

00366



*Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología*

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**



COMPOSICION Y CARACTERIZACION ISOTOPICA  $\delta^{13}\text{C}$  DE  
PARTICULAS DE CARBONO ORGANICO EN ESTRATOS  
BATIMETRICOS DE AGUAS OCEANICAS DEL SUROESTE DEL  
GOLFO DE MEXICO

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS  
( BIOLOGIA MARINA)

**P R E S E N T A :**  
BIOLOGO MANUEL GONZALEZ OCAMPO

DIRECTOR DE TESIS: DRA. ELVA G. ESCOBAR BRIONES  
COMITE TUTORAL. DR. PEDRO A. MORALES PUENTE  
DR. ALFONSO VAZQUEZ BOTELLO  
DRA. ROSA MARIA PROL LEDESMA  
DR. JAVIER CARMONA JIMENEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, MEXICO, D.F.

2005

m.340890



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

*¿Veis aquella estrella en lo alto del firmamento?*

*Encaminad vuestros pasos hacia ella.*

*Toma esa estrella como guía.*

*En otras palabras, "apunta alto"*

*B.P.*

Por sus sabios consejos y por su apoyo incondicional dedico esta tesis a mi madre Martha Ocampo Torres.

Por su cariño, comprensión, amor y paciencia agradezco y también dedico esta tesis a mi bella Edith González Flores.

Por estar siempre conmigo agradezco a mis hermanos, sobrinos y amigos.

---

## Índice

<b>1 RESUMEN</b> .....	1
1.1 ABSTRACT.....	3
<b>2 INTRODUCCIÓN</b> .....	5
<b>3 ANTECEDENTES</b> .....	8
3.1 PROCESOS DE FIJACIÓN DE CO <sub>2</sub> .....	12
3.2 ISÓTOPOS ESTABLES Y FIJACIÓN DE CO <sub>2</sub> EN EL MAR.....	13
3.3 TÉCNICAS DE MUESTREO EN EL ANÁLISIS DE COP.....	16
<b>4 HIPÓTESIS</b> .....	17
<b>5 OBJETIVO GENERAL</b> .....	17
5.2 OBJETIVOS PARTICULARES.....	17
<b>6 ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	18
<b>7 METODOLOGÍA</b> .....	22
7.1 MUESTREO.....	22
7.2 PROCESADO DE LAS MUESTRAS PARA ISÓTOPOS ESTABLES.....	26
7.2.1 ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES.....	26
7.2.2 FOTOGRAFÍAS DE MEB.....	27
7.2.3 PRUEBAS ESTADÍSTICAS.....	28
<b>8 RESULTADOS DE ISÓTOPOS ESTABLES</b> .....	30
8.2 DESCRIPCIÓN GENERAL.....	30
8.2 PLANICIE ABISAL.....	32
8.3 TALUD CONTINENTAL.....	36
8.3 CAÑÓN DE CAMPECHE.....	41
<b>9 RESULTADOS DE FOTOGRAFÍAS DE MEB</b> .....	47
9.1 PLANICIE ABISAL.....	47
9.2 TALUD CONTINENTAL.....	47
9.3 CAÑÓN DE CAMPECHE.....	48
<b>10 CORRELACION DE <math>\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}</math> EN COP CON PARÁMETROS</b> .....	52
10.1 PLANICIE ABISAL.....	52
10.2 TALUD CONTINENTAL.....	53
10.3 CAÑÓN DE CAMPECHE.....	55
<b>11 DISCUSIÓN</b> .....	60
11.1 GENERAL.....	60
11.2 PLANICIE ABISAL.....	61
11.3 TALUD CONTINENTAL.....	63
11.4 CAÑÓN DE CAMPECHE.....	64
<b>12 CONCLUSIONES</b> .....	66
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	67
<b>REFERENCIAS</b> .....	69
<b>APENDICE</b> .....	74
FRACCIONAMIENTO Y VALORES ISOTÓPICOS REFERIDOS.....	74

---

---

## Índice de Tablas

Tabla 1. Abundancias relativas del isótopo estable de carbono trece en estudios de COP y carbono inorgánico disuelto (CID) en muestras de agua en la superficie y en la columna de agua, de diversas regiones del océano mundial. p 11

Tabla 2a. Posición geográfica, niveles de profundidad y parámetros determinados para cada muestra de la zona de planicie abisal en la porción central del Golfo de México. nd = no determinado. p 24

Tabla 2b. Posición geográfica, niveles de profundidad y parámetros determinados para cada muestra de la zona de talud continental frente a Tamaulipas. nd = no determinado . p 25

Tabla 2c. Posición geográfica, niveles de profundidad y parámetros determinados para cada muestra de la zona de cañón de Campeche. p 25

Tabla 3. Contenido de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP, valores agrupados por estación en la planicie abisal. p 32

Tabla 4. Matriz de correlación de probabilidades generada por la prueba de Tukey de la variable  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP, extraída del anova. Los números en negritas indican similitud entre **0.75-1.00**. Error entre MS = 0.62, df = 35. p 34

Tabla 5. Contenido de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP, valores agrupados por nivel en la columna de agua de todas las localidades de la zona abisal. i) capa de mezcla, ii) techo de termoclina, iii) máximo de clorofila a, iv) piso de termoclina, v) debajo de la termoclina y vi) agua de fondo. p 34

Tabla 6. Matriz de correlación de probabilidades generada por la prueba de Tukey de la variable  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP, extraída del anova. Los números en negritas indican similitud entre **0.75-1.00**; i) capa de mezcla, ii) techo de termoclina, iii) máximo de clorofila a, iv) piso de termoclina, v) debajo de la termoclina y vi) agua de fondo. p 36

Tabla 7. Contenido de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP, valores agrupados por localidad en el talud continental frente a Tamaulipas. p 37

Tabla 8. Matriz de correlación de probabilidades generada por la prueba de Tukey de la variable  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP, extraída del anova. Los números en negritas indican similitud entre **0.75-1.00**. Error entre MS = 0.17, df = 12. p 38

Tabla 9. Contenido de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP, valores agrupados por nivel en la columna de agua en la zona de talud continental. i) capa de mezcla, ii) techo de termoclina, iii) máximo de clorofila a, iv) piso de termoclina, v) debajo de la termoclina y vi) agua de fondo. p 39

Tabla 10. Matriz de correlación de probabilidades generada por la prueba de Tukey de la variable  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP, extraída del anova. Los números en negritas indican similitud entre **0.75-1.00**; i) capa de mezcla, ii) techo de termoclina, iii) máximo de clorofila a, iv) piso de termoclina, v) debajo de la termoclina y vi) agua de fondo. p 40

Tabla 11. Contenido de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP, valores agrupados por estación en la zona del cañón de Campeche. p 41

---

---

Tabla 12. Matriz de correlación de probabilidades generada por la prueba de Tukey de la variable  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP, extraída del anova. Los números en negritas indican similitud entre **0.75-1.00**. Error entre MS = 0. 30, df = 24. p 43

Tabla 13. Contenido de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP, valores agrupados por nivel en la columna de agua en la zona del cañón de Campeche. i) capa de mezcla, ii) techo de termoclina, iii) máximo de clorofila a, iv) piso de termoclina, v) debajo de la termoclina y vi) agua de fondo. p 44

Tabla 14. Matriz de correlación de probabilidades generada por la prueba de Tukey de la variable  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP, extraída del anova. Los números en negritas indican similitud entre **0.75-1.00**. i) capa de mezcla, ii) techo de termoclina, iii) máximo de clorofila a, iv) piso de termoclina, v) debajo de la termoclina y vi) agua de fondo. p 46

Tabla 15. Componentes del COP reconocidos en fragmentos de filtros. Las X representan la frecuencia en que se encontró cada especie. X = poco frecuente, XX = medianamente frecuente, XXX = muy frecuente. p 49

---

---

## Índice de Figuras

Figura 1. Área de estudio, el transecto de las localidades 1-12 se realizó durante la campaña Sigsbee 5. Las localidades que se ubican sobre la isobata de los 2000 m en el cañón de Campeche durante la campaña PROMEBIO 6. p 18

Figura 2. Modelo de zonación en columna de agua seguido para el muestreo de COP. p 23

Fig. 3 Distribución geográfica de los valores de  $\delta^{13}C_{VPDB}$  en COP en los seis niveles de profundidad. Los intervalos de valores en el recuadro inferior representan el 20 % del total de los datos; i) capa de mezcla, ii) techo de termoclina, iii) máximo de clorofila a, iv) piso de termoclina, v) debajo de la termoclina y vi) agua de fondo. p 30

Figura 4. Descripción de los valores de  $\delta^{13}C_{VPDB}$  resultados agrupados por zona. n = 104. p 31

Figura 5. Variación de la composición del  $\delta^{13}C_{VPDB}$  en COP de columna de agua, en valores agrupados por localidad en la zona abisal. n = 48, F(7, 35)= 1.67, p = 0.14, intervalo de confianza de 0.95. p 33

Figura 6. Variación de la composición del  $\delta^{13}C_{VPDB}$  en COP de columna de agua, en valores agrupados por nivel de profundidad en la columna de agua en la zona abisal. n = 48, F(5,35)=2.82, p = 0.03, intervalo de confianza de 0.95. p 35

Figura 7. Variación de la composición del  $\delta^{13}C_{VPDB}$  en COP de columna de agua, en valores agrupados por localidad en la zona de talud continental. n = 21, F(3, 12)= 1.71, p = 0.21, intervalo de confianza de 0.95. p 37

Figura 8. Variación de la composición del  $\delta^{13}C_{VPDB}$  en COP de columna de agua, en valores agrupados por nivel de profundidad en la columna de agua en la zona de talud continental. n = 21, F(5, 12)= 4.08, p = 0.021, intervalo de confianza de 0.95. p 40

Figura 9. Variación de la composición del  $\delta^{13}C_{VPDB}$  en COP de columna de agua, en valores agrupados por localidad en la región del cañón de Campeche. n = 35, F(6, 24)= 3.63, p = 0. 01, intervalo de confianza de 0.95. p 42

Figura 10. Variación de la composición del  $\delta^{13}C_{VPDB}$  en COP de columna de agua, en valores agrupados por nivel de profundidad en la columna de agua en la zona de cañón de Campeche. n = 35, F(6, 30)= 3.63, p = 0. 01, intervalo de confianza de 0.95. p 45

Figura 11. Gráfico de correlación entre las variables  $\delta^{13}C_{VPDB}$  en COP y oxígeno disuelto de muestras de la zona de planicie abisal. Las líneas interrumpidas denotan el 95 % de nivel de confianza, la línea sólida denota la tendencia de los valores, r = correlación, p = significación. p 52

Figura 12. Gráfico de correlación entre las variables  $\delta^{13}C_{VPDB}$  en COP y peso total de COP de muestras de la zona de planicie abisal. Las líneas interrumpidas denotan el 95 % de nivel de confianza, la línea sólida denota la tendencia de los valores, r = correlación, p = significación. p 53

---



---

Figura 13. Gráfico de correlación entre las variables  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP y oxígeno disuelto de muestras de la zona de talud continental. Las líneas interrumpidas denotan el 95 % de nivel de confianza, la línea sólida denota la tendencia de los valores, r = correlación, p = significación.  
p 54

Figura 14. Gráfico de correlación entre las variables  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP y peso total de COP de muestras de la zona de talud continental. Las líneas interrumpidas denotan el 95 % de nivel de confianza, la línea sólida denota la tendencia de los valores, r = correlación, p = significación.  
p 55

Figura 15. Gráfico de correlación entre las variables  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP y oxígeno disuelto de muestras de la zona de talud continental. Las líneas interrumpidas denotan el 95 % de nivel de confianza, la línea sólida denota la tendencia de los valores, r = correlación, p = significación.  
p 56

Figura 16. Gráfico de correlación entre las variables  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP y peso total de COP de muestras de la zona del cañón de Campeche. Las líneas interrumpidas denotan el 95 % de nivel de confianza, la línea sólida denota la tendencia de los valores, r = correlación, p = significación. p 57

Figura 17. Gráfico de correlación entre las variables  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP y temperatura de muestras de la zona del cañón de Campeche. Las líneas interrumpidas denotan el 95 % de nivel de confianza, la línea sólida denota la tendencia de los valores, r = correlación, p = significación. p 58

Figura 18. Gráfico de correlación entre las variables  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP y salinidad de muestras de la zona del cañón de Campeche. Las líneas interrumpidas denotan el 95 % de nivel de confianza, la línea sólida denota la tendencia de los valores, r = correlación, p = significación.  
p 59

---

---

## 2 INTRODUCCIÓN

El COP juega un papel importante en el ciclo biogeoquímico del carbono en el océano. Al igual que en la producción, transferencia y descomposición en el ecosistema (Longhurst y Pauly 1987). De él se derivan otras fuentes de energía en los diversos ecosistemas. La composición química y la distribución del COP son diversas, no sólo en términos del tamaño de la partícula p.e. finas de 0.45  $\mu\text{m}$  hasta 1mm, o gruesas de hasta 2.5 mm, sino también en cuanto a su origen p.e. bacterias asociadas a partículas, fitoplancton (en sus distintas fracciones), esqueletos, mudas, agregados, desechos y productos metabólicos, entre otros (Margalef y Vives 1972; Wakeham y Canuel 1988; Kolber et al. 2001).

Los mecanismos de transporte del COP determinan su composición y características. Se han estimado velocidades de sedimentación que van de 1.5 a 5 m en 24 h, dependiendo del tamaño y forma que tengan, lo anterior es determinante para los cambios que sufre el COP en su descenso al fondo (Margalef y Vives 1972; Parsons 1975, Duursma y Dawson 1981, Wakeham y Canuel 1988). En mar abierto la mayor parte del COP se deriva a partir del fitoplancton (Rullkötter 2000).

El COP está distribuido y determinado, idealmente por los procesos hidrodinámicos, sin embargo, existen zonas en el océano empobrecidas, p.e. el océano tropical, los grandes giros, que están en función de productividad ocasional, resultado de la variación estacional -temporal y de la hidrografía local (Parsons et al. 1995). El COP es un componente importante de los sumideros de carbonatos y bicarbonatos, una vez que éstos han sido fijados por los productores primarios (Fenchel 2001).

El tiempo de residencia del COP en el océano, va desde algunos días representado como material lábil ( $C_{\text{BIO}}$ ) que ingresa en la cadena de herbívoros (Legendre y Rasoulzadegan 1996), hasta más de cientos de años ejemplificado en el secuestro del COP en el sedimento como es el petróleo, o en estructuras como son los corales y en el material refractario (Fenchel

---

2001). El tiempo de permanencia influye directamente en los procesos que regulan el calentamiento global (Rullkötter 2000; Fenchel 2001).

La fauna asociada al sedimento (bentos) que habita a más de 200 m se sostiene del COP que se exporta desde la superficie. El bentos incluye en su dieta una fracción menor de material que es producido *in situ*, p.e. bacterias (Duursma y Dawson 1981), por lo tanto su abundancia, composición, distribución y biomasa se encuentran estrechamente relacionados a la cantidad y la calidad del COP, así como a otros factores ambientales (de Bovée et al.1990, Salas 2001, Díaz, 2001).

En la costa es evidente que la fauna béntica se sostiene principalmente de material terrígeno aportado por vía fluvial o producida en el bentos por algas y vegetación vascular. Sin embargo, conforme los fondos se localizan más alejados de la costa, mar adentro, cobra importancia la producción primaria y secundaria de la columna de agua (Rowe 1983).

Los organismos del bentos beneficiados por este carbono y su exportación incluyen a las bacterias, la meiofauna (Mare 1942), éstos últimos definidos por su talla entre 42 y 150  $\mu\text{m}$  (Rowe 1983), y a la macroinfauna que no tienen la capacidad de migrar verticalmente y su desplazamiento es principalmente en los espacios intersticiales del sedimento. Estos basan su dieta en COP o bacterias que lo recubren, que transforman en tejido orgánico y lo transfieren a los siguientes niveles tróficos (Strong et al.1984, Eltringham 1991) reconociéndose especies filtradoras, bacterívoras y detritívoras (Gage y Tyler 1992).

Las fuentes de carbono en el océano son diversas ya que el material puede ser de origen fotoautotrófico, terrígeno o resuspendido cerca del fondo. Asimismo, procesos diversos en columna de agua (biológicos y geoquímicos) pueden transformar al COP. El uso de isótopos estables de carbono trece como marcador natural nos permite reconocer el origen del carbono orgánico y algunos de los procesos que lo degradan en columna de agua.

En el Golfo de México son de relevancia los yacimientos de petróleo en la parte somera de la región suroeste. La mayoría de los estudios de caracterización de organismos y partículas

---

---

se han hecho en esa región. Sin embargo, la parte de mar profundo del Golfo de México no ha sido caracterizada en sus partículas. Los estudios en mar profundo, de la región suroeste se han dirigido hacia la interpretación del bentos (material orgánico y organismos). No obstante, hace falta reconocer el origen y las características del COP en el ambiente pelágico y a través de su transporte al fondo oceánico. Este estudio se abocó a proporcionar una primera caracterización del COP en muestreos discretos a través de la columna de agua en la región suroeste del mar profundo del Golfo de México.

---

### 3 ANTECEDENTES

Entre los trabajos que han estudiado la caracterización del COP se encuentra el de Wiebe et al. (1976), quienes estudiaron la descripción y la relación del tamaño de partícula con respecto a la tasa de hundimiento. Bishop et al. (1977) caracterizaron las partículas orgánicas en los primeros 400m de profundidad en la región del Atlántico Ecuatorial. Eppley y Peterson (1979), destacaron la contribución de partículas orgánicas por heces fecales de zooplancton. Otros como Deuser et al. (1981) señalan la importancia de los organismos secundarios (zooplancton) en la trama trófica para exportar carbono orgánico hacia el fondo marino. El trabajo de Wakeham y Canuel (1988), resalta la importancia de las bacterias en los agregados de COP al fondo marino y contribuyeron reconociendo la interacción entre las partículas para determinar su composición y tasa de hundimiento.

Las transformaciones del COP en la columna de agua han sido estudiadas por los siguientes autores (Eppley y Peterson 1979, Wakeham y Canuel 1988, Legendre 1990), y han identificado como los principales componentes biológicos al fitoplancton (en sus distintas fracciones), al zooplancton (copépodos), al microzooplancton (radiolarios y foraminíferos) y a otros componentes de la cadena microbiana que habitan en la zona fótica (Parsons et al. 1995). El material orgánico que se exporta al fondo marino está compuesto por los constituyentes anteriores (Suess 1980, Wakeham y Canuel 1988). En el transporte al fondo, el material orgánico particulado se agrega y se degrada, principalmente algunos de sus componentes moleculares como: lípidos, ésteres y ácidos grasos (Wakeham y Canuel 1988). Debido a esta degradación diferencial es que algunos de estos compuestos pueden ser utilizados como marcadores naturales (Wakeham y Canuel 1988).

La importancia de los afloramientos de fitoplancton y su relevancia en la calidad del material que se deposita en el fondo para su uso por el bentos fue analizada por Hopcroft et al. (1990) y Legendre (1990) quienes adicionalmente realizaron la caracterización de material orgánico en el océano con base en el tamaño de la partícula, correlacionando con procesos

---

---

hidrodinámicos de la columna de agua y estableciendo su tasa de hundimiento. En el Golfo de México. Biggs (1992), estudió la productividad asociada a un giro anticiclónico en el sector noroeste y reconoció que la clorofila representa menos de  $20 \text{ mg.m}^{-2}$  en el COP donde la productividad primaria es menor de  $0.4 \text{ mgC. m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$ .

