que sugieren una fuente de carbono basada a la vez en la fijación de CID, por ejemplo bacterias en el sedimento, las cuales son consumidas por estos componentes faunísticos. Considerando la dieta potencial para cada organismo se puede sugerir, así mismo, la ingestión de carbono orgánico particulado depositado en el sedimento que ha sido caracterizado en -24 a -18 ‰ por Michener y Shell (1994) (Figura 6A).

Los valores de $\delta^{13}\text{C}$ en tejido de *Amphysamytha galapagensis* y *Neolithodes diomedeeae*, se ubican dentro del intervalo de valores de origen fotoautótrofo y quimioautótrofo (Figura 6B), sin embargo la señal isotópica de nitrógeno permitió confirmar el origen fotoautótrofo del

carbono. Valores de $\delta^{13}\text{C}$ -17 ‰, se han reconocido para otros crustáceos bénticos (Fry, 1988). Kennicutt *et al.* (1985) reconoce un valor de $\delta^{13}\text{C}$ -19.3 ‰ en el cangrejo *Geryon quinquedens*.

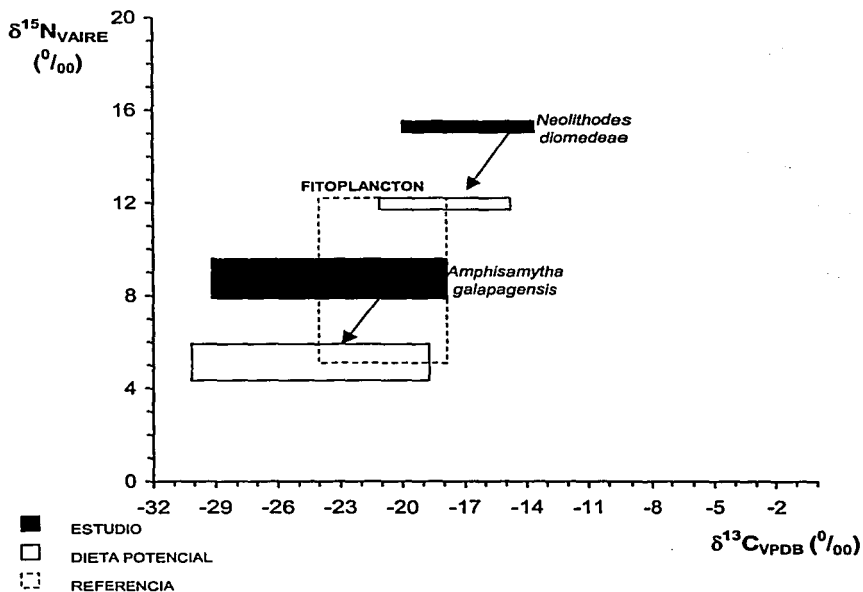


Figura 6 B. Intervalos de valores de isótopos estables de carbono $\delta^{13}\text{C}$ y nitrógeno $\delta^{15}\text{N}$ en los tejidos de la fauna asociada a la zona abisal, e intervalo de valores de las dietas potenciales con base en el fraccionamiento de 1 ‰ en $\delta^{13}\text{C}$ y de 3.4‰ en $\delta^{15}\text{N}$. Los recuadros oscuros indican los valores reconocidos en este estudio, los recuadros de color blanco indican el intervalo de valores de una dieta potencial y el recuadro con líneas punteadas indica el intervalo de valores referido para fitoplancton como dieta potencial, basado en referencias (Tabla 1).

Los valores isotópicos confirman que en la base de la chimenea activa predomina la materia orgánica sedimentaria de origen autóctono con valores de $\delta^{13}\text{C}$ de -32.2 ‰ muy parecidos a los valores correspondientes a material orgánico alterado por actividad hidrotermal $\delta^{13}\text{C}$ -35 a -45 ‰ (Brooks *et al.*, 1987). El valor de $\delta^{15}\text{N}$ en materia orgánica del sedimento superficial en la base de la chimenea activa fue de $+3.4$ ‰ y se ubica en el intervalo de -4 a $+8$ ‰, dentro de valores propuestos para fijación de nitrógeno (Peterson y Fry, 1987).

La materia orgánica de la planicie abisal presentó valores enriquecidos de isótopos estables de $\delta^{13}\text{C}$, característicos de material de origen alóctono en un intervalo de -18.2 a -18 ‰. Estos son similares a los sedimentos con depositación de material de origen fotoautótrofico $\delta^{13}\text{C}$ -10 a -20 ‰ (Peterson y Fry, 1987). Las pequeñas diferencias entre los valores se deben al tipo de fitoplancton (p.e., diatomeas, nanoplancton Rau *et al.*, 1990), o a la discriminación de isótopos estables de carbono entre los diferentes tipos de plancton (Gearing *et al.*, 1984).

Las relaciones tróficas entre organismos se pueden establecer mediante las abundancias relativas de $\delta^{15}\text{N}$. Considerando a los organismos quimioautótrofos, la actinia, el bivalvo *Vesicomya gigas*, el poliqueto *Paralvinella grasslei* y el vestimentífero *Riftia pachyptila*, se ubican en el primer nivel trófico por registrar los valores más empobrecidos. La discriminación del isótopo pesado es despreciable con respecto a su dieta (Peterson y Fry, 1987) o semejante a la discriminación en el proceso de fijación por bacterias como productores primarios en estos sistemas (van Dover y Fry, 1994). En un sistema de ventilas hidrotermales los productores primarios (bacterias) están estrechamente relacionados con los organismos que las hospedan como es el caso de *Riftia pachyptila* y de *Vesicomya gigas* (Tunncliffe, 1991), quienes incorporan nitrógeno inorgánico disuelto del agua marina. Es factible que la anémona lleve a cabo un proceso similar, como lo propone Escobar *et al.* (1996), sin embargo sus hábitos de alimentación indican que ésta puede filtrar o consumir bacterias y, por lo tanto, se requieren

estudios más detallados para establecer si se le ubica en un segundo o primer nivel trófico (Figura 6A).