El análisis de la información existente sobre la caracterización utilizando abundancias relativas de isótopos estables de carbono trece del COP en diferentes regiones del océano mundial inició en la década de los 60s con el trabajo de Sackett et al. (1965). En ese trabajo se destaca la relación entre la temperatura superficial y el enriquecimiento en  $^{13}\text{C}$  del fitoplancton, así como el aporte al sedimento superficial. Jeffrey et al. (1983), comparó las abundancias isotópicas en COP del mar Caribe y Golfo de México con las del Atlántico ecuatorial y concluyeron que las diferencias encontradas a escala regional se deben a procesos físicos en la columna de agua. Resultados más recientes sobre este tema de caracterización del  $\delta^{13}\text{C}$  en COP se resumen en la Tabla 1. La mayor parte de ésta información se ha obtenido en aguas templadas, frías y un número de registros limitado para el Golfo de México (Sackett y Thompson 1983).

Los antecedentes sobre caracterización con  $\delta^{13}\text{C}$  de partículas orgánicas en el océano mundial presentan una variación en un intervalo de  $12.3\text{‰}$ . Los valores se encuentran en valores reconocidos para plantas terrestres  $\text{C}_3$  representadas por trigo, arroz, árboles y arbustos, cianobacterias anoxigénicas, fitoplancton marino de ambientes tropicales y templados, así como fraccionamiento en heces fecales. Se excluyen a las plantas  $\text{C}_4$ , representadas por maíz, caña de azúcar y algunas amarantáceas, cuyos valores son en promedio  $-12 \text{‰}$  y en aguas profundas a las bacterias metanogénicas con valores de  $-38 \text{‰}$  (Lajtha y Michener 1994).

La caracterización de COP en la literatura existente se ha realizado principalmente en la capa eufótica (p.e. superficie y capa de mezcla; Rau et al. 1991; Rau et al. 1992; Dehairs et al. 1997; Kennedy y Robertson 1995) y solamente algunos trabajos incluyen valores de COP en

---

---

agua de fondo (Boyd et al. 1999; Wu et al. 1999). Los trabajos provienen comúnmente de una sola localidad o recolectados a lo largo de transectos latitudinales donde comúnmente vinculan los resultados a factores físicos (p.e. cambios de temperatura, intensidad de luz, movimiento), químicos (p.e. concentración de CO<sub>2</sub>, pH) y biológicos (p.e. productividad por fitoplancton, transferencia a la trama trófica). Las masas de agua también influyen sobre la variación reconocida sobre el  $\delta^{13}\text{C}$  del COP.

Tabla 1. Abundancias relativas del isótopo estable de carbono trece en estudios de COP y carbono inorgánico disuelto (CID) en muestras de agua en la superficie y en la columna de agua, de diversas regiones del océano mundial.

Latitud	Longitud	Profundidad (m)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}} \text{‰}$	Comentarios	Referencia
<b>Golfo de México</b>					
Sureste de Florida		Superficie Fondo	-23.1 a -24.4 -20.8 a -22.3	Los resultados similares son el reflejo de los aportes de fitoplancton desde la superficie y por los ríos en la zona costera.	Parsons et al. (1995) Sackett y Thompson (1983)
<b>Océano Pacífico</b>					
50 ° N	135 W	200 1000 3800	-24.57 -23.40 -22.84	El enriquecimiento observado en el fondo se justifica como las transformaciones que tiene el COP debidos a la transferencia en la trama trófica.	Wu et al. (1999)
<b>Océano Atlántico</b>					
Pacífico ecuatorial (CID)			1.5 a -2		Valley y Cole (2001)
48. 39 ° N	126.40 ° W	20 1000 fondo	-27.5 -25.0 -25.0 a -23.45	El fraccionamiento isotópico se asocia a factores físicos, ambientales y biológicos que ocurren en la capa superficial.	Boyd et al. (1999)
47 ° S a 49 ° S	En 6 ° W	Capa de mezcla	-27.12 a -24.45	Enriquecimiento debido a la concentración de CO <sub>2</sub> en agua por efectos de temperatura.	Dehairs et al. (1997)
47 ° N	20 ° W	Capa de mezcla	-22.9 a -18.1	Enriquecimiento asociado a los movimientos de las masas de agua y cambios en la temperatura.	Rau et al. (1992)
Atlántico ecuatorial (CID)			-1.9		Valley y Cole (2001)
<b>Océano Índico (transectos latitudinales)</b>					
59 ° S a 30 ° S	En 79.22 y 57.62 ° E	Capa de mezcla	-17.89 a -24.08	Relación inversa entre concentración de CO <sub>2</sub> en agua y enriquecimiento isotópico.	Francois et al. (1993)
Indico CID			-1.3		Valley y Cole (2001)
<b>Corriente Circum-Antártica</b>					
67 ° S a 54 ° S	88 ° W	Superficie (estacional)	-27.89 a -24.08	También es asociado a las diferencias en concentración de CO <sub>2</sub> y a los cambios estacionales de temperatura.	Kennedy y Robertson (1995)
<b>Mar Weddell</b>					
65.30 ° S	44.39 ° W	200 280 700 1100 1500	-29.2 -29.5 -29.2 -26.8 -25.6	Enriquecimiento hacia el fondo asociado a las transformaciones de COP, vía zooplancton y remineralización.	Fischer (1991)
65.30 ° S	44.39 ° W	Superficie (estacional)	-30.4 a -16.7	Enriquecimiento en verano asociado a los cambios en la temperatura.	Rau et al. (1991)



---

### 3.1 PROCESOS DE FIJACIÓN DE CO<sub>2</sub>

Actualmente se reconoce que el origen del COP está determinado por los procesos de fijación de CO<sub>2</sub> y por las diversas rutas de fijación que utilizan los organismos autótrofos. Esto trae como consecuencia diferencias en las abundancias isotópicas de los diferentes organismos.

La carboxilación implica la incorporación de CO<sub>2</sub> y agua a la molécula de RuBP para formar moléculas de 3-PGA, después éstas moléculas formadas se reducen para formar un carbohidrato y regeneran, en la fase de regeneración, RuBP con el cual se incorporará nuevo CO<sub>2</sub> que llegará al sistema por difusión. La energía utilizada en el proceso de fotosíntesis proviene de la luz solar que es captada también en los pigmentos fotosintéticos (Salisbury y Ross 1994).

La segunda etapa del proceso de fotosíntesis se encarga de fijar el carbono que se ha incorporado. En esta fase del proceso, la enzima fosfoenol piruvato carboxilasa kinasa (PEPCK) es la encargada de fijar el carbono. A esta etapa del ciclo se le reconoce como la fase oscura. En algunas algas marinas como *Laminaria setchellii* y en algunas diatomeas p.e. *Skeletonema costatum*, la enzima se encuentra en el citoplasma a diferencia de las plantas vasculares en las cuales se presenta compartimentada en los cloroplastos. La compartimentación de la enzima favorece la difusión diferencial de CO<sub>2</sub> en las diferentes especies que la presentan. La carboxilación puede ser debida a la actividad de esta enzima (PEPCK), a la actividad de la PEP y a la de la enzima piruvato carboxilasa (Cabello-Pasini et al. 2001).

Actualmente se reconoce que el mecanismo de captación de CO<sub>2</sub> por organismos planctónicos comprende cuatro estrategias:

1.- La primera se ha observado en *Porphyridium purpureum*, una alga roja que tiene la capacidad de transportar bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) a través del plasmalema, para su posterior conversión a CO<sub>2</sub>.

2.- La segunda estrategia consiste en convertir HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> a CO<sub>2</sub>, extracelularmente y así

---

---

dejar CO<sub>2</sub> listo para su difusión al interior de la célula, esto se ha observado en la cianobacteria planctónica *Synechococcus* sp..

3.- La tercer estrategia es la que depende de la difusión de CO<sub>2</sub>, y se ha descrito en organismos que adolecen de la enzima anhidro-carboxilasa (Israel y González 1996).

4.- Se ha descrito una cuarta estrategia de asimilación de CO<sub>2</sub> en organismos del fitoplancton (Reinfelder et al. 2000). En ésta los organismos utilizan el mecanismo conocido como C<sub>4</sub> característico de plantas terrestres y desconocido hasta hace poco en organismos del fitoplancton. La diatomea *Thalassiosira weissflogii* bajo estrés de CO<sub>2</sub> y Zn no puede incorporar CO<sub>2</sub> por los mecanismos antes mencionados y lo incorpora utilizando la PEPC, usualmente reconocida para organismos que utilizan la ruta fotosintética C<sub>4</sub>, que caracteriza a plantas terrestres.

### **3.2 ISÓTOPOS ESTABLES Y FIJACIÓN DE CO<sub>2</sub> EN EL MAR**

La técnica de isótopos radiactivos de carbono catorce revolucionó la obtención de resultados en este campo de estudio. En la actualidad este campo de estudio ha sido complementado con el uso de los isótopos estables de carbono y nitrógeno (Broecker 1993).

Los isótopos estables  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{15}\text{N}$  son usados como trazadores en experimentos para determinar las tasas fotosintéticas, procesos de captación de carbono, captación de nutrientes o respiración en algas acuáticas y cianobacterias, así como para determinar la estrategia fotosintética (Rau et al. 1996).

Las abundancias de isótopos estables en las algas dentro de sistemas naturales, son afectadas por tres factores:

- 1.- La composición de isótopos estables de los nutrientes inorgánicos.
  - 2.- El fraccionamiento de los isótopos estables durante la captación (ver apéndice), con base en el metabolismo utilizado para cada elemento.
  - 3.- El fraccionamiento de los isótopos estables durante los procesos catabólicos
-

---

(Georike et al. 1994).

La composición de los isótopos estables en muestras orgánicas, no cambia por procesos de muestreo y/o análisis si se manejan con la debida precaución (Lajtha y Michener 1994).

Un fraccionamiento considerable (-18 ‰), ocurre cuando el fitoplancton incorpora carbono inorgánico disuelto p.e. CO<sub>2</sub>; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. En el océano los valores de δ<sup>13</sup>C en fitoplancton oscilan entre -18 y -29.5 ‰. Los valores empobrecidos (-25 a -29.5 ‰) han sido observados en el Antártico y se atribuyen a la temperatura superficial que incide con la concentración del CO<sub>2</sub> en el océano. Con base en los experimentos realizados sobre el fraccionamiento de los isótopos estables de carbono, se esperaría un valor de δ<sup>13</sup>C = -40 ‰ en aquellas algas que utilizan el ciclo C3 para fijar carbono, sin embargo, para el caso del plancton los valores son de 10 a 20 ‰ menos negativos y oscilan entre δ<sup>13</sup>C -18 y -29.5 ‰ (Lajtha y Michener 1994).

El enriquecimiento observado en ambos casos, se atribuye a la química del carbono inorgánico disuelto en agua de mar y a las presiones parciales del [CO<sub>2</sub>]<sub>aq</sub> que pueden limitar las tasas fotosintéticas vía la incorporación y por lo tanto favorecer o no el enriquecimiento de isótopos estables observado (Mizutani y Wada 1982, Rau et al. 1992). Otras explicaciones serían la preferencia de uso de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> en lugar de CO<sub>2</sub> y la incorporación por β-carboxilasas que discriminan menos que la RubisCO (Descolas-Gros y Fontugne 1990), o por la posible difusión activa en la cual se puede registrar un mínimo fraccionamiento entre el medio y el interior de la célula (Berry 1989).

La documentación de la abundancia de isótopos estables en los procesos de fijación de CO<sub>2</sub> ha permitido describir los procesos fotosintéticos en los ambientes acuáticos, sobre todo en el océano. Lo anterior se puede correlacionar con las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y con la capacidad de amortiguación del sistema oceánico (Keller y Morel 1999). Esto es particularmente relevante en latitudes altas y se vincula con el cambio global y la incorporación de carbono al océano, debido a que en altas latitudes se forma agua de fondo y el carbono puede permanecer en el fondo oceánico hasta mil años.

---

---

El análisis de abundancias de  $\delta^{13}\text{C}$  se ha empleado para caracterizar el COP en el océano. En algunos estudios ha encontrado que el COP superficial es enriquecido cuando las latitudes son más bajas p.e. en el Golfo de México los valores fueron de  $\delta^{13}\text{C}$  -20.8 a -24.4 ‰, océano Atlántico a 47° S el valor superficial de COP fue de  $\delta^{13}\text{C}$  -24.6 ‰ y en el Océano Atlántico 57° S de  $\delta^{13}\text{C}$  -28.5 ‰ (Tabla 1). El enriquecimiento de carbono se asoció con los cambios en la concentración de  $\text{CO}_2$  (aq), así como a los cambios en la temperatura superficial, ambos factores afectan a los procesos del metabolismo fitoplanctónico (Kennedy y Robertson 1995; Dehairs et al. 1997).

Los modelos para verificar los cambios en la concentración de  $\text{CO}_2$  en agua de mar (p.e. Francois et al. 1993, Rau et al. 1996, Keller y Morel 1999), describen una correlación negativa entre el factor de fraccionamiento del isótopo estable de carbono trece y la concentración de  $\text{CO}_2$  en el ambiente acuático, es decir, los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  son negativos a medida que la concentración  $\text{CO}_2$  aumenta. Además de los mencionados, el fraccionamiento isotópico del carbono de origen fotoautotrófico está en función con otros procesos como son: la tasa de desarrollo de los organismos, la permeabilidad de la membrana, el área de la superficie celular y la relación entre captación activa y fijación de carbono inorgánico (Benthien et al. 2002). Se dice que un fraccionamiento menor (2 a 4 ‰) ocurre cuando se difunde a través de la membrana, sin embargo cuando es fijado por las enzimas correspondientes puede ser de hasta 25 ‰.

En otros estudios con isótopos estables para caracterizar COP, en altas latitudes, se reconoció como factores determinantes a la abundancia y la dominancia de especies de los organismos fijadores. Estos pueden hacer que las abundancias relativas de  $\delta^{13}\text{C}$  oscilen entre -24 y -34 ‰, dependiendo de la especie y de los organismos secundarios asociados a ellos (Fischer 1991).

Las diferencias observadas entre las estrategias que los organismos utilizan para fijar

---

---

carbono, pueden ser determinadas mediante marcadores moleculares p.e. lípidos, ácidos grasos (Matthews 1999). La enzima anhidrocarboxilasa transforma extracelularmente al bicarbonato en bióxido de carbono poniéndolo disponible al fitoplancton. El estudio de Matthews (1999) presenta el listado de las especies en las cuales se ha reconocido la presencia de la enzima anhidrocarboxilasa.

Por lo anterior es importante reconocer las transformaciones del COP a través de la columna de agua, mediante una técnica sensible como la de abundancias relativas de  $\delta^{13}\text{C}$  y así poder asociarlas con parámetros físicos, químicos y biológicos (procesos de descomposición y forrajeo en un ambiente de sedimentación).

### **3.3 TÉCNICAS DE MUESTREO EN EL ANÁLISIS DE COP**

Las técnicas de muestreo para caracterizar el COP, son variables y dependen de los objetivos del estudio. Comúnmente se emplean trampas de sedimento para evaluar la dinámica de las partículas (Wakeham y Canuel 1988), variaciones en la cantidad y calidad de COP asociadas a cambios temporales (Fischer 1991). También se emplean sistemas de filtración de grandes y pequeños volúmenes de agua para caracterizar variaciones en la calidad del COP, en función a cambios latitudinales (Dehairs et al. 1997), de profundidad (Boyd et al. 1999) gradientes de temperatura, profundidad y salinidad (Kennedy y Robertson 1995).

También se ha discutido la relevancia de filtrar volúmenes pequeños (un litro), y las posibles interferencias por carbono orgánico disuelto, ya que pueden afectar de manera significativa los resultados (Moran et al. 1999).

*Trampas de sedimento.* Estudios como el de Honjo (1980) sirvieron para evaluar el tamaño de las partículas, la composición química y mineralógica, y los constituyentes de las partículas mineralizadas. Los resultados con trampas establecen que el material que se deposita al fondo es producto de partículas con una tasa de sedimentación elevada y destaca el aporte de carbonatos (calcita), silicatos (carbón biogénico) y compuestos orgánicos.

---

---

## 4 HIPÓTESIS

Mediante la técnica de abundancias relativas de isótopos estables de carbono trece ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ), se pueden reconocer: el origen potencial del COP y los probables procesos de transformación del COP en la columna de agua desde la superficie hasta casi el fondo oceánico; la información del COP se puede complementar con fotografías para identificar las partículas dominantes, la recolección de parámetros ambientales servirá para reconocer la influencia de éstos parámetros sobre las  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  del COP y sobre las estructuras de mesoescala, así como su influencia en el tipo de partículas reconocidas.

## 5 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar el COP de la columna de agua proveniente de tres zonas con características topográficas diferentes del sector suroeste del Golfo de México mediante la  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ , apoyado en fotografías de MEB.

### 5.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Establecer las diferencias de origen entre el COP recolectado en las zonas de: la planicie abisal, talud continental y cañón de Campeche, utilizando  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  del COP. Para determinar las influencias ambientales determinadas principalmente por la topografía en el origen del COP.
- Establecer las diferencias de origen entre el COP recolectado en los diferentes niveles en la columna de agua, utilizando  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  del COP para determinar la influencia ambiental determinada por los cambios en la temperatura de la columna de agua.
- Identificar el COP dominante en muestras colectadas en los diferentes niveles de las localidades representativas para cada zona a través de fotografías obtenidas en el MEB.

- Correlacionar los parámetros físicos medidos como: La concentración de oxígeno disuelto, el peso del COP, la temperatura y salinidad con las abundancias de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en el COP, así como la influencia de estos con las características del COP.

## 6 ÁREA DE ESTUDIO

Para el estudio del COP se eligió el área que se localiza en el sector suroeste del Golfo de México entre las latitudes  $20^{\circ} 30' \text{ N}$  y  $23^{\circ} 35' \text{ N}$ , y las longitudes  $92^{\circ} \text{ W}$  y  $96^{\circ} 50' \text{ W}$ . El área de estudio comprende tres zonas con diferentes tirantes de agua o diferente topografía (planicie abisal, talud continental y cañón de Campeche) (Figura 1). Las tres zonas caracterizan, en su topografía, al sector suroeste del Golfo de México (Pica y Pineda 1991). En estas zonas se ha determinado abundancia, biomasa y riqueza de especies de infauna (Salas 2001; Díaz 2001).

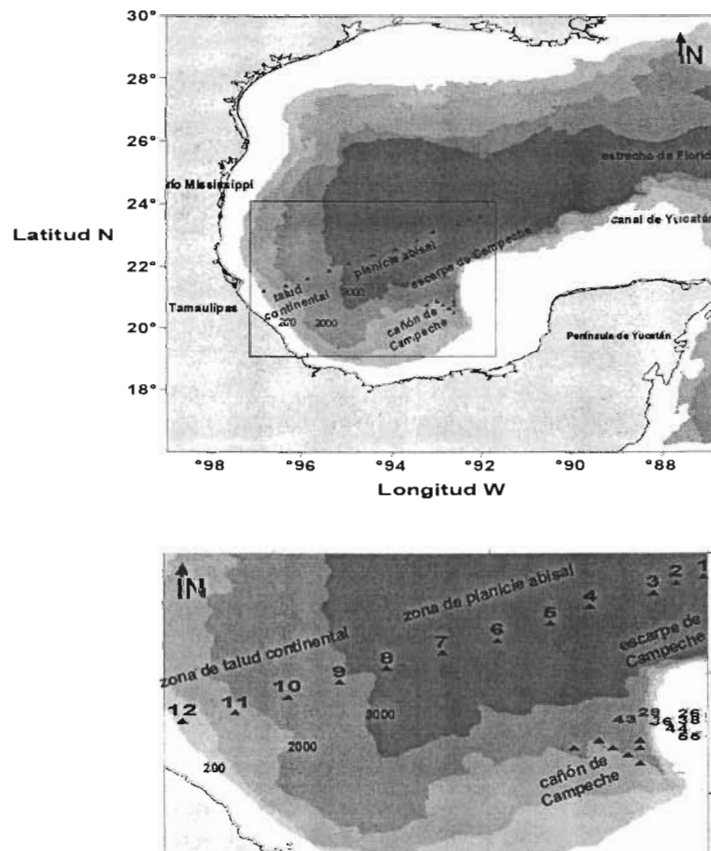


Figura 1. Área de estudio, el transecto de las localidades 1 a 12 se realizó durante la campaña Sigsbee 5. Las localidades que se ubican sobre la isóbata de los 2000m en el cañón de Campeche durante la campaña PROMEBIO 6.