Los valores de $\delta^{15}\text{N}$ en los tejidos de los organismos en niveles superiores deberían presentar valores con un enriquecimiento de 3.4 ‰ con relación a su dieta (Minagawa y Wada, 1984). Para entender las relaciones tróficas es necesario separar a los organismos en fauna típica de ventilas (Figura 6A) y fauna abisal (Figura 6B). Los niveles tróficos se pueden asignar dividiendo el intervalo de valores isotópicos registrados $\Delta^{15}\text{N}$ entre el fraccionamiento de 3.4 (Fisher, 1995).

Dentro de los organismos reconocidos como típicos de ventilas el intervalo fue de $\delta^{15}\text{N} - 2.9$ ‰ como valor mínimo registrado en *Vesicomys gigas* a $\delta^{15}\text{N} +5.47$ ‰ en *Munidopsis alvisca* lo cual representa $\Delta^{15}\text{N}$ de 8.4 ‰, que dividido entre 3.4 da dos punto cuatro niveles tróficos, que aquí se expresan como tres niveles en unidades completas. En este caso se considera como productores primarios a los organismos con los valores más negativos y se incluye a *Nuculana grasslei* en el segundo nivel trófico ya que el valor isotópico que presentó se encuentra en la parte media de este intervalo y pueden incluir en su dieta a bacterias de vida libre (Fisher, 1995). El valor de $\delta^{15}\text{N}$ de +5.47 ‰ en el músculo de *Munidopsis alvisca* sugiere la incorporación de pequeños organismos del sedimento, p. e. Bacterias, meiofauna y macroinfauna, en su dieta conformando así el tercer nivel de la estructura trófica para este ambiente (Figura 6A).

La diferencia entre los organismos de las ventilas hidrotermales y los del plano abisal se basa en la diferencia en los valores de $\delta^{15}\text{N}$ más enriquecidos en los organismos abisales, propuesto en $\delta^{15}\text{N} +5$ ‰ (Fisher, 1990; Kennicutt *et al.*, 1992) por lo tanto el poliqueto *Amphisamytha galapagensis* con valores en el intervalo de +7.9 a +9.4 ‰ se puede considerar como habitante abisal ya que muestra valores enriquecidos con respecto a los otros organismos, al igual que *Neolithodes diomedea* (+15.4 a +15.5 ‰) que estaría dos niveles por

encima de éste. Las dos especies consideradas para este ambiente abisal presentan valores en el intervalo de +7.9 a +15.5 ‰, sin embargo la diferencia es mínima entre ellos con $\Delta^{15}\text{N}$ 6 ‰, lo cual sugiere una dieta mezclada con materiales de ventilas en la primera especie y más restringida a la zona abisal en la segunda.

El poliqueto *Amphisamytha galapagensis* está considerado en un segundo nivel trófico dentro de este ambiente. Por sus valores podría incluir en su dieta bacterias del sedimento al igual que material de origen fotoautotrófico (Michener y Schell, 1994; Fisher, 1995) (Figura 6B). El crustáceo *Neolithodes diomedea* tiene los valores más enriquecidos de $\delta^{15}\text{N}$ (+15.4 a +15.5 ‰) (Figura 6B); el valor es el más enriquecido en relación a las otras especies analizadas en este estudio. Su dieta es principalmente material exportado al fondo proveniente de la zona eufótica donde se han reconocido valores de $\delta^{15}\text{N}$ + 6.5 a +12.1 ‰ característicos de material particulado refractario (Lajtha y Michener, 1994) (Figura 6B). Estudios realizados en sistemas hidrotermales en la dorsal del Pacífico Oriental y en la dorsal del Atlántico Central, han reconocido, asimismo, a los crustáceos en el nivel trófico más alto (Hessler y Kaharl, 1995; Fisher, 1995).

La caracterización elemental de los tejidos y componentes de los organismos recolectados permitió reconocer que los porcentajes de C orgánico y N están correlacionados entre sí. Esta correlación se asoció por una parte con la talla de los organismos, y por otra, con las diferencias en mecanismos de traslocación y crecimientos diferenciales de los tejidos (Childress y Fisher, 1992). Se requieren análisis complementarios del contenido de lípidos para establecer mejor esta relación.

El sedimento de la base de la chimenea activa fue diferente al abisal en cuanto al porcentaje de carbono orgánico y porcentaje de nitrógeno en materia orgánica, lo que lleva a caracterizar al sedimento con influencia hidrotermal o pelágica. La primera corresponde al sedimento de la base de la chimenea activa y sugiere una composición de material autóctono y con mayor actividad biológica bacteriana, como se ha reconocido en otras localidades (Fisher,

1995). La segunda zona comprendería el plano abisal (5, 20 y 50 m). Para esta zona se sugiere la depositación de material alóctono. El material que se produce en la zona eufótica es procesado, como lo menciona Libes (1992), y transformado biológicamente depositándose una proporción mínima (1 % promedio de la materia orgánica sobre la superficie abisal), la cual comúnmente tiene características refractarias y cuya degradación es primariamente realizado por las bacterias heterótrofas en el sedimento.

CONCLUSIONES

1. Las principales fuentes de carbono orgánico reconocidas a partir de las abundancias de $\delta^{13}\text{C}$ para los componentes faunísticos bénticos incluyen

- a) Carbono orgánico fijado quimioautotróficamente por dos vías: 1) a base de carbono inorgánico disuelto y con la energía obtenida de los sulfuros, por ejemplo la actinia, el poliqueto *Paralvinella grasslei* y el vestimentífero *Riftia pachyptila* ($\delta^{13}\text{C}$ -14.9 a -13.6 ‰;) y 2) con base en CO_2 y metano termogénico como fuente de energía como el bivalvo *Vesicomya gigas* ($\delta^{13}\text{C}$ -35.9 a -35.4 ‰).
- b) Carbono orgánico que se adquiere a través de bacteriano y de fauna en el sedimento que consumen el molusco *Nuculana grasslei*, y el crustáceo *Munidopsis alvisca* ($\delta^{13}\text{C}$ -19.5 a -26.5 ‰).
- c) Carbono orgánico fotoautotrófico y de la infauna abisal que incluyen al poliqueto *Amphisamytha galapagensis* y al crustáceo *Neolithodes diomedeeae* que lo incorporan en distintas proporciones a sus dietas ($\delta^{13}\text{C}$ -29.1 a -17.8 ‰).

2. Las relaciones tróficas reconocidas a partir del fraccionamiento de $\delta^{15}\text{N}$ en los componentes faunísticos de la zona de influencia hidrotermal y de la zona abisal permitieron establecer tres niveles tróficos.

- a) El primer nivel comprendió a los organismos con asociación simbiótica de bacterias quimiosintéticas como la actinia, el molusco *V. gigas*, el poliqueto *P. grasslei* y el vestimentífero *R. pachyptila*.
- b) El segundo nivel incluyó a los organismos que se alimentan de bacterias en el sedimento o bacterias libres que descomponen el detrito como *N. grasslei* y *A. galapagensis*.

c) En un tercer nivel trófico se reconocieron a los crustáceos *M. alvisca* y *N. diomedea* quienes, adicionalmente a incorporar bacterias y detritos, ingieren en proporción distinta invertebrados de la infauna.

3. Los organismos se caracterizaron isotópicamente como quimioautótrofos ($\delta^{15}\text{N}$ -2.9 a $+0.9$ ‰), detritívoros (-0.1 a $+2.9$ ‰) y omnívoros ($+5.47$ a $+15.5$ ‰).

4. Desde el punto de vista de la composición elemental (C org. y N) se apreció un incremento en los valores entre tejidos de los organismos con valores que van de 24.6 a 43 % en carbono orgánico y de 6.3 a 12.1 % en nitrógeno.

5. Los sedimentos se caracterizaron como representativos de la zona con actividad hidrotermal y los de la planicie abisal con valores de $\delta^{13}\text{C}$ de -32.2 ‰ y $\delta^{15}\text{N}$ de $+3.4$ ‰ así como $\delta^{13}\text{C}$ -18.2 a -18.0 ‰ y $\delta^{15}\text{N}$ de $+7.9$ a $+11.1$ ‰, respectivamente.

6. En el marco de la composición elemental, el sedimento se caracterizó por su origen autóctono o hidrotermal con valores de 15.1 a 16.2 % C org y 2.7 a 3.7 % N, y el origen alóctono o generados en la superficie oceánica con proporción de C org de 2.7 a 3.7. y 0.1 a 0.4 de N.

7. Con base en los resultados obtenidos se acepta la hipótesis 2 (H_2) ya que se encontró variabilidad en las abundancias de isótopos estables de carbono y nitrógeno así como en las proporciones elementales de esos mismos elementos. Así mismo se reconocieron en los valores de muestras de fauna y sedimento los procesos de quimioautotrofia basada en sulfuro y metano, el uso del material orgánico generado en la zona de influencia hidrotermal y el aportado por la exportación de material de origen fotoautotrófico.

REFERENCIAS

Formato de la revista *Oceanologica Acta*

Ambrose, S., DeNiro, M., 1986. The isotopic ecology of East African mammals. *Oecologia*, 69, 395-406.

Arntz, W., 1977. Results and problems of an "unsuccessful" benthos cage predation experiment (Western Baltic). In: Keenegan B., Celdigh, P., Boaden, P., (eds), *Biology benthic organisms*, Pergamon Press, New York, 31-34.

Arquit, A., 1990. Geological and hydrothermal controls on the distribution of megafauna in ASHES vent field, Juan de Fuca Ridge. *J. Geophy. Res.*, 95, 12947-12960.

Böhlke, J., Gwinn, C., Coplen, T., 1993. New reference materials for nitrogen-isotope-ratio measurements. *Geostr. Newsletter*, 17, 159-164.

Borys, M., Simoneit, B., 1989. Hydrothermal oil of Guaymas Basin and implications for petroleum formation mechanisms. *Nature*, 342, 65-69.

Brooks, A., Kennicutt, M., Fisher, C., 1987. Deep-sea hydrocarbon seep communities: evidence for energy and nutritional carbon sources. *Science*, 238, 1138-1142.

Brusca, R., Brusca, G., 1991. *INVERTEBRATES*. Sinaver, Associates, Inc., Massachusetts, 879-889.

Childress, J., Fisher, C., 1992. The biology of hydrothermal vent animals; physiology, biochemistry, and autotrophic symbioses. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 30, 131-158.

Childress, J., Lee, R., Sanders, N., Felbeck, H., Oros, D., Touldmond, A., Desbruyeres, D., Kennicutt, M., Brooks, J., 1993. Inorganic carbon uptake in hydrothermal vent tubeworms facilitated by high environmental pCO_2 . *Nature*, 362, 147-149.

Cline, J., Kaplan, I., 1975. Isotopic fractionation of dissolved nitrate during denitrification in the eastern tropical North Pacific Ocean. *Mar. Chem.*, 3, 271-299.

Conway, N., Kennicutt, M., van Dover, C., 1994. Stable isotopes in the study of marine chemosynthetic- based ecosystems. In: Lajtha, K., Michener, R., (eds.), *Stable isotopes in ecology and environmental science*, Blackwell Sci. Publ. Oxford, 138-157.

Craig, H., 1953. The geochemistry of the stable carbon isotopes. *Geoch. Cosmoch. Acta*, 3, 53-92.

Craig, H., 1957. Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors for mass-spectrometric analysis of carbon dioxide. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 12, 133-149.

DeNiro, M., Epstein, S., 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45, 341-351.

Desbruyères, D., Cary, S., Cottrell, J., Stein, J., Camacho, F., 1997. Molecular identification and localization of filamentous symbiotic bacteria associated with the hydrothermal vent annelid *Alvinella pompejana*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 63, 1124-1130.