---

En general el Golfo de México es considerado un sistema oligotrófico, con una mayor producción primaria asociada al periodo de frentes de invierno o “nortes” que se presentan de noviembre a mayo (Soto y Escobar 1995).

El sector suroeste tiene un clima tropical con temperaturas superficiales de 29 °C en verano y hasta de 23 °C en invierno (Aldeco 1988) y presenta una termoclina permanente (estratificación térmica). La estratificación térmica es alterada solamente por los frentes de invierno y por los giros, producto de las corrientes dominantes en la cuenca (Vidal et al. 1994).

Las masas de agua superficiales que penetran en el Golfo de México derivan principalmente de las corrientes Surecuatorial y Norecuatorial del océano Atlántico, las cuales pasan a través de las islas de las Antillas al mar Caribe y después por el canal de Yucatán. La mayor proporción de esta corriente se dirige al estrecho de Florida, otra parte menor va hacia la desembocadura del Mississippi y una tercera se mueve al sur hacia el Golfo de Campeche (Leipper 1970, Cooper et al. 1990).

En el Golfo de México se reconoce la existencia de varias masas de agua hacia el interior de la columna de agua (Nowlin 1972). La capa superficial, ocupa los primeros 150m, es considerada como la más afectada en sus características biológicas, físicas de circulación, por fenómenos climáticos (Salas-de-León et al. 2004).

La columna de agua se distingue por tres zonas: la capa de mezcla, la termoclina y la capa profunda. Las zonas se caracterizan por diferencias de temperatura que van de 23° en la superficie hasta 4 °C en agua de fondo.

Se ha reconocido que el máximo de salinidad se localiza por debajo de la zona de mezcla y es de 37.7ups. Antes de la isoterma de los 17 °C, con profundidades de hasta 250m, se presenta la capa conocida como agua Común del Golfo de México, ésta abarca el centro del Golfo, Banco de Campeche, oeste y noreste del Golfo, y es el resultado de la mezcla vertical de la masa de agua Subtropical Subsuperficial (Salas-de-León et al. 2004).



---

El agua Común del Golfo de México se caracteriza por tener una salinidad de 37.7ups y un bajo contenido de oxígeno de  $3.4\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (Nowlin 1971). Después de esta capa, la salinidad disminuye rápidamente formando lo que se conoce como haloclina. La salinidad disminuye hasta un mínimo de 34.8ups hacia los 750m de profundidad, a la masa de agua que se ubica entre estas profundidades se le reconoce como Agua Intermedia Antártica además se caracteriza por tener una temperatura de  $6.2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Nowlin y McLellan 1967). Por debajo de ésta última, a 1500m de profundidad se reconoce otra masa de agua denominada agua del Nor-Atlántico con una salinidad de 34.8ups y una temperatura de  $4.02\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Pequegnat 1983).

El ciclo anual de las descargas de los ríos al Golfo de México se caracteriza por tener una descarga escasa de febrero a mayo y una descarga mayor entre julio y septiembre (Yáñez y Day 1982). El sistema Grijalva – Usumacinta aporta la mayor descarga de agua de septiembre a noviembre, con valores máximos de  $2$  y  $10 \times 10^9 \text{ m}^3\cdot\text{mes}^{-1}$ , respectivamente (Czitrom et al. 1986).

El sector occidental durante la temporada de lluvias se produce una capa con salinidad baja (30ups) y temperaturas entre  $21$  y  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Estas condiciones pueden prevalecer hasta 100 km de la desembocadura de los ríos Soto la Marina, Grande y Pánuco (Escobar y Soto 1997).

La productividad primaria o clorofila tiende a concentrarse cerca de la costa sobre el borde continental y sobre la plataforma continental. En algunas zonas suelen presentarse frentes. Los frentes son ocasionados por diferencias en temperatura, salinidad o cambio en la topografía (Denman y Powell 1984). El sector suroeste se caracteriza por tres zonas topográficas diferentes, la planicie abisal, el talud continental y el cañón de Campeche.

La planicie abisal conocida como planicie de Sigsbee se clasifica como la séptima provincia, se caracteriza por tener las mayores profundidades del Golfo de México una de 3,735 m y otra de 3,741m, en estas profundidades se localizan montes e intrusiones de domos salinos con 200 a 300m de altura. La planicie abisal funciona como reservorio de sedimentos, principalmente de origen oceánico (Antoine 1972). En ésta zona se ubicaron ocho localidades

---

---

distribuidas en un transecto (localidades 1-8, de la campaña Sigsbee 5 del 5 al 8 de julio del 2002).

El talud continental es abrupto con profundidades que van desde los 300 m hasta los 2000 m, se caracteriza por la presencia de cordilleras (Czerna 1984). El sedimento del talud continental es de origen pelágico por la producción primaria y terrígeno por el aporte de los ríos Soto la Marina, Pánuco y Tuxpan. Ésta zona comprendió cuatro localidades distribuidas en el transecto frente a Tamaulipas (localidades 9-12, de la campaña Sigsbee 5 entre el 8 y 9 de julio de 2002).

El cañón de Campeche según Weaver (1950), es de origen tectónico y mide 125 km de largo por 30km de ancho en el centro. El cañón de Campeche tiene características topográficas peculiares, después de los 160m de profundidad la plataforma continental presenta un quiebre de más de 2000m hacia el fondo, en algunas zonas. En el cañón de Campeche se ha registrado la presencia de giros ciclónicos – anticiclónicos, en la época de verano (Salas-de-León et al. 2004). Los giros promueven el afloramiento de agua más profunda. El agua profunda lleva consigo nutrientes que favorecen la abundancia de diversos grupos del fitoplancton (productividad primaria). Ésta zona de estudio comprendió siete localidades distribuidas sobre la isóbata de los 2000m de profundidad (localidades 26, 29, 36, 43, 44, y 55, de la campaña oceanográfica PROMEBIO 6, del 15 al 18 de junio del 2002).

---

## 7 METODOLOGÍA

La estrategia empleada en éste estudio es para obtener más de 5mg de COP a través de filtrado de agua a profundidades discretas. La descripción se basa en el método descrito por Gundersen (1997) y el volumen elegido con base a las técnicas propuestas por Gordon y Sutcliffe (1974) y Grasshoff et al. (1999).

*Preparación de los filtros:* Previo a la campaña. Los filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F de 0.45  $\mu\text{m}$  y 47 mm de diámetro, en los cuales se hizo la recolecta, fueron precombustionados a 500°C, con el fin de eliminar cualquier residuo orgánico que pudo haberse adherido durante su manipulación. Después de haberse enfriado, se mantuvieron a peso constante y se pesaron en una balanza analítica Sartorius con una resolución de  $\pm 0.0005\text{g}$ . El peso inicial sirvió para saber la cantidad en g de material recolectado. Los filtros permanecieron por separado en cajas *Petri* estériles, manipulándolos con pinzas estériles.

### 7.1 MUESTREO

Las muestras fueron recolectadas durante las campañas PROMEBIO 6 (zona del cañón de Campeche) y Sigsbee 5 (zonas de talud continental y planicie abisal), realizadas del 11 al 29 de junio y del 3 al 10 de julio del 2002, respectivamente. Las Tablas 2 a, b y c muestran las posiciones de latitud y longitud para cada localidad de colecta, así como los parámetros que se midieron *in situ* y el peso de COP acumulado del filtrado de 4L de agua por muestra en las zonas de planicie abisal, talud continental y cañón de Campeche, respectivamente.

La estrategia de muestreo se basó en la ubicación de las localidades, en los registros continuos de temperatura y en la distribución de clorofila en la columna de agua. Los registros de temperatura se hicieron con la sonda CTD Delta Mark III C-24 WOOCE de General Oceanic en la columna de agua y los de clorofila con el perfilador natural de fluorescencia PNF-300 de Biospherical Instruments. El muestreo contempló seis niveles de recolecta en la columna de agua. Los niveles se denominaron como; i) capa de mezcla, ii) techo de termoclina, iii) máximo

---

de clorofila *a*, iv) piso de termoclina, v) debajo de la termoclina y vi) agua de fondo (Figura 2). Durante la campaña PROMEBIO 6, sólo se recolectaron muestras hasta el nivel v (debajo de la termoclina).

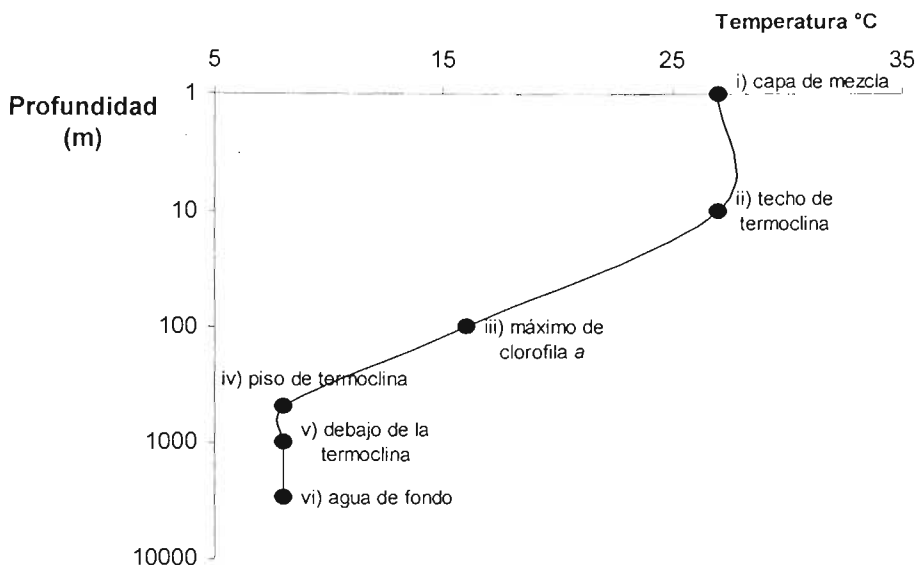


Figura 2. Modelo de zonación en columna de agua seguido para el muestreo de COP.

La recolecta del COP se realizó en cada nivel a la profundidad elegida con botellas Niskin de 10 litros montadas en la roseta en la sonda CTD. Una vez que la roseta y el CTD se encontraron en cubierta; las muestras para COP se obtuvieron posteriores al registro de oxígeno disuelto y de nutrientes. Para obtener el COP se utilizaron los filtros precombustionados Whatman GF/F, los cuales se montaron en un sistema manifold de tres vasos de 250 ml que opera con un sistema de vacío, y que tiene la capacidad de filtrar tres muestras de diferentes niveles simultáneamente. El volumen elegido fue de 4 L y se obtuvieron entre 21 y 33mg por muestra (Tabla 1).

Finalmente, el filtro con el material particulado recolectado, fue devuelto a su caja *Petri* y congelado a  $-20^{\circ}\text{C}$  envuelto en papel aluminio para evitar su exposición a la luz hasta su llegada al laboratorio en el cual se procesó para su análisis de contenido isotópico.

Adicionalmente, en cada nivel de profundidad, se hicieron registros de parámetros físicos (temperatura, salinidad) y químicos (oxígeno disuelto, pH) *in situ* y en laboratorio (clorofilas y nutrientes). En este estudio sólo se presentan los valores de peso, oxígeno disuelto y pH, además de temperatura y salinidad para PROMEBIO 6.

Tabla 2a. Posición geográfica, niveles de profundidad y parámetros determinados para cada muestra de la zona de planicie abisal en la porción central del Golfo de México. nd= no determinado.

Localidad y fecha	Latitud N	Longitud W	ID Filtro #	Nivel de Profundidad (m)	Volumen filtrado (L)	COP Peso (mg)	Oxígeno disuelto (mg.L <sup>-1</sup> )	pH a 25 °C
1 05/07/2002	23° 35' 01''	92° 02' 01''	EMG- 37	3500	4	24.9	4.6	6.57
			EMG- 38	1500	4	27.1	4.8	7.02
			EMG- 39	600	4	1.5	3.8	7.28
			EMG- 40	150	4	26.1	4.6	7.71
			EMG- 41	40	4	25.5	5.2	8.00
			EMG- 42	10	4	28.0	nd	Nd
2 05/07/2002	23° 30' 00''	92° 17' 00''	EMG- 48	3500	4	25.9	4.7	7.91
			EMG- 47	1500	4	23.8	5.1	7.77
			EMG- 46	700	4	27.8	3.0	7.65
			EMG- 45	180	4	26.7	3.2	7.86
			EMG- 44	40	4	28.6	4.5	8.08
			EMG- 43	10	4	29.9	3.4	7.96
3 06/07/2002	23° 20' 00''	92° 30' 00''	EMG- 54	3500	4	28.4	4.1	7.61
			EMG- 53	1500	4	27.8	4.1	7.61
			EMG- 52	600	4	27.1	3.0	7.53
			EMG- 51	150	4	24.0	3.4	7.91
			EMG- 50	40	4	30.5	4.0	8.10
			EMG- 49	10	4	29.6	4.0	8.08
4 06/07/2002	23° 06' 05''	96° 05' 00''	EMG- 55	3500	4	32.7	4.2	7.51
			EMG- 56	1500	4	25.0	4.2	7.41
			EMG- 57	600	4	28.1	2.5	7.36
			EMG- 58	150	4	24.1	3.0	7.85
			EMG- 59	70	4	28.4	4.0	7.98
			EMG- 60	40	4	28.0	3.4	8.01
5 07/07/2002	22° 50' 05''	93° 27' 00''	EMG- 66	3500	4	25.6	4.1	7.52
			EMG- 65	1500	4	24.9	4.8	7.64
			EMG- 64	600	4	26.7	2.6	7.60
			EMG- 63	150	4	26.0	4.8	7.97
			EMG- 62	70	4	26.6	4.1	8.05
			EMG- 61	10	4	28.8	4.2	8.09
6 07/07/2002	22° 33' 01''	93° 56' 00''	EMG- 72	3500	4	23.6	3.6	7.84
			EMG- 71	1500	4	24.2	3.4	7.72
			EMG- 70	600	4	24.7	4.0	7.67
			EMG- 69	180	4	22.1	3.0	7.98
			EMG- 68	60	4	24.8	5.2	8.09
			EMG- 67	40	4	28.3	4.4	8.09
7 07/07/2002	22° 22' 00''	94° 27' 00''	EMG- 73	3500	4	24.2	4.2	7.65
			EMG- 74	1500	4	26.2	4.2	7.65
			EMG- 75	600	4	6.9	3.1	7.73
			EMG- 76	180	4	27.1	3.5	7.69
			EMG- 77	100	4	27.0	4.0	8.03
			EMG- 78	40	4	23.3	3.6	8.11
8 08/07/2002	22° 05' 05''	94° 58' 30''	EMG- 79	3200	4	24.7	4.6	7.81
			EMG- 80	1500	4	23.5	4.4	7.71
			EMG- 81	600	4	24.0	3.2	7.67
			EMG- 82	180	4	27.7	2.8	7.93
			EMG- 83	100	4	28.3	4.4	8.03
			EMG- 84	40	4	31.5	4.0	8.09

Tabla 2b. Posición geográfica, niveles de profundidad y parámetros determinados para cada muestra de la zona de talud continental frente a Tamaulipas. nd = no determinado.

Estación	Latitud N	Longitud W	ID Filtro #	Nivel Profundidad (m)	Volumen filtrado (L)	COP Peso (mg)	Oxígeno disuelto (mg.L <sup>-1</sup> )	pH a 25 °C
9 08/07/2002	21° 51' 05"	95° 24' 35"	EMG- 85	2700	4	24.9	4.3	7.88
			EMG- 86	1500	4	22.6	4.4	7.84
			EMG- 87	600	4	26.2	3	7.78
			EMG- 88	150	4	29.2	3.8	7.94
			EMG- 89	70	4	21.5	Nd	Nd
			EMG- 90	40	4	27.6	Nd	Nd
10 08/07/2002	21° 36' 00"	95° 52' 30"	EMG- 91	2700	4	21.7	4.8	7.83
			EMG- 92	1500	4	23.3	4.2	7.66
			EMG- 93	600	4	22.7	3.2	7.68
			EMG- 94	200	4	22.6	1.9	7.76
			EMG- 95	70	4	28.1	3.4	8.03
			EMG- 96	30	4	26.1	3.4	8.12
11 08/07/2002	21° 21' 25"	96° 21' 31"	EMG- 97	1500	4	23.3	4.4	7.68
			EMG- 98	600	4	23.2	2.5	7.67
			EMG- 99	180	4	25.5	2.3	7.75
			EMG- 100	80	4	26.6	4.4	7.97
			EMG- 101	40	4	25.0	6.4	8.07
12 09/07/2002	21° 13' 27"	96° 49' 26"	EMG-102	500	4	24.5	3.2	7.84
			EMG-103	120	4	27.9	2.8	7.85
			EMG-104	60	4	-0.5	4.2	7.99
			EMG-105	25	4	26.8	4.2	8.09

Tabla 2c. Posición geográfica, niveles de profundidad y parámetros determinados para cada muestra de la zona de cañón de Campeche.