- Dron, D., Boulègue, J., Tairo, A., Rangin, C., 1987. Geochemistry of the Tenryu Canyon deep-sea fan biological community (Kaiko). *Earth Plan. Sci. Lett.*, 83.
- Escobar, E., Briseño, A., Gutiérrez, L., 1996. Food sources of a hydrothermal vent anemone in the Guaymas Basin. *Bridge*, 10, 45-50.
- Escobar, E., 2000. La biodiversidad del mar profundo en México. *Biodiversitas*, 29, 1-6.
- Feller, R., Taghon, G., Gallagher, E., Kenny, G., Jumars, P., 1979. Immunological methods for food web analysis in a soft-bottom benthic community. *Mar. Biol.*, 54, 61-74.
- Fiala - Médioni, A., Boulègue, J., Ohta, S., Felbeck, H., Mariotti, A., 1993. Source of energy sustaining the *Calyptogena* populations from deep trenches in subduction zones off Japan. *Deep-Sea Res.*, 40, 1241-1258.
- Fisher, C., 1990. Chemoautotrophic and methanotrophic symbioses in marine invertebrates. *Rev. Aqua. Sci.*, 2 399-436.
- Fisher, C., 1995. Toward an appreciation of hydrothermal vent animals: their environment, physiological, ecology, and tissue stable isotope values. In: Humphris, S., Zierenberg, R., Mullineaux, L., Thompson, R. (eds.), *Seafloor Hydrothermal Systems. Geophy. Monogr. Ser.*, 91, 297-316.
- Fisher, C., Childress, J., Arp, A., Brooks, J., Distel, D., Favuzzi, J., Felbeck, H., Fritz, L., Hessler, R., Johnson, K., Kennicutt, M., Lutz, R., Macko, S., Newton, A., Powell, M., Somero, G., Soto, T., 1988. Microhabitat variation in the hydrothermal vent clam, *Calyptogena magnifica*, at Rose Garden vent on the Galapagos Rift. *Deep-Sea Res.*, 35, 1811-1832.
- Fisher, C., Kennicutt, M., Brooks, J., 1990. Stable carbon isotopic evidence for carbon limitation in hydrothermal vent vestimentiferans. *Science*, 247, 1094-1096.
- Fornari, D., Embley, R., 1995. Tectonic and volcanic controls on hydrothermal processes at the Mid-Ocean Ridge: an overview based on Near-Bottom and sumersible studies. In: Humphris, S., Zierenberg, R., Mullineaux, L., Thompson, R. (eds.), *Seafloor Hydrothermal Systems, Geophy. Monogr.*, 91, 1-46.
- Fry, B., 1988. Food web structure on Georges Bank from stable C, N, and S isotopic compositions. *Limn. Ocean.*, 33, 1182-1190.
- Fry, B., Sherr, E., 1984. $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and freshwater ecosystems. *Contrib. Mar. Sci.*, 27, 13-47.
- Gannes, L., O'Brien, D., Martínez, C., 1997. Stable isotopes in animal ecology: assumptions, caveats, and a call for more. *Lab. Exp. Ecol.*, 78, 1271-1276.
- Gearing, J., Gearing, P., Rudnick, D., Requejo, A., Hutchins, M., 1984. Isotopic variability of organic carbon in a phytoplankton-based temperate estuary. *Geoch. Cosmochim. Acta*, 48, 1089-1098.

Gieskes, J., Brown, T., Shaw, T., Sturz, A., Campbell, A., 1987. Hydrothermal geochemistry in the Guaymas Basin Hydrothermal Systems, Proceedings of the U.S.- México Workshop, Mazatlan, México.

Gonfiantini, 1984. Advisory group meeting on stable isotope reference samples for geochemical and hydrological investigations. Report to the Director General, IAEA, Vienna, 77.

Grassle, J., 1982. The biology of hydrothermal vents: a short summary of recent findings. Mar. Tech. Soc. J., 16, 33-38.

Hessen, D., Andersen, T., Lyche, A. 1990. Carbon metabolism in a humic lake: pool sizes and cycling through zooplankton. Limnol. Ocean., 35, 84-89.

Hessler, R., Kaharl, V., 1995. The Deep - Sea Hydrothermal vent community: An Overview. In: Humphris, S., Zierenberg, R., Mullineaux, L., Thompson, R. (eds.), Seafloor Hydrothermal Systems. Geophys. Monogr. Ser., 91, 72-84.

Hopkins, T., 1987. Midwater food web in McMurdo Sound, Ross Sea, Antarctica. Mar Biol., 96, 93-106.

Hut, G., 1987. Consultants group meeting on stable isotope reference samples for geochemical and hydrological investigations. Report to the Director General, IAEA, Vienna, 42.

Jannasch, H., Wirsén, C., 1979. Chemosynthetic primary production at East Pacific sea floor spreading centers. BioSci., 29, 529-598.

Jannasch, H., Mottl, M., 1985. Geomicrobiology of deep-sea hydrothermal vent. Science, 229, 717-725.

Juniper, S., Sibuet, M., 1987. Ecology of cold seep benthic communities in Japan subduction zones: Spatial organization, trophic strategies and evidence for temporal evolution. Mar. Ecol. Prog. Ser., 40, 115-127.

Kennicutt, M., Brooks, J., Bidigare, R., Fay, R., Wade, T., McDonald, T., 1985. Vent-type taxa in a hydrocarbon seep region on the Louisiana Slope. Nature, 317, 45-55.

Kennicutt, M., Brooks, J., Burke, J., 1989. "Hydrocarbon seepage, gas hydrates, and authigenic carbonate in the north western Gulf of Mexico". 21st Annual Offshore Technology Conference Proceedings, 649-654.

Kennicutt, M., M. Burke, J., MacDonald, I., Brooks, J., Denoux, G., Macko, S., 1992. Stable isotope partitioning in seep and vent organisms: Chemical and ecological significance. Chem. Geol., 101, 293-310.