Estación	Latitud N	Longitud W	ID Filtro #	Nivel Profundidad. (m)	T°C	SAL.	Volumen filtrado (L)	PESO COP (mg)	Oxígeno disuelto (mg.L <sup>-1</sup> )	pH a 25°C
26 15/06/2002	20° 52' 28"	92° 37' 30"	EMG- 2	1000	5.14	34.81	4	30.5	10.9	8.03
			EMG-1	90	21.01	36.40	4	31.4	9.77	8.24
			EMG- 3	50	23.65	36.27	4	30.8	12.96	8.38
			EMG- 4	28	28.05	36.46	4	32.2	12.69	8.37
			EMG- 6	10	28.83	36.48	4	29.5	11.82	8.38
29 16/06/2002	20° 52' 30"	93° 00' 11"	EMG- 7	1000	5.15	34.82	4	31.2	10.93	8.06
			EMG- 8	190	15.65	35.89	4	30.0	8.12	8.11
			EMG- 9	90	21.56	36.36	4	30.6	9.99	8.25
			EMG- 10	30	28.52	36.56	4	31.1	12.55	8.34
			EMG- 11	10	29.31	36.65	4	28.4	11.79	8.34
36 16/06/2002	20° 44' 59"	92° 52' 38"	EMG- 12	1000	5.21	34.81	4	29.8	10.85	7.87
			EMG- 13	180	15.88	35.96	4	30.1	7.8	8.04
			EMG- 14	80	21.67	36.35	4	30.8	11.7	8.27
			EMG- 15	30	28.25	36.50	4	31.3	12.37	8.32
			EMG- 16	10	29.20	36.61	4	33.1	12	8.34
38 16/06/2002	20° 45' 01"	92° 37' 31"	EMG- 17	1000	5.22	34.81	4	31.6	10.64	7.76
			EMG- 18	100	16.25	36.01	4	31.5	9.31	8.12
			EMG- 19	70	21.21	36.41	4	33.0	10.48	8.26
			EMG- 20	30	27.76	36.26	4	32.0	11.8	8.32
			EMG- 21	10	28.97	36.50	4	32.9	11.77	8.36
43 17/06/2002	20° 45' 10"	93° 14' 35"	EMG-22	1000	5.25	34.81	4	30.4	10.67	7.94
			EMG-23	150	17.57	36.17	4	30.7	7.78	8.07
			EMG-24	70	21.90	36.28	4	31.9	11.48	8.29
			EMG-25	30	28.34	36.59	4	30.0	12.25	8.34
			EMG-26	10	29.17	36.54	4	28.2	11.65	8.36

Estación	Latitud N	Longitud W	ID Filtro #	Nivel Profundidad. (m)	T°C	SAL.	Volumen filtrado (L)	PESO COP (mg)	Oxígeno disuelto (mg.L <sup>-1</sup> )	pH a 25°C
44 17/06/2002	20° 37' 49''	92° 44' 27''	EMG- 27	1000	5.20	34.81	4	30.2	9.9	7.98
			EMG- 28	210	15.59	35.93	4	30.8	7.66	8.04
			EMG- 29	80	21.45	36.38	4	31.5	8.68	8.24
			EMG- 30	25	28.21	36.29	4	31.6	9.93	8.32
			EMG- 31	10	29.40	36.51	4	30.6	9.99	8.32
55 18/06/2002	20° 29' 55''	92° 37' 34''	EMG- 32	1000	5.10	34.82	4	32.1	6.89	8.08
			EMG- 33	150	17.72	36.21	4	29.5	7.62	8.2
			EMG- 34	80	21.34	36.39	4	31.6	7.9	8.28
			EMG- 35	30	27.97	36.50	4	12.3	10.81	8.35
			EMG- 36	10	29.50	36.37	4	34.1	11.17	8.38

## 7.2 PROCESADO DE LAS MUESTRAS PARA ISÓTOPOS ESTABLES

Las muestras para análisis isotópico se descongelaron y se acidularon con vapores de HCL 1N, dentro de un desecador por 48 horas, para eliminar carbono inorgánico, posteriormente se secaron en una estufa a 600 °C donde permanecieron durante 24 horas para alcanzar peso constante. Los filtros se pesaron nuevamente registrando el nuevo peso con respecto al peso inicial de la precombustión. Con ambos pesos se calculó la diferencia de peso correspondiente al COP, lo anterior se hizo para saber que proporción del filtro se procesaría para el análisis de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ . En promedio fue el equivalente a  $\frac{1}{4}$  de filtro con muestra.

### 7.2.1 ANÁLISIS DE ISÓTOPOS ESTABLES

La proporción de muestra en el filtro se colocó dentro de una cápsula de estaño, una vez encapsulada se comprimió para extraer el aire intersticial y así analizarla. El análisis se realizó en un sistema que consiste de un analizador elemental NA 2500 acoplado a un espectrómetro de masas de isótopos estables Finnigan Delta<sup>plus</sup> XL. El análisis se realizó en el laboratorio de Espectrometría de Masas de Isótopos Estables del Instituto de Geología, UNAM.

El patrón de referencia que se utilizó como referencia para el CO<sub>2</sub> fue NBS-19, referido a la calcita fósil de la formación Pee Dee Belemnita ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ) (Craig 1953), los resultados se expresaron en notación habitual como:

$$\delta^{13}\text{C} = \left[ \frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{muestra}}}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{patrón}}} - 1 \right] 1000 \quad (1)$$

(1) Notación científica para calcular la abundancia relativa de carbono trece con respecto a un patrón de referencia.

---

## 7.2.2 FOTOGRAFÍAS DE MEB

Las muestras fueron tomadas de cada uno de los filtros de las localidades representativas para cada zona, en la zona abisal la localidad 1, en la zona de talud continental la localidad 10 y en la zona del cañón de Campeche de las localidades 29, 38 y 44.

El fragmento de filtro de  $0.25 \text{ cm}^2$  se analizó revisando campos al MEB, JEOL modelo JSM-5419LV y las fotografías fueron tomadas en aquellos campos que permitieron reconocer los componentes dominantes de cada filtro. Las fotografías fueron tomadas en el laboratorio de Microscopía Electrónica del Instituto de Fisiología Celular, UNAM, bajo la supervisión del técnico Jorge Sepúlveda siguiendo la técnica descrita por Sánchez (1997). Las fotografías fueron tomadas de fragmentos de los filtros donde se colectó COP para análisis isotópico, por lo cual no se pudo utilizar, formaldehído o glutaraldehído y tetraóxido de osmio, para una mejor resolución en las fotografías.

Los filtros, por lo tanto, tuvieron el mismo tratamiento que se utilizó para el análisis isotópico, fueron descongelados a temperatura ambiente y secados en una estufa a  $60^\circ\text{C}$  durante 24 h.

El montaje de la muestra (fragmento de  $0.25 \text{ cm}^2$ ) consistió en pegar el fragmento de filtro, mediante cinta adhesiva de doble cara, a la superficie superior del dado porta-muestra. El dado es un cilindro pequeño hecho de metal inoxidable con una superficie útil de 1 cm de diámetro. Antes de hacer el montaje, el dado se pule con abrasivo y es lavado con cepillo y detergente y enjuagado con acetona. Después de esto, el dado se maneja sólo con pinzas.

El adhesivo además de fijar la muestra al dado, es conductor de la electricidad y transporta hacia el dado la carga que la muestra recibe del haz electrónico.

Para que el MEB pudiera tener una señal electrónica de la muestra, es necesario recubrir la muestra con una finísima cubierta de oro. Las muestras se colocaron alrededor de una placa de oro que se encuentra al centro de una campana de vidrio en la cual se hizo vacío con una bomba rotatoria. El grosor de la capa de recubrimiento depende de la cantidad de aire residual y

---



---

del tiempo de ionización. Para muestras biológicas es recomendable una cubierta de 50 a 70nm de espesor, en este caso se hizo durante cinco minutos, para obtener la resolución deseada.

Finalmente el dado se coloca dentro del porta-dados del MEB, el barrido se hizo en alto vacío tomando como referencia un vértice de la muestra hasta alcanzar el vértice del lado opuesto. Durante el barrido se enfocaron algunas estructuras, las cuales se guardaron como imágenes digitales de las partículas dominantes referidas en el filtro para ser editadas en una PC y describirlas.

Se elaboró una tabla descriptiva de las estructuras reconocidas en las localidades 1 de la zona de planicie abisal, 10 de la zona del talud continental, así como de las localidades 29, 38 y 44 de la zona del cañón de Campeche (Tabla 15). La identificación de las microalgas, dinoflagelados y cocolitofóridos, se realizó de manera comparativa con base en las descripciones e imágenes que se registran en: Winter y Siesser (1994), Tomas et al. (1996), Himdal (1997) y Moreno et al. (1996) para el Golfo de México, lo anterior fue debido a la experiencia limitada en este campo de estudio.

### **7.2.3 PRUEBAS ESTADÍSTICAS**

Los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP se agruparon primero por zona ( planicie abisal, talud continental y cañón de Campeche), obteniéndose los valores promedio, cuartiles, dispersión y su respectiva desviación estándar. Posteriormente se agruparon por localidad dentro de cada zona y se obtuvieron sus características descriptivas, así como el análisis de varianza (ANOVA) y la matriz de similitud (TUKEY). Finalmente, los valores fueron agrupados por estrato en la columna [i) capa de mezcla, ii) techo de termoclina, iii) máximo de clorofila a, iv) piso de termoclina, v) debajo de la termoclina y vi) agua de fondo] y para cada zona se obtuvieron los valores descriptivos, varianza y similitud.

Los análisis estadísticos permiten apreciar las desviaciones entre datos agrupados y la varianza entre cada grupo de valores (zona, localidades y nivel en la columna de agua), los

---

---

cuales se presentan de manera gráfica como círculo (valor promedio) y líneas hacia ambos lados del círculo (desviación estándar).

Los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  vs.  $[\text{O}_2]$  y peso, en este estudio, se correlacionaron de manera gráfica en las tres zonas. Pero sólo los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  vs. temperatura y salinidad, se consideraron en la zona del cañón de Campeche. El paquete estadístico que se empleo para el análisis de resultados fue el STATISTICA 6.0.

## 8 RESULTADOS DE ISÓTOPOS ESTABLES

### 8.2 DESCRIPCIÓN GENERAL

Los resultados de abundancias relativas de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en carbono orgánico particulado (COP) (Fig. 3), se presentan para los niveles en la masa de agua sobre las zonas: planicie abisal, talud continental y cañón de Campeche.

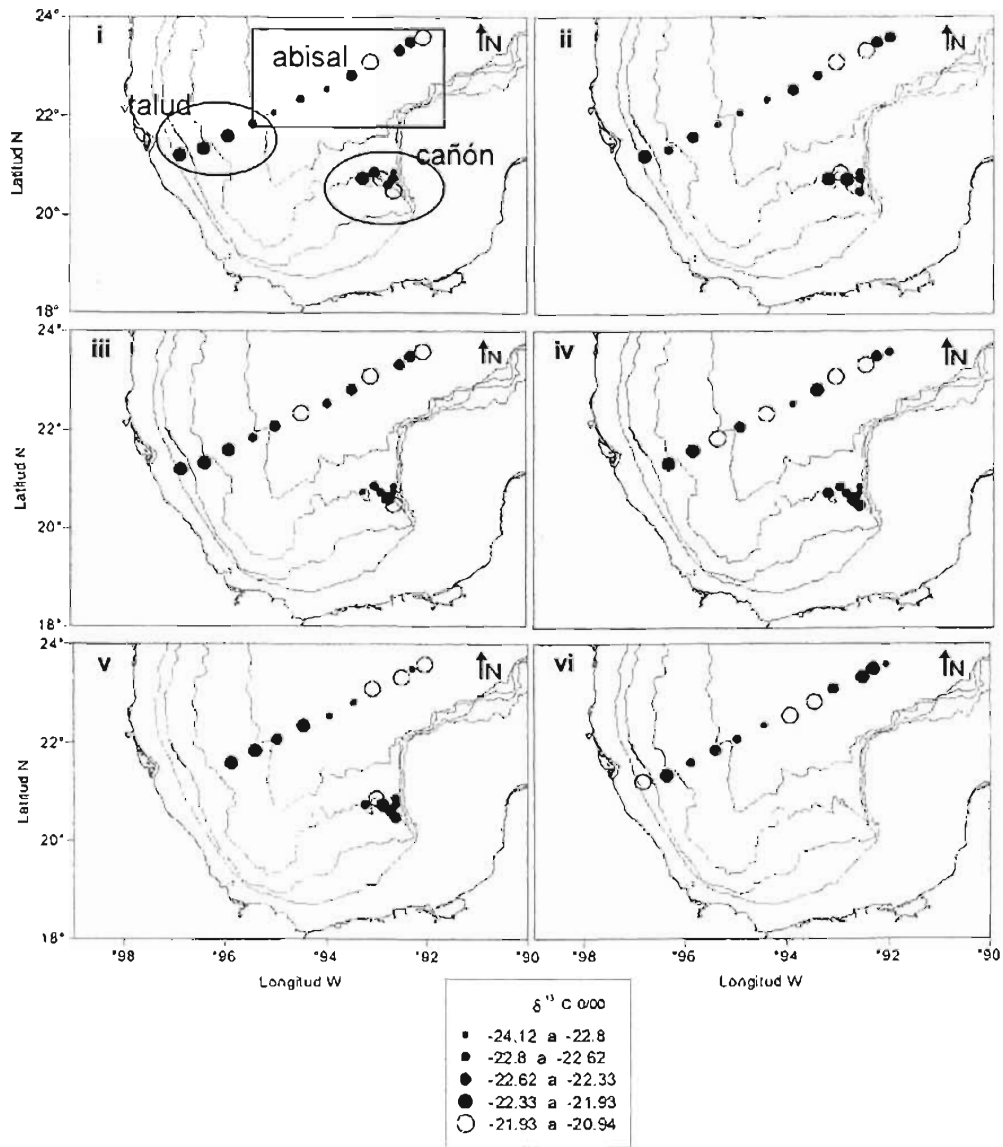


Figura 3. Distribución geográfica de los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP en los seis niveles de profundidad. Los intervalos de valores en el recuadro inferior representan el 20 % del total de los datos, i) capa de mezcla, ii) techo de termoclina, iii) máximo de clorofila a, iv) piso de termoclina, v) debajo de la termoclina y vi) agua de fondo.

En general los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP para las tres zonas, considerando todos los datos, son poco dispersos de  $-25.39$  a  $-20.95$  ‰ o de  $4.44$ ‰. En promedio tuvieron un valor de  $-22.9 \pm 0.9$ ‰. La distribución de los valores no fue homogénea, a excepción de la zona de talud continental en donde se aprecia menor dispersión de los datos, la mayoría de ellos se ubican dentro del intervalo de valores isotópicos de  $-22.61$  a  $-22.85$ ‰ y el promedio por debajo del resto ( $-22.75 \pm 0.5$ ‰). En la región del cañón de Campeche se aprecian valores más negativos, sobre todo en las localidades que se alejan de la costa ( $-24.30$  a  $-21.91$ ‰).

Las tres zonas, entre sí, no presentan diferencias significativas  $p = 0.05$  entre sus valores promedio y también entre el 50% de todos sus valores agrupados (Fig. 4).

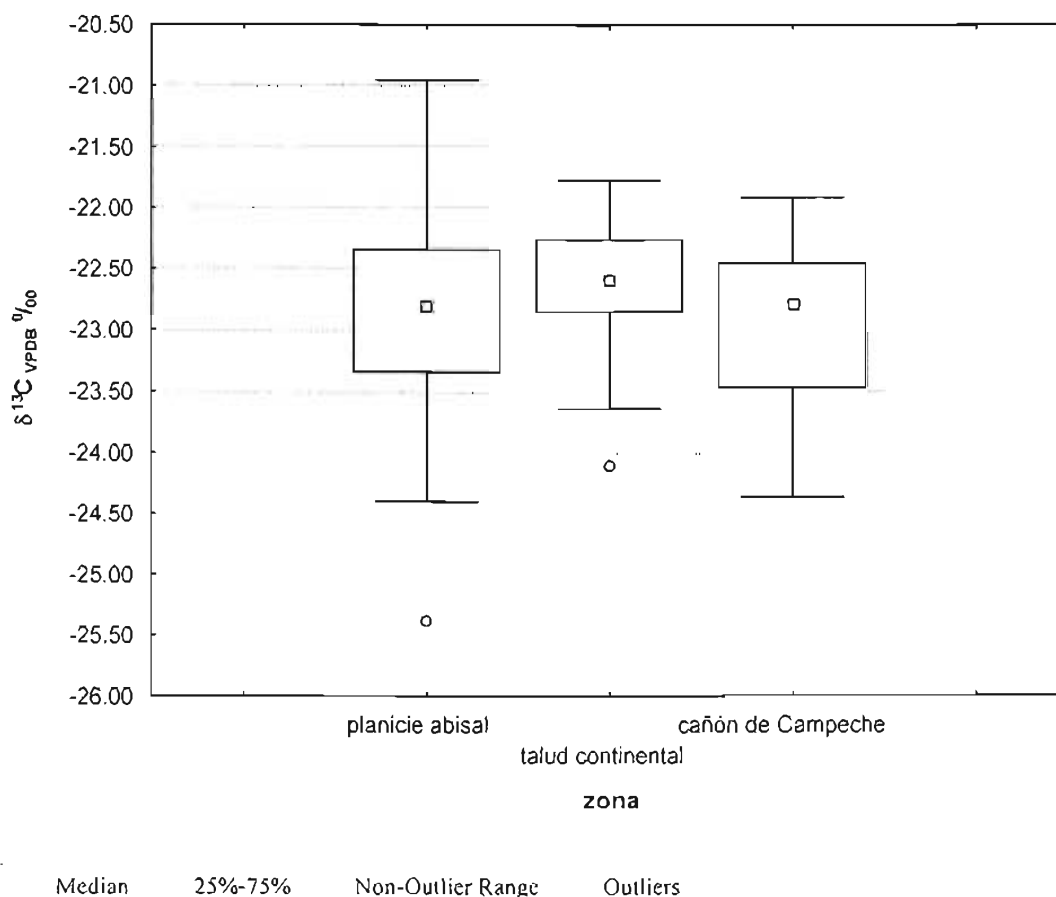


Figura 4. Descripción de los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  resultados agrupados por zona.  $n = 104$ .

## 8.2 PLANICIE ABISAL

Los resultados de abundancias isotópicas agrupados por localidad en la zona de planicie abisal, muestran promedios de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  entre  $-23.42$  y  $-22.31$  ‰. Como valores individuales el valor más empobrecido, de  $-25.39$  ‰, se ubicó en la localidad 7, cercana al talud, así mismo el valor más enriquecido de  $-20.95$  ‰ se ubicó en la localidad 1 que fue la más alejada de la costa. Las amplitudes, variancias y desviaciones estándar mayores se presentaron en las localidades antes mencionadas (Tabla 3). Los valores fueron más dispersos en ambos extremos del transecto.

Tabla 3. Contenido de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP, valores agrupados por estación en la planicie abisal.

Localidad	n	Media $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ‰	Intervalo		Amplitud ‰	Variancia	Desviación estándar
			Mínimo $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ‰	Máximo $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ‰			
1	6	-22.49	-24.40	-20.95	3.45	1.93	1.39
2	6	-23.11	-24.37	-22.37	2.00	0.49	0.70
3	6	-22.50	-23.25	-21.68	1.57	0.35	0.59
4	6	-22.31	-23.40	-21.62	1.78	0.40	0.63
5	6	-22.77	-23.45	-22.11	1.34	0.19	0.43
6	6	-23.37	-24.17	-22.46	1.71	0.43	0.66
7	6	-22.88	-25.39	-21.03	4.36	2.05	1.43
8	6	-23.42	-24.24	-22.75	1.49	0.25	0.50

El anova en datos agrupados por localidad para la planicie abisal, no fueron significativamente diferentes. Sin embargo, las localidades 4 y 8, casi no tienen relación. Otras localidades 1-3, 5-7 y 6-8, aparentan una mayor relación entre sí (Figura 5).