Kioboe, T., Kass, H., Kruse, B., Mohllenberg, F., Tiselius, P., Aertebjerg, G., 1990. The structure of the pelagic food web in relation to water column structure in the Skagerrak. Mar. Ecol. Progr. Ser., 59, 19-32.

Kline, T., Goering, J., Mathisen, O., Poe, P., Parker, P., Scalan, R., 1993. Recycling of elements transported upstream by runs of Pacific salmon: II. $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ evidence in the Kvichak river watershed, Bristol, Bay, Southwestern Alaska. Can J. Fishs. Aqua. Sci., 50, 2350-2365.

- Kochevar, R., Govind, N., Childress, J., 1993. Identification and characterization of two carbonic anhydrases from the hydrothermal vent tubeworm *Riftia pachyptila* Jones. *Molec. Mar. Biol. Biotech.*, 2, 10-19.
- Kulm, L., Sues, E., Moore, J., Carson, B., Lewis, B., Ritger, S., Kadko, D., Thornburgh, T., Embley, R., Rugh, W., Massoth, G., Langseth, M., Cochrane, G., Scamman, R., 1986. Oregon subduction zone: Venting, fauna, and carbonates. *Science*, 231, 561-566.
- Lajtha, K., Michener, R., 1994. Stable isotopes in ecology and environmental science. Blackwell Sci. Publ., Oxford, pp. 316.
- Libes, S., 1992. Reading the sedimentary record: the use of stable isotopes in the Study of Paleooceanography. In : John Windley, Sons, Inc. (eds.), An Introduction to marine. Biogeochemistry, New York, 557-591.
- Lilley M., Butterfield D., Olson E., Lupton S., Macko S., McDuff R., 1993. Anomalous CH₄ and NH₄ concentrations at an unsedimented mid-ocean ridge hydrothermal system. *Nature.*, 364, 45-47.
- Lonsdale, P., Becker, K., 1985. Hydrothermal plumes, hot spring, and conductive heat flow in the Southern Trough of Guaymas Basin. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 73, 211-225.
- Lonsdale P., Bischoff J., Burns V., Kaster M., Sweeney R., 1980. A high-temperature hydrothermal deposit on the seabed at a Gulf of California spreading center. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 49, 8-20.
- Lutz, R., Fritz, L., Cerrato, L., 1988. A comparison of bivalve (*Calymene magnifica*) growth at two deep-sea hydrothermal vents in the eastern Pacific. *Deep-Sea Res.*, 35, 1793 -1810.
- Macko, S., Fogel, M., Hare, P., Hoering, T., 1987. Isotopic fractionation of nitrogen and carbon in the synthesis of amino acids by microorganisms. *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, 65, 79- 82.
- Mariotti, A. 1983. Atmospheric nitrogen is a reliable standard for natural abundance ¹⁵N measurements. *Nature*, 303, 685-687.
- Marples, T., 1966. A radionuclide tracer study of arthropod food chains in a *Spartina* salt marsh ecosystem. *Ecology*, 47, 270-277.
- Michener, R., Schell, D., 1994. Stable isotope ratios as tracers in marine aquatic food webs. In: Lajtha, K., Michener, R. (eds.), Stable isotopes in ecology and environmental Science, Blackwell Sci. Publ., 138-157.
- Minagawa, M., Wada, E., 1984 Stepwise enrichment of ¹⁵N along food chain: Further evidence and the relation between δ¹⁵N and animal age. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48, 1135-1140.
- Morales, P., Cienfuegos, E., 2001. Metrología de isótopos estables y materiales de referencia utilizados para la determinación isotópica de carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno y azufre. Simposio de Metrología.

Morales, P., Gaona, S., Alba, F., 1970. Espectrómetro de masas con triple colector para el análisis preciso de relaciones isotópicas entre carbonos y oxígenos. Rev. Mex. Fís., 19, FA77-FA90.

Nier, A., 1950. A redetermination of the relative abundances of the isotopes of carbon, nitrogen, oxygen, argon and potassium. Phys. Rev., 74, 789.

NIST, 1992. Report of investigation: reference materials: 8547-8552. Standards Reference Material Program, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland.

Owens, N., 1987. Natural variations in ^{15}N in the marine environment. Adv. Mar. Biol. 24, 389-451.

Paull, C. Jull, A., Toolin, L., Linck, T., 1985. Stable isotope evidence for chemosynthesis in an abyssal seep community. Nature, 317, 709-711.

Peterson, B., Fry, B., 1987. Stable isotopes in ecosystem studies. Ann. Rev. Ecol. Systemat., 18, 293-320.

Ponsard, S., Arditi, R., 2000. What can stable isotopes ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) tell about the food web of soil macro - invertebrates. Eco. Soc. Amer., 81, 852-864.

Rau, G., 1981. Hydrothermal vent clam and tubeworm $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$. Further evidence of non-photosynthetic food sources. Science, 213, 338-340.

Rau, G., Hedges, J., 1979. Carbon-13 depletion in a hydrothermal vent mussel: suggestion of a chemosynthetic food source. Science, 203, 648-649.

Rau, G., Mearns, A., Young, D., Olson, R., Schafer, H., Kaplan, I., 1983. Animal $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ correlates with trophic level in pelagic food webs. Ecology, 64, 1314-1318.

Rau, G., Teyssie, J., Rossualzadegan, F., Fowler, S., 1990. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ variations among size-fractionated marine particles: implications for their origin and trophic relationships. Mar. Ecol. Prog. Series, 59, 33-38.

Scott, K., Fisher, C., Vodenichar, J., Nix, E., Minnich, E., 1994. Effects of inorganic carbon concentrations, pH, and temperature on autotrophic carbon fixation by the chemoautotrophic symbionts of *Riftia pachyptila*. Phys. Zool., 67, 617-638.

Simoneit, B., 1983. Organic matter maturation and petroleum genesis: geothermal versus hydrothermal. In: Proceedings Symposium. The role of heat in the Development of energy and mineral resources. In The Northerly Basin and range province, Special Report No. 13, Geothermal Resources Council, Davis, California, 215-241.