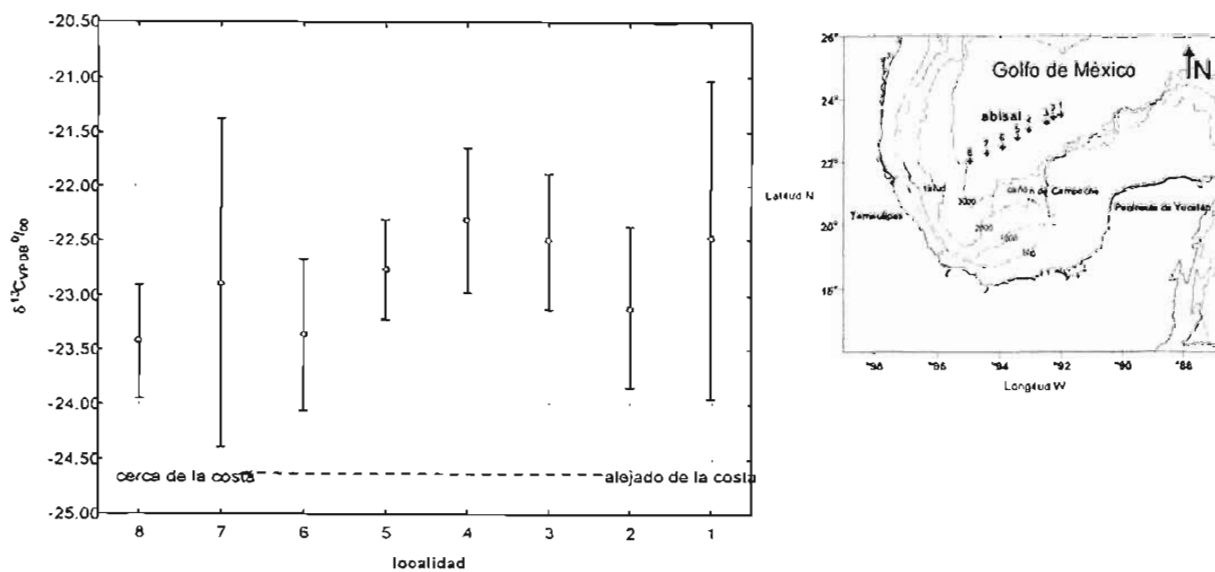


Figura 5. Variación de la composición del  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP de columna de agua, en valores agrupados por localidad en la zona abisal.  $n = 48$ ,  $F(7, 35) = 1.67$ ,  $p = 0.14$ , intervalo de confianza de 0.95.

La similitud entre localidades, se presenta en la matriz de correlación (Tabla 4), reconociendo que las localidades más alejadas de la costa fueron las más parecidas entre sí (1,3 y 4), éstas tuvieron una diferencia de más de un 50 % con la localidad 8. La principal diferencia de 75 %, se reconoció entre las localidades 4 y 8. La localidad 2, también alejada de la costa, presenta similitud de más de 65 % con las otras siete localidades.

Tabla 4. Matriz de correlación de probabilidades generada por la prueba de Tukey de la variable  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP, extraída del anova. Los números en negritas indican similitud entre **0.75-1.00**. Error entre MS = 0.62, df = 35.

Localidad	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}
	-22.49	-23.11	-22.50	-22.31	-22.77	-23.37	-22.88	-23.42 ‰
1		0.87	1.00	1.00	1.00	0.54	0.99	0.46
2			0.88	0.65	0.99	1.00	1.00	1.00
3				1.00	1.00	0.57	0.99	0.49
4					0.97	0.31	0.91	0.25
5						0.89	1.00	0.83
6							0.96	1.00
7								0.93

Los datos estratificados o agrupados por nivel de profundidad en la columna de agua de las localidades de la zona de planicie abisal, revelaron que los intervalos de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en el carbono orgánico presentaron una dispersión mayor tanto en la capa de mezcla como en el agua de fondo. Los valores en la capa de mezcla variaron de -23.66 a -20.95 ‰, y estuvieron más enriquecidos con respecto a los datos de agua de fondo, cuyos valores estuvieron entre -25.39 a -22.70 ‰. La amplitud de valores promedio entre la capa de mezcla y agua de fondo fue de 1.19‰ más negativos hacia el fondo (Tabla 5).

Tabla 5. Contenido de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP, valores agrupados por nivel en la columna de agua de todas las localidades de la zona abisal. i) capa de mezcla, ii) techo de termoclina, iii) máximo de clorofila *a*, iv) piso de termoclina, v) debajo de la termoclina y vi) agua de fondo.

Nivel en la columna de agua	n	Media $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ‰	Intervalo		Amplitud	Variancia	Desviación estándar
			Mínimo $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ‰	Máximo $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ‰			
i	8	-22.46	-23.66	-20.95	2.71	0.73	0.85
ii	8	-22.61	-23.40	-22.12	1.28	0.18	0.43
iii	8	-22.73	-23.79	-21.05	1.74	0.74	0.86
iv	8	-22.49	-23.78	-21.03	1.75	1.00	1.00
v	8	-23.17	-24.37	-22.33	2.04	0.60	0.78
vi	8	-23.65	-25.39	-22.70	2.69	0.88	0.94

El anova, permitió reconocer diferencias significativas ( $p = 0.03$ ) entre el COP de agua de fondo con respecto al COP de la capa de mezcla y el COP del piso de termoclina. Entre sí los valores isotópicos de COP en agua subyacente a la capa de mezcla hasta el piso de la termoclina son similares. La capa de mezcla presentó similitud mayor a 90 % con los niveles i, ii, iii y iv (Figura 6). El agua de fondo presentó el valor más empobrecido de  $-25.39 \text{ ‰}$ , el cual crea diferencias con el resto de los niveles.

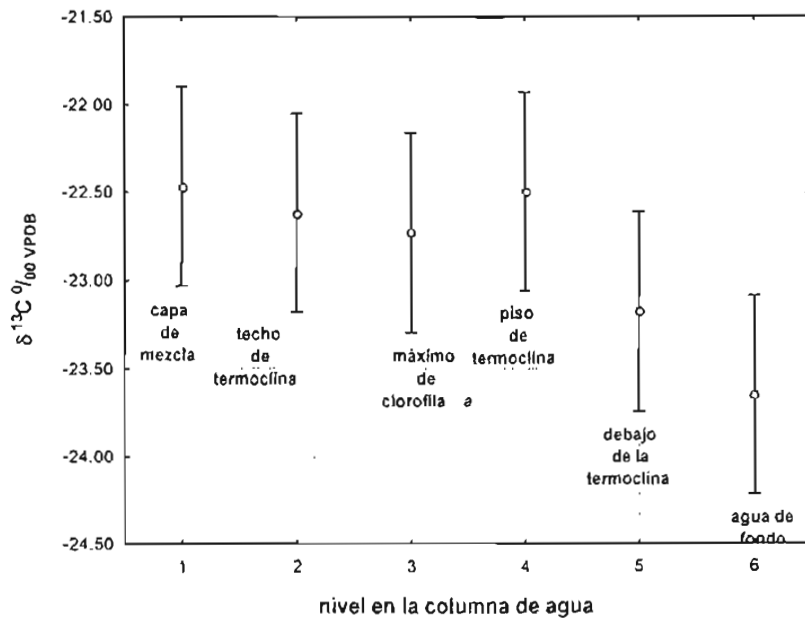


Figura 6. Variación de la composición del  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP de columna de agua, en valores agrupados por nivel de profundidad en la columna de agua en la zona abisal.  $n = 48$ ,  $F(5,35)=2.82$ ,  $p= 0.03$ , intervalo de confianza de 0.95.

La matriz de correlación muestra la similitud baja entre los valores isotópicos de las muestras de capa de mezcla y las de agua de fondo. Entre éstas, la similitud fue del 5 %. El COP del agua de fondo presentó similitudes de menos del 20 % con respecto a los valores de COP de otros niveles en la columna de agua a excepción de los valores de COP en el nivel debajo de la termoclina con el cual presentó similitud del 83 % (Tabla 6).



Tabla 6. Matriz de correlación de probabilidades generada por la prueba de Tukey de la variable  $\delta^{13}C_{VPDB}$  en COP, extraída del anova. Los números en negritas indican similitud entre 0.75-1.00; i) capa de mezcla, ii) techo de termoclina, iii) máximo de clorofila a, iv) piso de termoclina, v) debajo de la termoclina y vi) agua de fondo.

nivel en columna de agua	{i}	{ii}	{iii}	{iv}	{v}	{vi}
	-22.46	-22.62	-22.73	-22.49	-23.18	-23.65 ‰
i		<b>0.99</b>	<b>0.98</b>	<b>1.00</b>	0.47	0.05
ii			<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	0.71	0.12
iii				<b>0.99</b>	<b>0.86</b>	0.20
iv					0.52	0.06
v						<b>0.83</b>
vi						

### 8.3 TALUD CONTINENTAL

Los datos de  $\delta^{13}C_{VPDB}$  en COP de todos los niveles de profundidad en la columna de agua, agrupados por localidad en la zona de talud continental, muestran un promedio de  $-22.67 \pm 0.55$  ‰. Como valores individuales, el valor más empobrecido, de  $-24.11$  ‰, se ubicó en la localidad 10. De los resultados se aprecia que en los promedios hay un ligero empobrecimiento de  $0.93$  ‰, el cual va de la costa (localidad 12) hacia el océano (localidad 9). Sin embargo, el valor más enriquecido  $-21.77$  ‰ se encontró así mismo en la localidad 9, más alejada de la costa. Los datos entre sí muestran una variancia reducida. La amplitud de los valores de COP es menor o igual a  $2$  ‰ en cada localidad (Tabla 7).

Tabla 7. Contenido de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP, valores agrupados por localidad en el talud continental frente a Tamaulipas.

Localidad	n	Media $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}} \text{‰}$	Intervalo		Amplitud $\text{‰}$	Variancia	Desviación Estándar
			Mínimo $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}} \text{‰}$	Máximo $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}} \text{‰}$			
9	6	-22.85	-23.64	-21.77	1.87	0.40	0.63
10	6	-22.74	-24.11	-22.20	1.91	0.52	0.72
11	5	-22.61	-23.35	-22.18	1.17	0.22	0.46
12	4	-22.39	-22.71	-22.12	0.59	0.06	0.24

La varianza entre datos de las localidades sobre la zona de talud continental no es significativa,  $p = 0.21$ . Las principales diferencias se aprecian entre las localidades 9 y 12. Éstas localidades presentaron la menor y la mayor desviaciones respectivamente (Figura 7). Los valores, en promedio, tienden a ser más empobrecidos en las localidades cercanas a la costa.

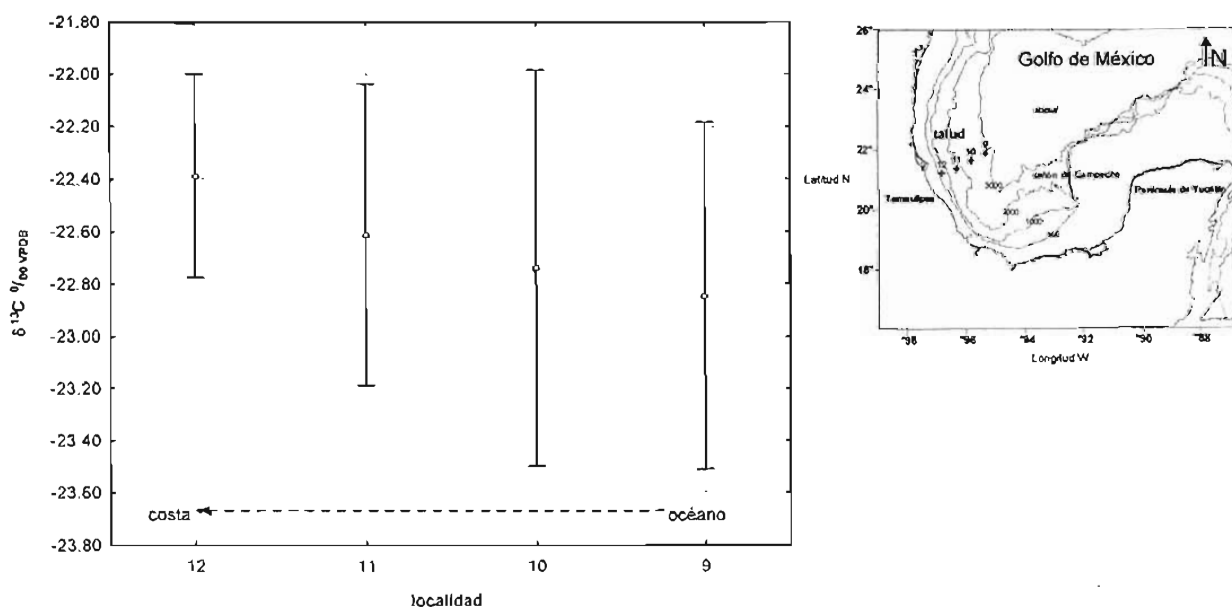


Figura 7. Variación de la composición del  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP de columna de agua, en valores agrupados por localidad en la zona de talud continental.  $n = 21$ ,  $F(3, 12) = 1.71$ ,  $p = 0.21$ , intervalo de confianza de 0.95.

La matriz de correlación entre localidades de la zona de talud continental muestra que la similitud entre 9 -10 y 10 -11 fue de más del 95%. Las estaciones menos parecidas entre sí fueron la 9 con la 12 (Tabla 8).

Tabla 8. Matriz de correlación de probabilidades generada por la prueba de Tukey de la variable  $\delta^{13}C_{VPDB}$  en COP, extraída del anova. Los números en negritas indican similitud entre 0.75-1.00. Error entre MS = 0.17, df = 12.

Localidad	{9}	{10}	{11}	{12}
	-22.85	-22.74	-22.61	-22.39‰
9		<b>0.97</b>	<b>0.79</b>	0.36
10			<b>0.96</b>	0.58
11				<b>0.85</b>
12				

Las valores de  $\delta^{13}C_{VPDB}$  ‰ en COP de la columna de agua sobre la zona del talud continental, agrupadas por nivel en la columna de agua, muestran que en promedio el COP en agua de fondo tuvo un empobrecimiento de 1 ‰ con respecto a los niveles más someros, a excepción del nivel v debajo de la termoclina, con el cual presentó valores más negativos hasta en 0.5 ‰. El agua de fondo también presentó la mayor amplitud, variancia y desviación (Tabla 9).

Tabla 9. Contenido de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP, valores agrupados por nivel en la columna de agua en la zona de talud continental. i) capa de mezcla, ii) techo de termoclina, iii) máximo de clorofila *a*, iv) piso de termoclina, v) debajo de la termoclina y vi) agua de fondo.

Nivel en la columna de agua	n	Media $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ‰	Intervalo		Amplitud ‰	Variancia	Desviación estándar
			Mínimo $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ‰	Máximo $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ‰			
i	4	-22.38	-22.74	-22.20	0.54	0.05	0.24
ii	4	-22.60	-22.85	-22.39	0.46	0.04	0.20
iii	4	-22.77	-23.29	-22.50	0.79	0.12	0.36
iv	3	-22.05	-22.21	-21.77	0.44	0.06	0.25
v	2	-22.86	-22.93	-22.79	0.14	0.01	0.10
vi	4	-23.31	-24.11	-22.12	1.99	0.72	0.85

El anova evidenció diferencias significativas ( $p = 0.02$ ) entre el COP de los diferentes niveles y el COP del agua de fondo. La varianza de los valores  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  de COP se reconoció entre los niveles de piso de termoclina y agua de fondo. En general, los datos presentan desviaciones estándar pequeñas y dos tendencias. La primera va en valores de COP menos negativos de la capa de mezcla hacia el máximo de clorofila *a* y la segunda, más marcada, va de los valores de COP en agua del piso de termoclina hacia los valores del COP en agua de fondo (Figura 8).

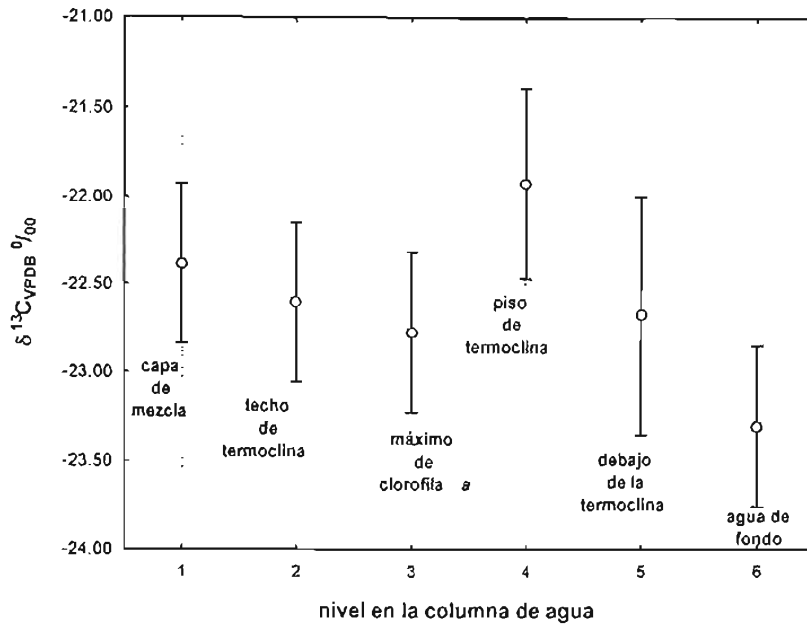


Figura 8. Variación de la composición del  $\delta^{13}C_{VPDB}$  en COP de columna de agua, en valores agrupados por nivel de profundidad en la columna de agua en la zona de talud continental.  $n = 21$ ,  $F(5, 12) = 4.08$ ,  $p = 0.021$ , intervalo de confianza de 0.95.

La matriz de correlación entre los niveles sobre la zona de talud continental revela una similitud del 2 % entre el COP del agua de fondo y el COP del agua de piso de termoclina. También una similitud un poco mayor de 7 % entre el COP de agua de la capa de mezcla y de COP del agua de fondo. El COP del agua de fondo presentó similitud importante (81 %) sólo con el COP del agua recolectada en el nivel de piso de termoclina (Tabla 10).

Tabla 10. Matriz de correlación de probabilidades generada por la prueba de Tukey de la variable  $\delta^{13}C_{VPDB}$  en COP, extraída del anova. Los números en negritas indican similitud entre **0.75-1.00**; i) capa de mezcla, ii) techo de termoclina, iii) máximo de clorofila a, iv) piso de termoclina, v) debajo de la termoclina y vi) agua de fondo.

nivel en columna de agua	{i}	{ii}	{iii}	{iv}	{v}	{vi}
	-22.38	-22.60	-22.77	-22.05	-22.86	-23.31‰
i		<b>0.97</b>	<b>0.77</b>	<b>0.90</b>	<b>0.77</b>	0.07
ii			<b>0.99</b>	0.54	<b>0.98</b>	0.24
iii				0.28	<b>1.00</b>	0.50
iv					0.34	0.02
v						<b>0.81</b>

### 8.3 CAÑÓN DE CAMPECHE

En la zona del cañón de Campeche, las localidades 26 y 38 geográficamente cercanas entre sí y con el escarpe de Campeche (Figura 1), presentaron en promedio, los valores más empobrecidos de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP. Los valores de COP de esas mismas localidades tuvieron amplitud, variancia y desviación estándar, también similares. Por el contrario, las localidades 44 y 55, ubicadas hacia el sur del cañón y cercanas a la plataforma continental del Golfo de Campeche, presentaron valores enriquecidos e intervalos más estrechos por lo cual sus variancias y desviaciones estándar fueron menores (Tabla 11). Los valores de ésta zona fueron ligeramente empobrecidos, sobre todo los que se ubicaron cerca del escarpe de Campeche, localidad 26.

Tabla 11. Contenido de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP, valores agrupados por estación en la zona del cañón de Campeche.

Estación	N	Media $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ‰	Intervalo		Amplitud ‰	Variancia	Desviación estándar
			Mínimo $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ‰	Máximo $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ‰			
26	5	-23.77	-24.36	-22.81	1.55	0.45	0.67
29	5	-22.90	-24.12	-22.15	1.97	0.62	0.79
36	5	-22.88	-24.02	-21.91	2.11	0.73	0.85
38	5	-23.49	-24.32	-22.68	1.64	0.58	0.76
43	5	-23.06	-24.30	-21.99	2.31	0.79	0.89
44	5	-22.51	-23.00	-21.93	1.07	0.22	0.47
55	5	-22.53	-23.10	-21.93	1.17	0.25	0.50

Los resultados del anova en datos de las localidades sobre la región del cañón, permitieron reconocer la presencia de diferencias significativas ( $p = 0.01$ ). Las diferencias entre los valores de COP fueron principalmente, entre la localidad 26, ubicada hacia el escarpe de Campeche, y el resto a excepción de la localidad 38, con la cual tiene una menor diferencia de

apenas 2 %. La presentación gráfica de varianza, permite ver la estrecha relación entre las localidades 29 y 36, de la misma forma entre las localidades 44 y 55 (Figura 9).