Simoneit, B., 1985. Hydrothermal petroleum: genesis, migration, and deposition in Guaymas Basin, Gulf of California. Can. J. Earth Sci., 22, 1919-1929.

Simoneit, B., Lonsdale, P., Edmond, J., Shanks, W., 1990. Deep-water hydrocarbon seeps in the Guaymas Basin, Gulf of California. Appl. Geochem., 5, 4-49.

Smith, D., Bulleid, N., Campbell, R., 1979. Marine food-web analysis: an experimental study of demersal zooplankton using isotopically labeled prey species. *Mar. Biol.*, 54, 49-59.

Sondergaard, M., Riemann, B., Jensen, L., 1988. Pelagic food web processes in an oligotrophic lake. *Hydrobiol.*, 164, 271-286.

Steele, K., Daniel, R., 1978. Fractionation of nitrogen isotopes by animals: a further complication to the use of variations in the natural abundance of ^{15}N for tracer studies. *J. Agri. Sci.*, 90, 7-9.

Thunell, R., Pride, C., Ziveri, P., Muller-Karger, F., Sancetta, C., Murray, D., 1996. Plankton response to physical forcing in the Gulf of California. *J. Planck. Res.*, 18, 2017-2026.

Trezen, L., Boutton, T., Tesdhal, K., Slade, N., 1983. Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: implication for $\delta^{13}\text{C}$ analysis of diet. *Oecologia*, 57, 32-37.

Tunnicliffe V., 1991. The biology of hydrothermal vent: ecology and evolution. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 29, 319-408.

van Dover, C., Fry, B., 1989. Stable isotope compositions of hydrothermal vent organisms. *Mar Biol.*, 102, 257-263.

van Dover, C., Fry, B., 1994. Microorganisms as food resources at deep-sea hydrothermal vents. *Limnol. Ocean.*, 39, 51-57.

von Damm, K., 1988. Systematics of and postulated controls on submarine hydrothermal solution chemistry. *J. Geophys. Res.*, 93, 4551-4561.

von Damm, K., 1990. Seafloor hydrothermal activity: black smokers chemistry and chimneys. *Earth Planet. Sci. Lett. Annu. Rev.*, 18, 173-204.

von Damm, K., Edmond, J., Measures, C., Grant, 1985. Chemistry of submarine hydrothermal solutions at Guaymas Basin, Gulf of California. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49, 2221-2237.

Ziveri, P., Thunell, R., 2000. Coccolithophore export production in Guaymas Basin, Gulf of California: response to climate forcing. *Deep-sea Res.*, II, 47, 2073-2100.

Apéndice 1

Espectrómetro de masas para análisis de isótopos estables. El espectrómetro de masas es un aparato diseñado para separar moléculas de acuerdo a su relación carga-masa mediante campos eléctricos y / o magnéticos.

Un espectrómetro de masas para análisis isotópico consiste de tres partes principales:

- a) **Fuente de iones.** En ella las moléculas y átomos neutros son convertidos en iones positivos mediante ionización por impacto de electrones.
- b) **Analizador magnético.** La separación de iones de acuerdo a sus masas se realiza mediante un campo magnético.
- c) **Colectores.** Los haces de iones una vez separados con respecto a su masa son medidos con un instrumento capaz de detectar a bajas corrientes como lo es un amplificador eléctrico (Espectrómetro de masas) (Morales *et al.*, 1970).

Fraccionamiento. Al ocurrir los diferentes procesos fisicoquímicos en la naturaleza, los isótopos se redistribuyen en los diferentes componentes causando fraccionamiento isotópico. El fraccionamiento isotópico es causado por un fenómeno físico llamado efecto isotópico.

Este fraccionamiento isotópico se observa en términos de enriquecimiento o empobrecimiento del isótopo pesado. Utilizando el término de cociente de abundancia isotópica se dice que si una sustancia se encuentra enriquecida en el isótopo pesado, es pesada p. e., para el caso de los carbonatos la $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 6 ‰, y cuando se encuentra empobrecida, es ligera, por ejemplo para el caso de las plantas C_3 la $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ -27 ‰. Un efecto isotópico, puede efectuarse en un sistema en equilibrio o durante una reacción química (cinética).

d) **Materiales de Referencia para Carbono y Nitrógeno**

Carbono. Tradicionalmente las medidas de relaciones isotópicas de carbono expresadas en partes por mil (‰) son referidas a la Belemnite Americana, la cual fue tomada de la formación Cretaceous Peedee en Carolina del Sur, EUA. Por definición la delta $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ es 0 ‰ (Craig, 1957). La relación de abundancia absoluta de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ en PDB es 0,0112372 que corresponde

a 1, 111 de átomo por ciento de ^{13}C , con lo cual se calcula la masa atómica del carbono en el PDB de 12, 01115 uma (Morales y Cienfuegos, 2001).

Se tomó como patrón referencia un carbonato de origen marino porque se consideró que los carbonatos de origen marino, contienen la mayor cantidad de carbono y de oxígeno de la troposfera. Desde hace algunos años se agotó la reserva física del PDB por lo que ya no se puede conseguir más, por lo que para calibrar las medidas contra la escala PDB (VPDB), se debe utilizar el material de referencia NBS-19 asignándole el valor de:

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{NBS-19/VPDB}} = + 1,95 \text{‰}$$

Cuando se calibra utilizando NBS-19 se debe mencionar que está referido a la escala VPDB. Las escalas basadas en PDB y NBS-19 (escala VPDB) son virtualmente idénticas, por lo que el uso del VPDB como referencia implica que las medidas se tienen que calibrar con NBS-19 (Hut, 1987).

Las determinaciones de las abundancias absolutas en carbono para el NBS18 fueron tomadas como las mejores por la Comisión de Pesos Atómicos y Abundancias Isotópicas de la IUPAC fueron realizadas por Chang en 1990 con los resultados siguientes.

NBS-18 (8543)

98, 8998 \pm 0, 0028 por ciento de átomos ^{12}C

1, 1002 \pm 0, 0028 por ciento de átomos ^{13}C

NBS-19 (8544)

98, 8922 \pm 0, 0028 por ciento de átomos ^{12}C

0, 1078 \pm 0, 0028 por ciento de átomos ^{13}C

usando estos valores se calcula que la $\delta^{13}\text{C}_{\text{NBS-18/NBS-19}} = -6, 96 \text{‰}$. Se recomienda que el NBS-18 se utilice como material de intercomparación, y el NBS-19 se debe usar como patrón de referencia para las medidas de ^{13}C (Morales y Cienfuegos, 2001).

Con respecto al análisis isotópico del Carbono e Hidrógeno en material orgánico, se deben utilizar los materiales de referencia NBS-22 (8539), PEFI (8540) y Sacarose ANU (8542) (Hut, 1987).

Materiales de Referencia Isotópico para Carbono y Oxígeno

Identificación ^a	Material	$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}^{\text{b}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$	Referencia
NBS-18 (8543)	Carbonatita	-5.04 ± 0.06	$+7.16 \pm 0.19$	Hut (1987)
NBS-19(8544)	Carbonato de Calcio en roca	+1.95	+28.65	Hut (1987)
LSVEC (8545)	Carbonato de Litio	-46.7 ± 0.3		NIST (1992)

^a Nombre común para el patrón y en el paréntesis la referencia del catalogo del NIST.

^b La composición isotópica del carbono en estos MR están referidos a VPDB usando $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}} = 1.95$ ‰ relativos al NBS-19 (8544). La composición isotópica del oxígeno están referidas a VSMOW.

Nitrógeno. Las medidas de relaciones isotópicas de nitrógeno se expresan en partes por mil con respecto a un patrón de referencia. Para este punto de referencia se escogió el nitrógeno atmosférico, por ser este la fuente principal de nitrógeno en la troposfera. Por definición la delta para el aire es $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIRE}} = 0$ ‰. El valor internacionalmente aceptado de la relación isotópica es absoluta de nitrógeno en aire, se tomó del mejor valor reportado entre varias determinaciones, el cual fue realizado por Junk y Svec (1958), y su valor es: $^{14}\text{N}/^{15}\text{N} = 272, 0 \pm 0, 3$.

Este valor absoluto fue revisado por la Comisión de Pesos Atómicos y Abundancias Isotópicas de la UIPAC quienes recomendaron el uso del valor de la relación igual a 272, 0 para el cálculo de por ciento atómico de ^{15}N . (Coplen *et. al.*, 1992).

Materiales de referencia Isotópico de Nitrógeno

Identificación ^a	Material	$\delta^{15}\text{N}_{\text{AIRE}}^{\text{b}} \text{‰}$	Referencia
IAEA-N1 (8547)	Sulfato de amonio	+0.4 ± 0.2	Gonfiantini (1984); Böhlke et . al. (1993)
IAEA-N2 (8548)	Sulfato de amonio	+20.3 ± 0.2	Gonfiantini (1984); Böhlke et . al. (1993)
IAEA-N3 (8549)	Nitrato de potasio	+2.0 ± 5	NIST (1992)
USGS25 (8550)	Sulfato de amonio	-30.4 ± 0.5	NIST (1992); Böhlke et . al. (1993)
USGS26 (8551)	Sulfato de amonio	+53.5 ± 0.5	NIST (1992); Böhlke et al. (1993)
NSVEC (8552)	Nitrógeno gaseoso	-2.81	NIST (1992)
USGS32	Nitrato de potasio	+179.9 ± 0.5	Böhlke et al. (1993)

^a -Nombre común para el patrón y en el paréntesis la referencia del catálogo del NIST.

^b -Promedio o valor representado en $\delta^{15}\text{N}$ en partes por mil de la desviación con respecto al N_2 atmosférico.

Apéndice 2

Purificación de gases de CO₂ y N₂ en un sistema en línea que opera manualmente. Para purificar los gases se hizo una reacción de oxidación, conocida como combustión de Dumas, la cual consiste en colocar en un tubo de cuarzo, sellado por uno de sus extremos y que contiene 20 mg de óxido cúprico (CuO), un contenedor de vidrio con los 3 mg de muestra seguido de una proporción de cobre elemental Cu. Una vez que se han colocado ambos componentes de cada muestra, se colocan en una línea de vacío (es una línea horizontal con capacidad para preparar hasta nueve muestras y la línea de purificación que es una línea vertical de extracción múltiple con capacidad de purificar hasta cinco muestras a la vez) para sellar las muestras al vacío con un soplete de combustión de oxígeno por el otro extremo del tubo y aislar la muestra.

Las líneas de preparación y purificación de gases están equipadas con una bomba mecánica para obtener un prevacío de 2×10^{-2} Torr y un sistema de bombas acopladas (mecánica y difusora), para tener un vacío medio de 10^{-3} Torr (bombas mecánicas marca Leybold, modelo D4b, y bombas difusoras). El sistema cuenta también con medidores de vacío tipo Piranni, termopares y un baratrón para medir el rendimiento de las muestras (Piranni marca Edwards Modelo DV-23, termopar marca Hasting modelo DV-23 con un intervalo de 0-25 psia y fuente que permite medir en millitorr).

Los tubos, una vez sellados se pusieron en contenedores individuales dentro de una mufla. Esta opera con una temperatura máxima de 1100°C y con un error de medición no mayor de $\pm 5^\circ\text{C}$ (mufla Thermolyne modelo No. F48025). La combustión de Dumas se realizó a 900°C durante dos horas, posteriormente se disminuyó la temperatura a 650°C y se mantuvo así por dos horas más, esto para asegurar que todo el CO se convirtiera a CO₂ y que tanto los halógenos como los sulfuros fueran removidos. El tiempo de combustión sirvió para que todo el oxígeno fuera absorbido por el cobre (Lajtha y Michener, 1994). El tiempo total de combustión fue de cuatro horas y el enfriamiento de tres horas.