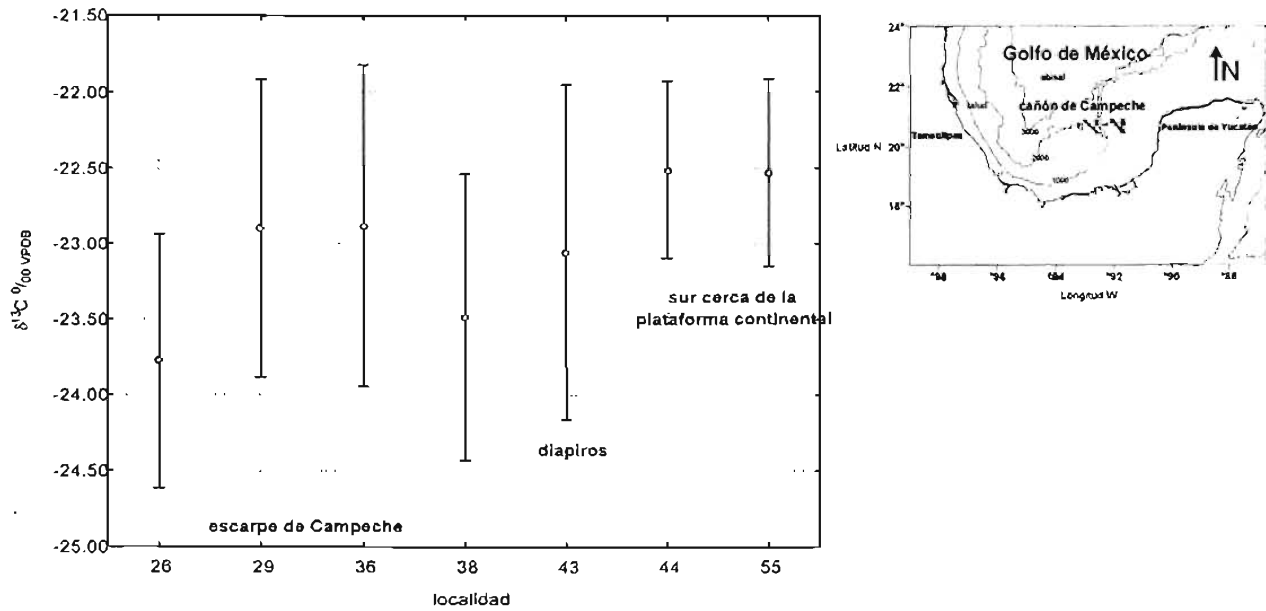


Figura 9. Variación de la composición del  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP de columna de agua, en valores agrupados por localidad en la región del cañón de Campeche.  $n = 35$ ,  $F(6, 24) = 3.63$ ,  $p = 0.01$ , intervalo de confianza de 0.95.

La matriz de correlación derivada de anova (Tabla 12), reconoció diferencias significativas ( $p = 0.02$ ). Las diferencias son de la localidad 26 con las localidades 44 y 55. Estas últimas, prácticamente son iguales entre sí. Diferencias se aprecian también entre la localidad 26 y las localidades 29 y 36, entre las cuales también se observa similitud entre sí.

Tabla 12. Matriz de correlación de probabilidades generada por la prueba de Tukey de la variable  $\delta^{13}C_{VPDB}$  en COP, extraída del anova. Los números en negritas indican similitud entre **0.75-1.00**. Error entre MS = 0.30, df = 24.

estación	{26}	{29}	{36}	{38}	{43}	{44}	{55}
	-23.77	-22.90	-22.88	-23.49	-23.06	-22.51	-22.53‰
26		0.20	0.18	<b>0.98</b>	0.41	0.02	0.02
29			<b>1.00</b>	0.63	<b>1.00</b>	<b>0.91</b>	<b>0.93</b>
36				0.60	<b>1.00</b>	<b>0.93</b>	<b>0.95</b>
38					<b>0.87</b>	0.12	0.13
43						0.70	0.73
44							<b>1.00</b>
55							

Los resultados del análisis descriptivo de los valores  $\delta^{13}C_{VPDB}$  de COP por nivel en la columna de agua, permitieron reconocer que entre el COP en la capa de mezcla y el COP en el piso de termoclina se presentaron los intervalos más amplios (de hasta 2.43 ‰). Los valores de COP empobrecidos (-24.32 ‰) se reconocen en el máximo de clorofila a y los enriquecidos (-21.93 ‰) se observan hacia el piso de termoclina. En este último se registra el intervalo con mayor amplitud (-22.81 a -22.09 ‰). En el techo de termoclina y por debajo de la termoclina, las amplitudes son menores a 1 ‰ (Tabla 13).



Tabla 13. Contenido de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP, valores agrupados por nivel en la columna de agua en la zona del cañón de Campeche. i) capa de mezcla, ii) techo de termoclina, iii) máximo de clorofila a, iv) piso de termoclina, v) debajo de la termoclina y vi) agua de fondo.

Nivel en la columna de agua	n	Media $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ‰	Intervalo		Amplitud ‰	Variancia	Desviación Estándar
			Mínimo $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ‰	Máximo $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ‰			
i	7	-22.56	-24.12	-21.91	2.21	0.61	0.78
ii	7	-22.48	-22.81	-22.09	0.72	0.09	0.30
iii	7	-23.70	-24.32	-22.09	2.23	0.79	0.89
iv	7	-23.30	-24.36	-21.93	2.43	0.70	0.84
vi	7	-23.06	-23.43	-22.51	0.92	0.13	0.36

El anova para la región del cañón de Campeche, permitió apreciar que los valores de COP en la superficie (la capa de mezcla y el techo de termoclina) son muy similares entre sí, los de capa de mezcla incluyen a los de techo de termoclina cuyo intervalo es menos amplio. Los valores son enriquecidos y con diferencias significativas ( $p = 0.01$ ) con respecto a COP de agua de máximo de clorofila a. A partir del máximo de clorofila a se aprecia un enriquecimiento hacia las capas de mayor profundidad, piso de termoclina y debajo de la termoclina 0.6 ‰ mayores, con valores promedio de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}} = -23.70, -23.30$  y  $-23.06$  ‰, respectivamente (Figura 10).

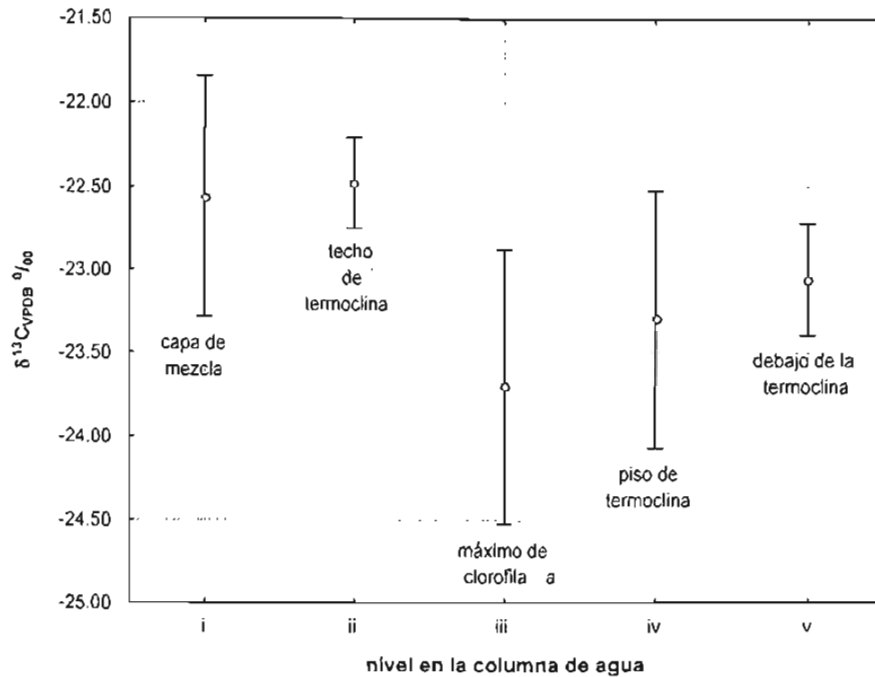


Figura 10. Variación de la composición del  $\delta^{13}C_{VPDB}$  en COP de columna de agua, en valores agrupados por nivel de profundidad en la columna de agua en la zona de cañón de Campeche.  $n = 35$ ,  $F(6, 30) = 3.63$ ,  $p = 0.01$ , intervalo de confianza de 0.95.

La matriz de correlación para esta región (Tabla 14), generada de los datos de anova, reveló diferencias significativas ( $p = 0.01$ ) de más del 95 % de los valores de COP de los niveles de capa la de mezcla y techo de termoclina, con los valores de COP del máximo de clorofila a. Así como mayor similitud entre capa de mezcla y techo de termoclina. La similitud entre valores de COP de los niveles de piso de termoclina y COP de agua de fondo es mayor al 95 %.

Tabla 14. Matriz de correlación de probabilidades generada por la prueba de Tukey de la variable  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP, extraída del anova. Los números en negritas indican similitud entre **0.75-1.00**. i) capa de mezcla, ii) techo de termoclina, iii) máximo de clorofila a, iv) piso de termoclina, v) debajo de la termoclina y vi) agua de fondo.

nivel en columna de agua	{i}	{ii}	{iii}	{iv}	{v}
	-22.38	-22.60	-22.77	-22.05	-22.86%
i		<b>0.99</b>	0.03	0.28	0.65
ii			0.01	0.19	0.51
iii				<b>0.79</b>	0.41
iv					<b>0.96</b>
v					

---

## 9 RESULTADOS DE FOTOGRAFÍAS DE MEB

Las partículas amorfas y agregados se observaron en un número elevado de los filtros de la planicie abisal y del talud continental, el tamaño de las partículas oscila entre 2 y 30  $\mu\text{m}$ . Las partículas que fueron menos diversas en la planicie abisal y talud continental. La zona de cañón de Campeche presentó mayor diversidad y se pudo reconocer una amplia variedad de diatomeas tanto radiales como penadas.

Las diatomeas reconocidas son diferentes las zonas de talud continental y cañón de Campeche. Así mismo, hubo diferencias entre la composición de diatomeas entre localidades de la zona del cañón de Campeche.

### 9.1 PLANICIE ABISAL

La zona de planicie abisal tuvo predominantemente la presencia de coccolitofóridos en la superficie, desde el nivel de capa de mezcla hasta el nivel de piso de termoclina. En el nivel de máximo de clorofila *a* se identificaron diatomeas y dinoflagelados. La descripción se detalla por nivel en la columna de agua en la Tabla 15.

### 9.2 TALUD CONTINENTAL

En la zona de talud continental se reconoció una mezcla de diferentes géneros de dinoflagelados, diatomeas penadas y radiales de entre 20 y 50  $\mu\text{m}$ . La mezcla de componentes del fitoplancton se reconoció en los niveles de capa de mezcla y techo de termoclina. El nivel de máximo de clorofila *a* presentó diatomeas radiales de 15  $\mu\text{m}$ . de las cuales destacan los géneros *Thalassiosira* y *Chaetoceros*. En el nivel de agua de fondo sólo se reconocieron restos de diatomeas penadas de 45  $\mu\text{m}$  (Tabla 15).

---

### 9.3 CAÑÓN DE CAMPECHE

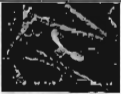

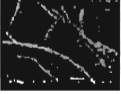
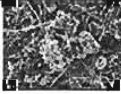
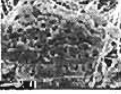
La zona del cañón de Campeche presentó tres localidades con diferencias en la composición del COP.

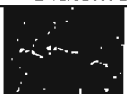










En la localidad 29, la más alejada de la costa, se reconocieron en todos sus niveles diatomeas de los géneros *Nitzschia* de 15  $\mu\text{m}$  y *Thalassiosira* de 20  $\mu\text{m}$ . En el nivel de máximo de clorofila *a* se reconocieron diversos géneros de diatomeas y dinoflagelados de 10 a 25  $\mu\text{m}$ . Por debajo de la termoclina y hasta el agua de fondo sólo se reconoció la presencia de la diatomea *Nitzschia* de entre 15 y 20  $\mu\text{m}$  (Tabla 15).







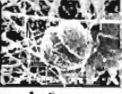

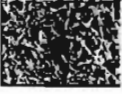



La localidad 38, cercana al escarpe de Campeche y hacia el norte de esta zona de estudio, en el nivel de capa de mezcla se mostró mayor proporción de dinoflagelados del género *Oxytoxum* y también se reconocieron algunos géneros de diatomeas radiales de hasta 60 $\mu\text{m}$  de diámetro. En el nivel de máximo de clorofila *a* predominaron las diatomeas del género *Thalassiosira* y algunos quistes de dinoflagelado de 10 $\mu\text{m}$ . En el piso de la termoclina y después de éste y hacia el fondo predominaron las diatomeas del mismo género y tamaño (Tabla 15).

La localidad 44, cercana a la plataforma continental hacia el sur del área de estudio, presentó dos tipos de distribución de fitoplancton. El primero en la superficie, presentó predominantemente dinoflagelados y después del nivel de máximo de clorofila *a* y hacia el fondo, estuvo dominado el COP por diatomeas radiales de tres géneros *Nitzschia*, *Thalassiosira* y *Coscinodiscus* (Tabla 15).

Tabla 15. Componentes del COP reconocidos en fragmentos de filtros. Las X representan la frecuencia en que se encontró cada especie. i) capa de mezcla, ii) techo de termoclina, iii) máximo de clorofila a, iv) piso de termoclina, v) debajo de la termoclina y vi) agua de fondo. X = poco frecuente, XX = medianamente frecuente, XXX = muy frecuente.

Componentes de COP	nivel	Planicie abisal						Talud continental						Cañon de Campeche					
		i	ii	iii	iv	v	vi	i	ii	iii	iv	v	vi	i	ii	iii	iv	v	vi
1. Cocolitos																			
 <i>Umbellosphaera sp</i> Paasche 1955					X														
 <i>Emiliana sp</i> Lohman		X			X														
				X															
				X															
 <i>Syracosphaera</i> Lohmann 1902			X	X															

Componentes del COP	Nivel	Planicie abisal						Talud continental						Cañon de Campeche							
		i	ii	iii	iv	v	vi	i	ii	iii	iv	v	vi	i	ii	iii	iv	v	vi		
 <i>Chaetoceros pseudocurvicetus</i> Mangin								x	x	x	x								x		
 <i>Bacteriastrum</i> Shadbolt 1854								x	x	x											
 <i>Nitzschia</i> Hasle					x										x	x	x	x	x		
 <i>Haslea gigantea</i> Hustedt				x														x			
 <i>Thalassiosira</i> sp. Cleve				x						x											
 <i>Nitzschia bicapitata</i> Cleve																	x				
 <i>Diploneis bombus</i>															x			x	x		
 <i>Lauderia annulata</i> Cleve																	x	x			
 <i>Thalassiosira</i> sp. Cleve 1973										x									x		
 <i>Pseudo-nitzschia</i> sp. Hasle																	x				
 <i>Thalassiosira</i> Cleve 1973															x	x	x	x	x		

Componentes del COP	Nivel	Planicie abisal						Talud continental						Cañon de Campeche					
		i	ii	iii	iv	v	vi	i	ii	iii	iv	v	vi	i	ii	iii	iv	v	vi
 <i>Prorocentrum minimum</i> (Pavillard) Schiller 1933		X	X																
		X	X																
 <i>Oxytoxum sp.</i> Stein 1883							X						X						
 <i>Gonyaulax sp.</i> Diesing 1866								X					X	X	X				
 <i>Ceratium furca</i> (Ehrenberg) Claparède & Lachmann													X						
 quistes														X	X	X			
 quistes														X	X	X			
 quistes														X	X	X			
4. material amorfo y otras estructuras																			
						X							X					X	
							X						X						
						X													
						X	X						X					X	



## 10 CORRELACION DE $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ EN COP CON PARÁMETROS

La correlación de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP se hizo con los parámetros oxígeno disuelto y peso total de la muestra de COP en las tres zonas, planicie abisal, talud continental y cañón de Campeche. Además se hizo la correlación entre  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP con temperatura y salinidad para la zona del cañón de Campeche (datos que se reportan en este estudio).

### 10.1 PLANICIE ABISAL

La correlación entre  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  de COP y oxígeno disuelto de agua, medidos para cada muestra, indican una relación negativa ( $r = -0.1369$ ). Los valores de significación ( $p = 0.3587$ ) son altos por lo tanto no existe relación de confianza entre estas variables ya que la gran mayoría de los valores se encuentran dispersos y fuera del intervalo de confianza establecido (Figura 11).

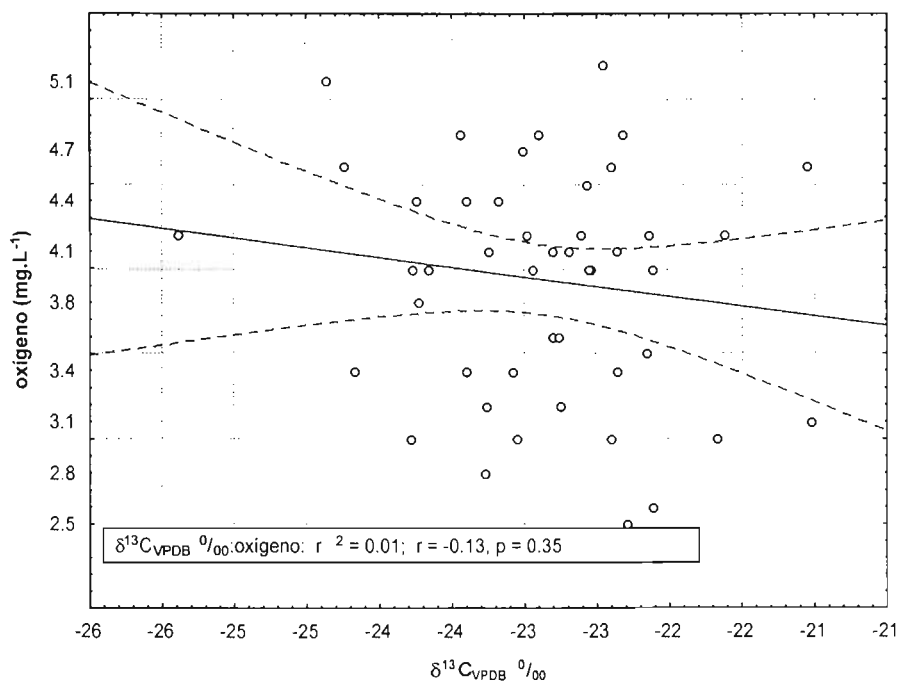


Figura 11. Gráfico de correlación entre las variables  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP y oxígeno disuelto de muestras de la zona de planicie abisal. Las líneas interrumpidas denotan el 95% de nivel de confianza, la línea sólida denota la tendencia de los valores,  $r$  = correlación,  $p$  = significación.

La correlación entre  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP y peso total de cada muestra en esta zona es positiva y de un menor valor que la anterior ( $r = 0.0948$ ), sin embargo el valor de “p” es mayor al 0.5 y el porcentaje de valores se dispersó fuera del intervalo de confianza, por lo tanto no se aprecia correlación (Figura 12).