Los tubos con muestra fueron procesados de manera individual una vez que se enfriaron, cada uno de los gases de la mezcla que contenía: N_2 , H_2O y CO_2 con el objeto de ser analizados de manera individual, en el espectrómetro de masas.

El sistema de purificación de gases consiste de una línea de vacío (descrita anteriormente; dos trampas criogénicas, una con nitrógeno líquido y otra con hielo seco / etanol, así como; un sistema de introducción de gases (muestras). El sistema de vacío sirvió para evitar que las muestras se contaminaran ya fuera por gases residuales o por otras sustancias. Este sistema opera antes de introducir cada muestra, la primera trampa sirvió para contener gases de CO_2 y H_2O , la segunda trampa con hielo seco / etanol para sublimar el CO_2 y así poder transferirlo a otro contenedor para el análisis de abundancias isotópicas de cada muestra.

Para separar el N_2 gaseoso, el procedimiento fue prácticamente similar, la modificación consiste en agregar una trampa con sílica gel o un tamiz molecular, ya que ambos absorben o retienen el N_2 (Mariotti, 1983).

Apéndice 3

Sistema de introducción de muestras en el espectrómetro. El CO_2 y el N_2 en estado gaseoso de cada muestra, se maneja a través de un sistema dual de introducción de gases. Con el sistema de doble introducción de gases se lleva a cabo la comparación de la muestra con respecto a un compuesto o elemento patrón. El patrón de referencia utilizado para el análisis comparativo de CO_2 fue el NBS-19 (Carbonato de calcio de roca caliza) relacionado a la calcita de la formación Pee Dee ($\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$), por sus siglas en inglés (Viena Pee Dee Belemnite limenstone) (Craig, 1953) y para el análisis del N_2 fue el referido a nitrógeno atmosférico ($\delta^{15}\text{N}_{\text{VAIRE}}$) (Mariotti, 1983). Los valores se expresan en partes por mil (‰) con un margen de error en reproducibilidad de ± 0.2 ‰. El sistema de introducción de gases cuenta con dos fuelles de volumen variable en los cuales la presión se ajusta independiente y automáticamente hasta alcanzar un flujo igual entre muestra y patrón con el fin de que cada uno produzca la misma intensidad en la corriente. Los dos sistemas de introducción de gases se conectan independientemente a la fuente de iones por medio de un capilar de 0.1 mm de diámetro interno y de aproximadamente 50 cm de largo. En el extremo distal de cada capilar se tiene una constricción que va a la fuente de iones y provoca un flujo en el gas de viscoso a molecular después de la constricción (Nier, 1950).

Apéndice 4

Colectores. Los espectrómetros de masas se equiparon con colectores que midieron las intensidades de corriente para m/z 44, 45, y 46. Así como 28 y 29 para gases dióxido de carbono y nitrógeno molecular respectivamente. El espectrómetro cuenta con un sistema de entrada doble, para medir alternativamente la muestra desconocida y el estándar, o bien debe utilizarse una técnica de flujo continuo que lleve cuantitativamente los gases de combustión de las muestras de dióxido de carbono o nitrógeno molecular hacia la cámara de ionización del espectrómetro. Las abundancias se expresan como

$$\delta X = [(R_{\text{muestra}} / R_{\text{patrón}}) - 1] * 1000 (\text{‰}) \quad (1)$$

donde

$$X = {}^{13}\text{C} \text{ ó } {}^{15}\text{N}, \text{ y}$$

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

Agradecimientos

- Apoyo institucional del ICML UNAM-CU de las gestiones de los Drs. Antonio Peña Díaz y Adolfo Gracia Gasca.
- Apoyo de la Unidad Académica Sistemas Oceanográficos y Costeros del ICML UNAM-CU
- Financiamiento de la investigación para el trabajo de laboratorio y costos analíticos fueron apoyados por los proyectos DGAPA UNAM IN 211200 e IN 217298.
- Financiamiento de beca para la finalización de la tesis de licenciatura otorgado por el proyecto *Desarrollo en México de nuevas metodologías en isótopos estables aplicadas al estudio de depósitos minerales, vulcanismo, sistemas hidrotermales, hidrología, ecología y bioquímica acuática*. CONACYT – G35442 – T.
- Apoyo en el campo a las tripulaciones del B/O NADIR y del sumergible NAUTILE del IFREMER, Francia.
- Dra. Elva Escobar Briones, Jefe de la Unidad Académica. Sistemas Oceanográficos y Costeros, ICMyL, UNAM, por dirigir y asesorar este trabajo de tesis.
- Por sus comentarios valiosos que mejoraron este trabajo al Jurado compuesto por el M. en C. Pedro Morales Puente y Edith Cienfuegos Alvarado, Laboratorio de Espectrometría de Isótopos Estables, Instituto de Geología UNAM; al Dr. Javier Alcocer Durand, FES – Iztacala UNAM y a la Dra. Ma. Antonieta Aladro Lubel, Facultad de Ciencias UNAM
- Dr. Luis A. Soto González, por el espacio físico y facilidades otorgadas a la Dra. Escobar para la realización de la tesis de Manuel González Ocampo en el Laboratorio de Ecología del Bentos en el ICML UNAM-CU.

- Dr. Luis A. Cifuentes, por el apoyo para realizar los análisis isotópicos en el Laboratorio de Isotopia Estable del departamento de Oceanografía de Texas A & M University, College Station, Texas.
- Instructor Gilles St-Jean, Extra lab support Paul Middlestead y Wendy Abdi por el apoyo para realizar los análisis isotópicos en G. G. Hatch Isotope Laboratories, Earth Sciences, U of Ottawa.
- Los análisis elementales se realizaron en colaboración con la Dra. Alina Szmant, U. de Carolina en Wilmington.
- A mis compañeros de laboratorio Biol. Penélope Rodríguez Pliego, Biol. Juan Antonio Salas, Biol. Citlali Díaz Aguilar, Biol. Diana Raquel Hernández Robles y Pas. Biol. Suzzette Tamez Cruz.