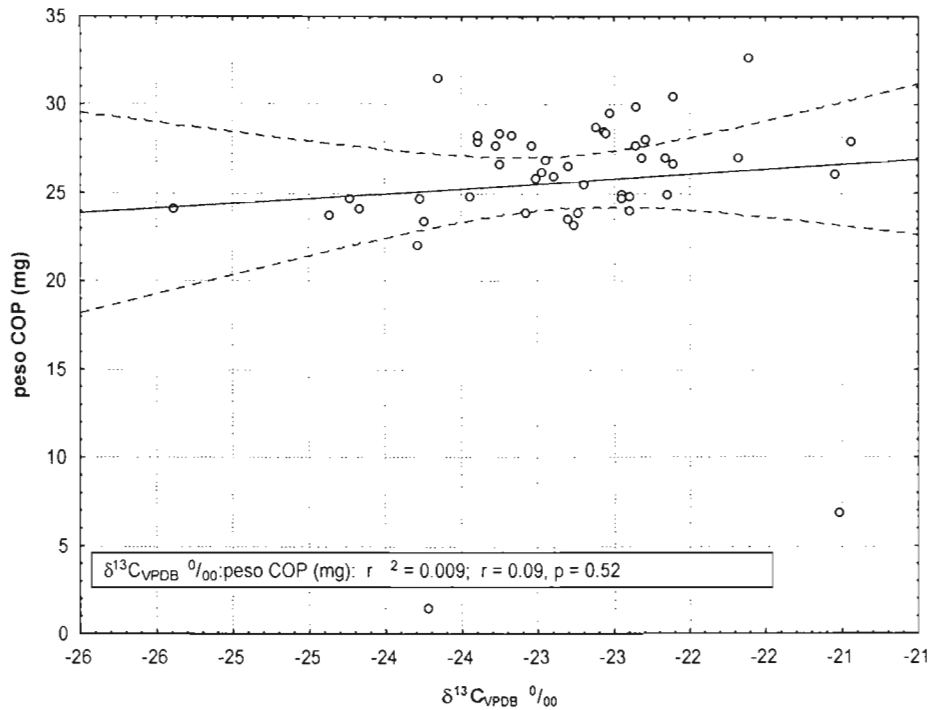


Figura 12. Gráfico de correlación entre las variables  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP y peso total de COP de muestras de la zona de planicie abisal. Las líneas interrumpidas denotan el 95 % de nivel de confianza, la línea sólida denota la tendencia de los valores,  $r$  = correlación,  $p$  = significación.

## 10.2 TALUD CONTINENTAL

El talud continental presenta poca correlación negativa de  $r = -0.34$ , entre el  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP y el oxígeno disuelto de todas las muestras tomadas ahí. El valor de “p”, a pesar de ser bajo 0.1465, no puede ser considerado como significativo. Los valores fueron dispersos y el 50 % de ellos se ubicaron fuera del intervalo de confianza (Figura 13)

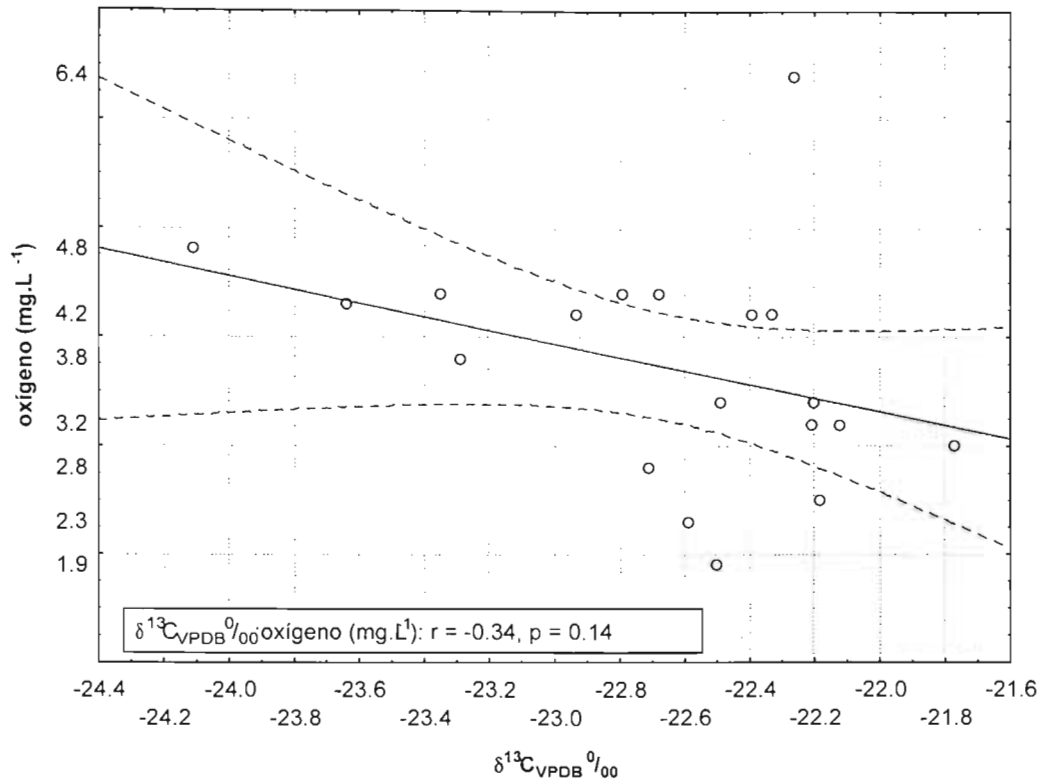


Figura 13. Gráfico de correlación entre las variables  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP y oxígeno disuelto de muestras de la zona de talud continental. Las líneas interrumpidas denotan el 95 % de nivel de confianza, la línea sólida denota la tendencia de los valores,  $r$  = correlación,  $p$  = significación.

El valor de correlación entre las variables  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP y peso de la muestra para el talud continental fue bajo de  $r = -0.045$  por lo tanto no fue significativo denotando que no existe correlación entre el peso de la muestra y en valor de abundancia isotópica de la misma (Figura 14).

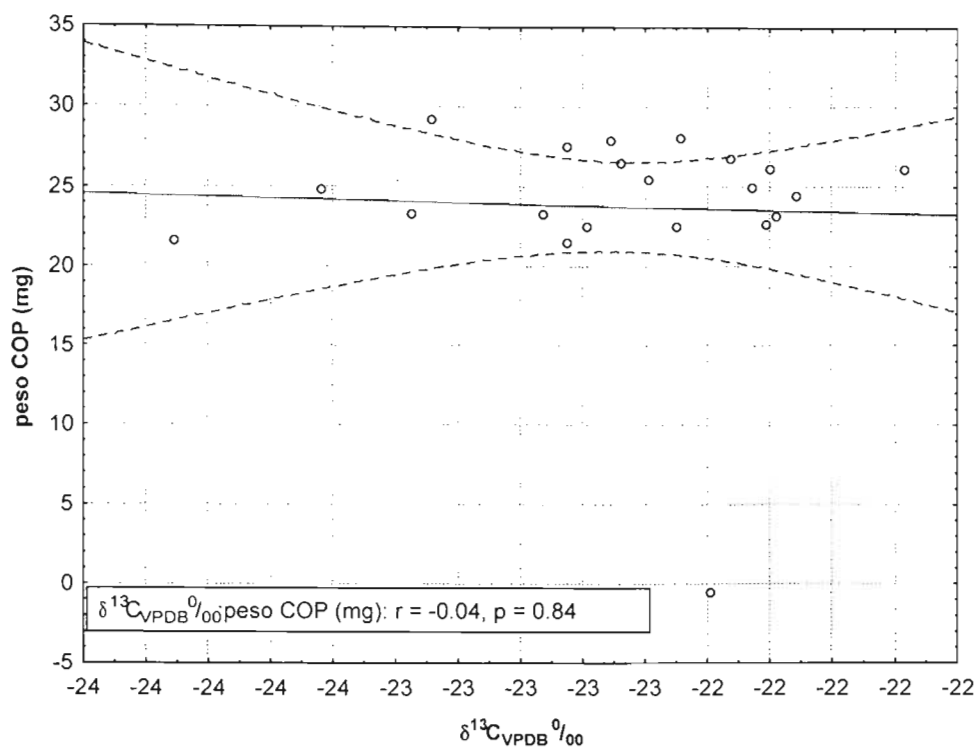


Figura 14. Gráfico de correlación entre las variables  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP y peso total de COP de muestras de la zona de talud continental. Las líneas interrumpidas denotan el 95% de nivel de confianza, la línea sólida denota la tendencia de los valores,  $r$  = correlación,  $p$  = significación.

### 10.3 CAÑÓN DE CAMPECHE

La correlación entre las variables  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP y oxígeno disuelto para la zona del cañón de Campeche fue baja y no representa cambios relacionados entre ambas, por lo cual no son significativos y presentan un valor de “p” elevado (Figura 15).

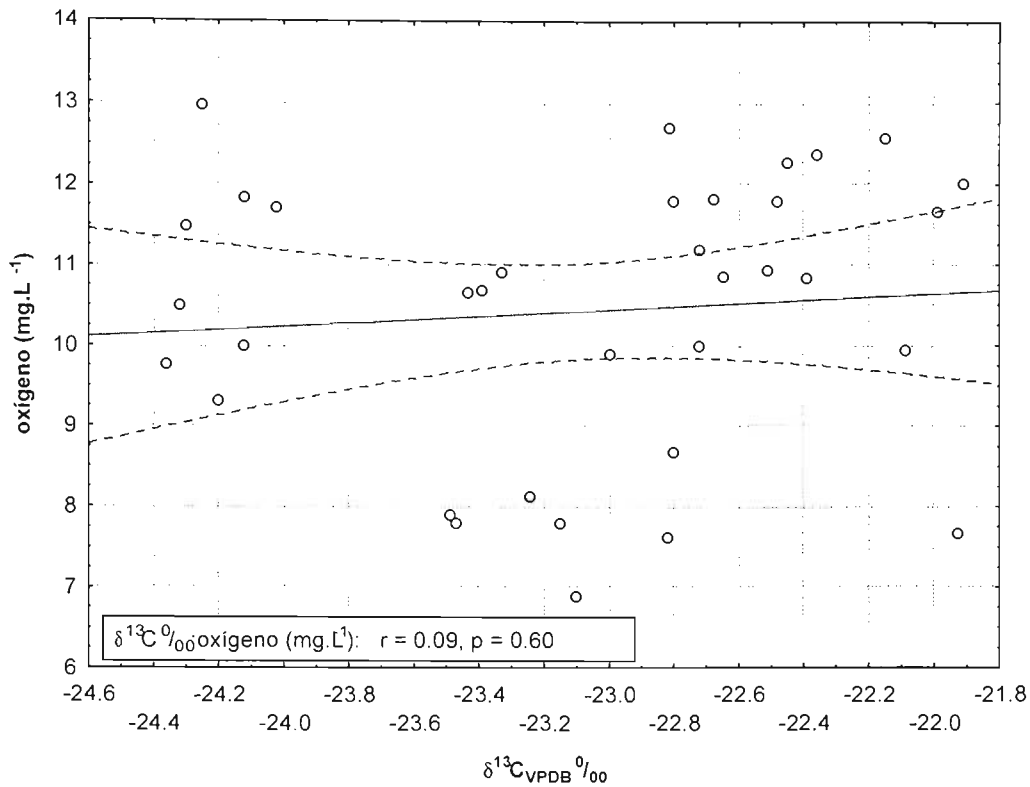


Figura 15. Gráfico de correlación entre las variables  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP y oxígeno disuelto de muestras de la zona de talud continental. Las líneas interrumpidas denotan el 95% de nivel de confianza, la línea sólida denota la tendencia de los valores,  $r$  = correlación,  $p$  = significación.

El valor de correlación entre los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP y peso de la muestra fue bajo y negativo. El valor de "p" refleja la poca relación entre ambas variables (Figura 16).

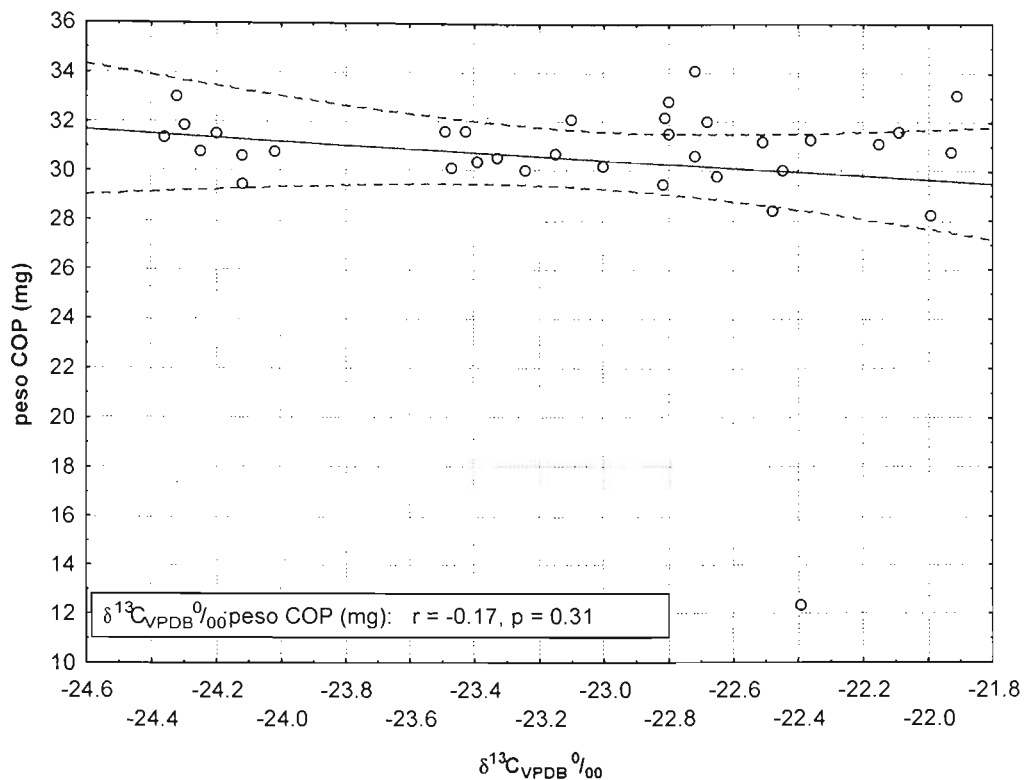


Figura 16. Gráfico de correlación entre las variables  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP y peso total de COP de muestras de la zona del cañón de Campeche. Las líneas interrumpidas denotan el 95 % de nivel de confianza, la línea sólida denota la tendencia de los valores, r = correlación, p = significación.

La correlación de valores isotópicos con la temperatura también son bajos  $r = 0.21$ , sin embargo, el valor de “p” no es tan elevado a pesar de que los valores se encuentran completamente dispersos y la mayoría de ellos se ubican fuera del límite de confianza (Figura 17).

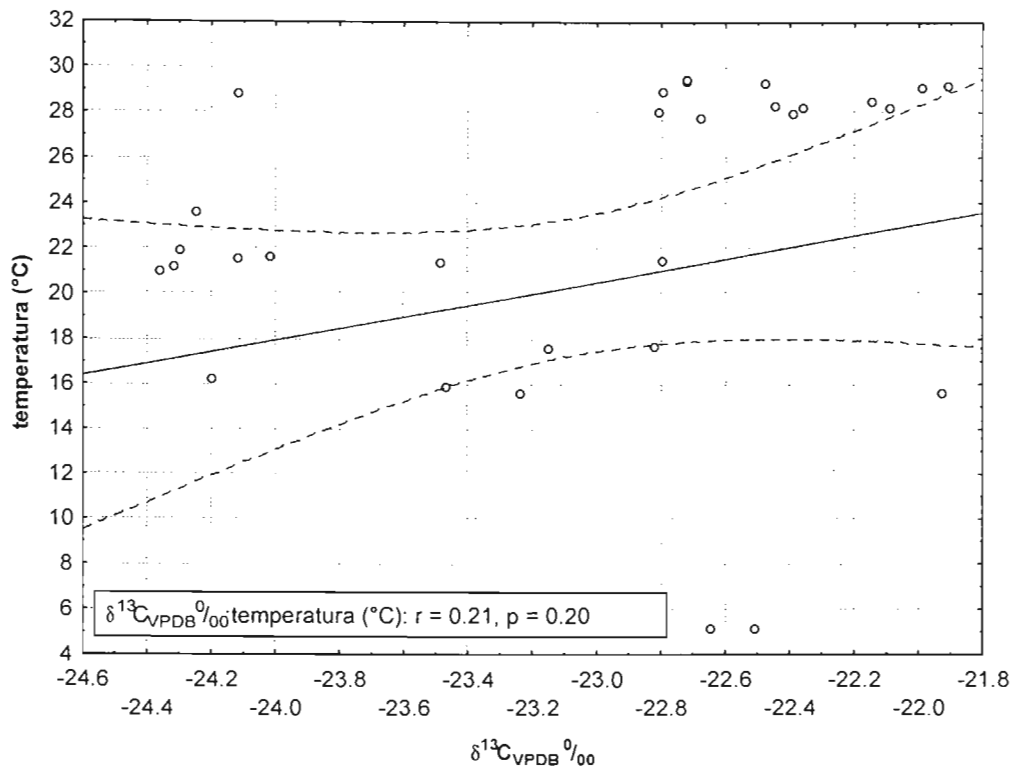


Figura 17. Gráfico de correlación entre las variables  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP y temperatura de muestras de la zona del cañón de Campeche. Las líneas interrumpidas denotan el 95% de nivel de confianza, la línea sólida denota la tendencia de los valores,  $r$  = correlación,  $p$  = significación.

La correlación con la variable salinidad fue mínima y los valores de “ $p$ ” muestran la poca confiabilidad para ésta correlación, debido a que la mayoría de los valores están dispersos y se ubicaron fuera del intervalo de confianza establecido (Figura 18).

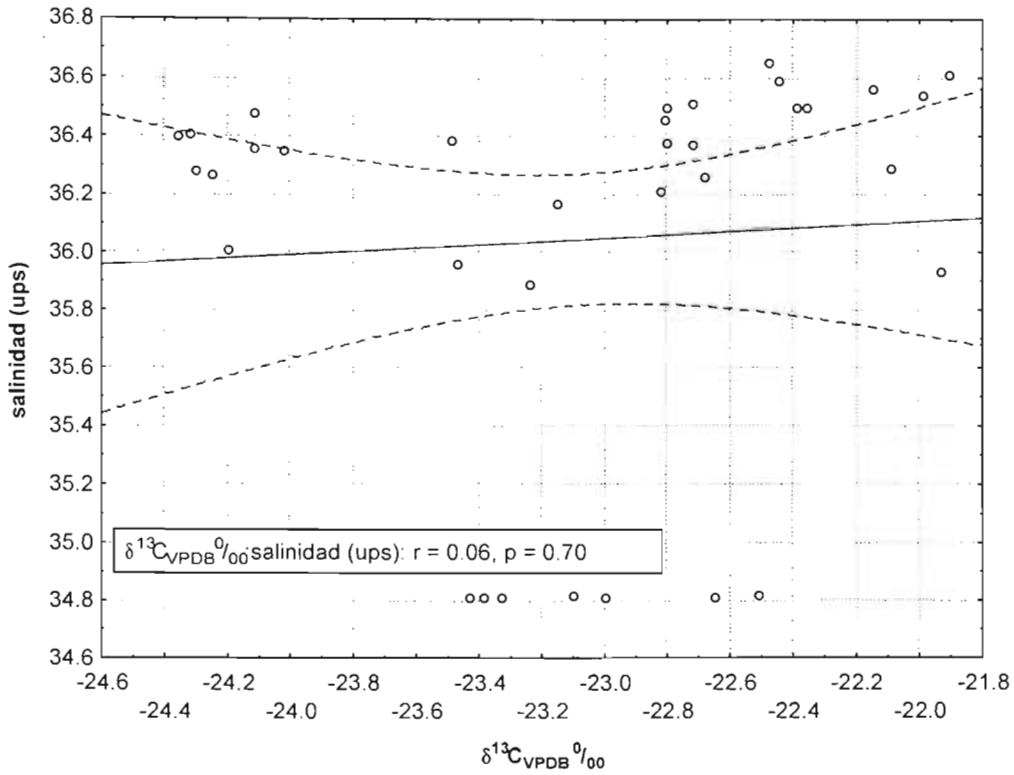


Figura 18. Gráfico de correlación entre las variables  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP y salinidad de muestras de la zona del cañón de Campeche. Las líneas interrumpidas denotan el 95% de nivel de confianza, la línea sólida denota la tendencia de los valores, r = correlación, p = significación.



---

## 11 DISCUSIÓN

### 11.1 GENERAL

Los valores isotópicos reconocidos en este estudio tuvieron una amplitud de apenas 4.44 ‰. Los valores se ubicaron dentro del intervalo de valores reconocidos para fitoplancton (ver apéndice; valores isotópicos referidos) y son consistentes con lo expuesto por otros autores (Fischer 1991; Latjha y Michener 1994; Daneri 2001). Las fotografías de MEB consolidan la idea del origen fitoplanctónico. Otros estudios, como el de Parsons et al. (1995), reconocen al fitoplancton como el principal componente del COP en Golfo de México para la región de Florida.

La zona de planicie abisal es el más variable de las tres. La variabilidad se puede asociar a la presencia del giro anticiclónico que se desprende la Corriente del Lazo (Salas de León y Monrreal Gómez 2003). También puede tener influencia por el aporte de los ríos que como se reconoce es mayor en verano (Yáñez y Day 1982; Escobar y Soto 1997). Pero no se reconocieron estructuras que sustenten esta idea en este estudio.

Las zonas de estudio se ubican dentro del trópico, en esta región se presentan temperaturas superficiales de 30 a 24 °C favoreciendo la formación de la termoclina permanente en la columna de agua. La termoclina impone barreras físicas y gradientes de densidad más marcados. Por lo anterior se esperaría que las partículas orgánicas permanecieran mayor tiempo en la superficie del océano. El mayor tiempo de residencia induce valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  menos pobres debido a que son transferidas a niveles tróficos superiores. No obstante, el COP tuvo valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  -25 ‰ o cercanos a este y estos se ubicaron principalmente hacia el fondo de la columna de agua.

En este estudio el empobrecimiento del COP pudo deberse al proceso de descomposición y al tiempo de permanencia de las partículas en la columna de agua, no así a la disponibilidad de  $\text{CO}_2$  del fitoplancton que produce, en su mayoría, estas partículas (Legendre y Rassoulzadegan 1996). Las pequeñas diferencias entre los valores de las

---

---

localidades pueden ser debidas a la diversidad de especies (Macko et al.1984; Georike et al. 1994; Rau et al 1996).

La mayoría de los estudios reconocen valores menos negativos hacia el fondo, en este estudio fueron más negativos hacia el fondo. Lo anterior puede ser debido al tiempo de residencia del COP en la columna de agua o también a la continua resuspensión de sedimentos en zonas donde la pendiente es muy pronunciada por ejemplo el talud continental y el cañón de Campeche. En las zonas de afloramiento la tasa de hundimiento de COP puede ser de hasta 2000 m en 9 días (Wiebe et al. 1976). Pero el patrón general para partículas pequeñas, menores a 50  $\mu\text{m}$ , establece que es de 1.5 a 5 m cada 24 horas (Margalef y Vives 1972; Parsons 1975; Duursma y Dawson 1981; Wakeham y Canuel 1988).

## 11.2 PLANICIE ABISAL

La zona de planicie abisal tuvo dos valores anómalos  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP uno empobrecido de -25.39 ‰ y el otro enriquecido de -20.95 ‰, el valor más negativo se ubicó en el agua de fondo de la localidad 7, cercana al talud continental, y es asociado con la resuspensión de sedimentos cuyo origen fue en la zona fótica del talud continental y se caracteriza por diatomeas penadas. El COP pudo haber llegado a esta zona por resuspensión debida a las corrientes de turbidez que se presentan comúnmente en el talud continental (Sackett y Thompson 1963). Los valores empobrecidos, se asocian con la acción conjunta de movimientos de corrientes superficiales (frentes fríos y giros) y tasa de hundimiento.

El valor menos negativo de -20.95 ‰ se registró en capa de mezcla de la localidad 1, la más alejada de la costa, en donde se reconocieron principalmente cocolitofóridos y los nutrientes son escasos. De acuerdo con Keller y Morel (1999), los cocolitofóridos presentan valores isotópicos con intervalos no muy amplios (-22 a -19 ‰).

Las diferencias entre localidades para esta zona no fueron significativas, sin embargo, hubo poca similitud entre las localidades 1 y 8. Lo anterior se asocia con los cambios en

---

---

topografía y con la cercanía a la costa lo cual promueve diversidad del fitoplancton. La diversidad de fitoplancton, también promueve composición de  $^{13}\text{C}$  con pequeñas desviaciones debidas a la permeabilidad de la membrana (Dehairs et al. 1997). Otros investigadores sugieren que las pequeñas diferencias entre COP, se deben al proceso enzimático de fijación del carbono (Hayes 1993; Keller y Morel 1999; Cabello- Pasini et al. 2001).

En esta zona el COP de los seis niveles de columna de agua presenta diferencias importantes entre sí. El COP de superficie (capa de mezcla, techo de termoclina y máximo de clorofila *a*) tuvieron diferencias estadísticamente significativas con respecto al COP de agua de fondo, contrario a lo establecido por la mayoría de los estudios (Fischer 1991; Parsons et al. 1995; Boyd et al. 1999; Wu et al. 1999), el COP fue empobrecido hacia el fondo hasta en 1.8‰.

El empobrecimiento se pueden asoció con tiempos de residencia del COP en el ambiente pelágico, por ejemplo cuando el flujo de COP es moderado y en su mayoría lábil, sólo sufre alteración química (Druffel et al. 1998). Sin embargo, partículas amorfas de hasta 200µm se hunden 50 m/día (Wiebe et al. 1976), tiempo suficiente para sufrir alteraciones en su composición de carbono.

En esta zona se registraron cocolitos de cocolitofóridos de las especies *Emiliana huxleyi*, *Umbellosphaera sp.* y *Syracosphaera sp.* fueron las especies más representativas de esta zona y de acuerdo con Keller y Morel (1999), los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  de cocolitofóridos varían entre -19 y -22 ‰, muy parecidos a los registrados en la superficie de la planicie abisal.

Los registros de oxígeno disuelto y peso con respecto al  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ , no se correlacionaron, por lo tanto no se asociaron con el forrajeo de organismos secundarios (Legendre 1990). Sin embargo, la productividad en esta zona es baja y las profundidades son de 3700 m. En este caso se sugiere la agregación de partículas y otro tipo de transformaciones, tal vez debidas a la degradación por bacterias o bien, considerar la resuspensión de sedimentos (Biggs 1992).

---

### 11.3 TALUD CONTINENTAL

La zona de talud continental presentó el intervalo menos amplio (2.34 ‰). Las localidades de esta zona registraron valores con intervalos menos amplios conforme se acercan a la costa, esto sugiere que es debido a la productividad local y a los cambios en el gradiente de profundidad, ya que el COP se deposita al fondo en menos tiempo (Rau et al. 1992). El intervalo de valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ , para esta zona, lo determinó la localidad 10, esta localidad se reconoció como la localidad de transición de topografía entre abisal y talud, esta localidad pudo contener, en términos de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ , a todos los componentes del COP para la zona. Las localidades 9 y 10, las más alejadas de la costa presentaron las mayores desviaciones, se cree que es debido a la variedad de componentes del COP (oceánicos y costeros), entre sí fueron similares en 85 %.

Las diferencias entre niveles de profundidad fueron evidentes (Figura 8), entre los niveles de la superficie (capa de mezcla, techo de termoclina y el máximo de clorofila a) y el piso de termoclina. Estas diferencias si pueden relacionarse con el acoplamiento entre productividad y forrajeo ya que en el nivel de máximo de clorofila también se presentó el mínimo de oxígeno disuelto. Lo anterior sugiere una disminución de oxígeno debido a la respiración por consumo de material orgánico por organismos secundarios (Fischer et al. 1991; Libes 1992; Wu et al. 1999). Sin embargo, el Agua Común del Golfo también se caracteriza por registrar bajos contenidos de oxígeno.

Hacia el fondo los valores fueron empobrecidos en 1.4 ‰. En el estudio de Deuser et al. (1981), señalan que esto puede ser el resultado de la influencia de la pendiente pronunciada del talud continental, la posible resuspensión de sedimentos o también debido a un eficiente mecanismo de sedimentación a través de agregados.

Las fotografías revelaron que las diatomeas de los géneros *Bacteriastrum* y *Chaetoceros* dominaron en la capa de mezcla e inicio de termoclina, pero el máximo de clorofila fue dominado por diatomeas del género *Thalassiosira*. Reinfelder et al. (2000), señalan que algunas

---

---

especies del género *Thalassiosira* fijan de forma diferente el CO<sub>2</sub> y como consecuencia se tiene valores ligeramente diferentes en donde domina este componente. Por debajo del máximo de clorofila *a* sólo se reconocieron restos de diatomeas penadas del género *Chaetoceros*, lo cual coincide con la idea del acarreo desde la costa, ya que las diatomeas penadas habitan los fondos del mar somero (plataforma continental e inicio del talud) (Tomas et al. 1996).

Aparentemente existe poca correlación entre oxígeno disuelto y peso con respecto a  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP, no obstante la correlación no es suficiente para reforzar la idea del forrajeo en todo el tirante de la columna de agua. La correlación sólo se justifica hasta el nivel de máximo de clorofila *a*. Cabe mencionar que estos cambios coinciden con el mínimo de oxígeno registrado en el sector norte del Mar Caribe, Golfo de México y Atlántico ecuatorial (Jeffrey et al. 1983).

#### **11.4 CAÑÓN DE CAMPECHE**

La zona del cañón de Campeche fue la más variable entre localidades. Las localidades presentaron amplitudes cortas y algunas fueron estadísticamente diferentes entre sí. Las localidades 26 y 38 ubicadas sobre el escarpe de Campeche presentaron las principales diferencias, sobre todo con las localidades 44 y 55, ubicadas hacia el sur de esta zona de estudio y cercanas a la plataforma continental. Nowlin et al. (2000) reconoce que eventos como pequeños giros y cambios abruptos en la batimetría ocurren al nordeste del Golfo de México, cerca de la cabeza del cañón de DeSoto, en esta localidad los afloramientos promueven cambios importantes en la composición del COP, debido a los afloramientos de especies diferentes. Monreal-Gómez y Salas de León (1997), reconocen que en verano se presenta un giro ciclónico en la zona del cañón de Campeche, lo cual le confiere una dinámica especial.

Los giros ciclónicos se caracterizan porque hacen que los nutrientes que se encuentran hacia el fondo lleguen a la superficie y la fertilicen. En este estudio la composición de fitoplancton es variable, las fotografías revelan que diatomeas del género *Nitzschia* dominaron

---

---

en la localidad 29, más oceánica, la localidad 38, ubicada sobre el escarpe de Campeche, fue dominado por diatomeas del género *Thalassiosira* y quistes de dinoflagelados y la localidad 44, cercana a la plataforma continental, presentó una mezcla de los componentes anteriores y además se incluyeron diatomeas del género *Minidiscus*.

Lo anterior sugiere afloramiento de nutrientes y crecimiento de diversas especies de fitoplancton, debido a las corrientes superficiales y a la interacción de estas últimas con el continente. En esta zona no se reconoció correlación entre  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  y los parámetros registrados (oxígeno disuelto, temperatura, salinidad), por lo tanto no se pueden hacer inferencias sobre éstos. Sin embargo, se reconoce que las diferencias en valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  son debidas a la composición fitoplanctónica, que como ya se expuso, presentan metabolismo diferente (Cabello-Pasini et al. 2001; Reinfelder et al. 2001). Otros como Benthien et al. (2002) argumentan que las diferencias en la fijación de carbono son debidas al desarrollo de cada especie y a la permeabilidad de la membrana de cada especie.

Las diferentes niveles en la columna de agua son significativamente diferentes, destacan los intervalos estrechos del techo y piso de termoclina, así como la mayor desviación en el máximo de clorofila *a*. Esto sugiere una productividad debida al giro que se presenta en verano, en esa zona (Salas de León y Monrreal Gómez 2003). El giro concentra sólo algunos componentes del COP en la superficie y promueve la producción diversa en el nivel de máximo de clorofila *a*. Lo anterior se ajusta con lo que muestran las imágenes de MEB. Hacia el fondo se puede argumentar que existe degradación preferencial de algunos componentes y por eso el intervalo es menos amplio.

Este estudio, por su naturaleza, permitió hacer una primera aproximación en la caracterización de partículas orgánicas en una zona poco estudiada. El alcance de este trabajo permitirá desarrollar nuevas técnicas que permitan evaluar, de manera más precisa, el origen y la composición del COP que se deposita en el fondo del Golfo de México.

---

## 12 CONCLUSIONES

- El estudio no permitió apreciar diferencias estadísticamente significativas entre los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  del COP de las tres zonas (planicie abisal, talud continental y cañón de Campeche). Todos los valores se ubicaron dentro de valores reconocidos para fitoplancton. La topografía sólo determina que grupo del fitoplancton domina cada zona. Los cambios en la temperatura de la columna de agua (termoclina), favorecen el empobrecimiento hacia el fondo, del COP recolectado en este estudio.
- Los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  del COP de las tres localidades se reconocen como una mezcla de componentes con origen principalmente en el fitoplancton. En la zona del cañón de Campeche tuvieron el mismo origen, pero los componentes de la localidad 26 presentaron diferencias significativas con las localidades 44 y 55. En la primera dominaron los dinoflagelados y en las segundas las diatomeas radiales.
- Los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  del COP en los diferentes niveles de la columna de agua fueron empobrecidos hacia el fondo, contrario a lo que se establece insistentemente. Lo anterior se atribuyó a la degradación preferencial de algunos componentes del COP, al tiempo de residencia en la columna de agua y a la resuspensión cerca del fondo.
- Las fotografías revelaron que en la planicie abisal predominaron especies de cocolitofóridos, en el talud continental de diatomeas penadas y en el cañón de Campeche diatomeas radiales, penadas y dinoflagelados no tóxicos.
- En ningún caso hubo correlación entre los valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  en COP y parámetros medidos. En este estudio se considera que no influyen en los valores isotópicos.

---

## AGRADECIMIENTOS

Esta tesis se realizó en el laboratorio Biodiversidad y Macroecología del ICML de la UNAM con apoyo del director, Dr. Adolfo Gracia Gasca.

A los integrantes del comité tutorial M en C Pedro Morales Puente, Dr. Alfonso Vázquez Botello, Dra. Rosa Maria Prol Ledesma, Dr. Javier Carmona Jiménez, por sus valiosos comentarios.

En apoyo a las campañas, materiales y servicios se agradece a los proyectos de investigación a cargo de la Dra. E. Escobar; Riqueza taxonómica de la fauna asociada al mar profundo del Golfo de México: 2. El Cañón de Campeche, PAPIIT IN224503; Factores que definen la variabilidad en la composición taxonómica, la densidad y la biomasa de la infauna en el sur del Golfo de México, DGAPA, UNAM, PAPIIT IN211200; Variación de la estructura comunitaria del bentos abisal en el Golfo de México. Convocatoria Ciencia Básica, SEP-CONACyT 2002 clave 40158 y al proyecto Procesos oceánicos y mecanismos de producción biológica en el sur del Golfo de México, CONACyT G-27777B del cual el Dr. David Salas, ICML UNAM, es el investigador principal y en el cual participó la Dra. E. Escobar, contribuyendo con resultados de esta tesis. El proyecto Desarrollo de la Metodología de Isótopos Estables Aplicados a la Solución de Problemas en Sistemas Biogeoquímicos, CONACyT-G35442-T a cargo del M en C P. Morales y en el cual participó la Dra. E. Escobar, el cual permitió adquirir el equipo con el cual se realizó esta tesis.

Por el financiamiento para separación de muestras al proyecto Deep Gulf of Mexico Benthos Study (DGoMBS) - Joint US/Mexico Studies of the Sigsbee Deep (JSSD) MMS Contract 1435-01-99-CT-30991TAMU del cual la Dra. E. Escobar es corresponsable.

A CONACyT por la beca otorgada para dedicar mis estudios de tiempo completo a esta tesis.

A Edith Cienfuegos Alvarado, Rafael Puente, Francisco Javier Otero, Caridad Hernández y Anastasio Lozano. Personal del laboratorio de Espectrometría de Masas de Isótopos Estables

---



---

del Instituto de Geología, UNAM por los análisis de isótopos estables, así como por su ayuda y asesoría en el manejo de material y equipo en el laboratorio.

A Jorge Sepúlveda, técnico del laboratorio de Microscopía Electrónica del Instituto de Fisiología Celular, UNAM por el apoyo en el procesamiento de las fotografías.

A todo el personal del B/O Justo Sierra de la UNAM por su valiosa colaboración durante la recolecta.

A mis compañeros de laboratorio: Citlali Díaz, Inna Paola Laza, Erika Laura Estrada, Adriana Gaytán, León Álvarez, Angel Balam Jiménez.

---

## REFERENCIAS

Formato de la revista Marine Ecology Progress Series

- Aldeco M (1988). Características térmicas superficiales en el Golfo de México durante 1988. Est. de Inv. Oceanogr. Veracruz. Sec De Mar Mex.
- Antoine J (1972). Structure of the Gulf of Mexico. In: Rezak R and Henry V (eds.) Contributions on the Geological and geophysical Oceanography of the Gulf of Mexico. Gulf Publishing Company, Houston, p 1-34
- Benthien A, Andersen N, Schulte S, Müller PJ, Schneider RR, Wefer G (2002) Carbon isotopic composition of the C37:2 alkenone in core top sediments of the South Atlantic Ocean: effects of CO<sub>2</sub> and nutrient concentrations. Global Biogeochem Cycles, 16: 1-12
- Berry JA (1989) Studies of mechanisms affecting the fractionation of carbon isotopes in photosynthesis. In: Rundel PW, Ehleringer JR, Nagy KA (eds.) Stable Isotopes in ecological Research, Springer-Verlag, New York. , p 82-94
- Biggs DC (1992) Nutrients, plankton, and productivity in a Warm- Core ring in the western Gulf of Mexico. J Geophys. Res. 97 (C2): 2143-2154
- Bishop JK, Edmond JM, Ketten DR, Bacon MP, Silkers WB (1977) The chemistry, biology, and vertical flux of particulate matter from the upper 400 m of the equatorial Atlantic ocean. Deep- Sea Res, 24: 511-548
- Boyd P, Sherry N, Berges J, Bishop J, Calvert S, Charette M, Giovannoni S, Goldbatt R, Harrison P, Moran S, Roy S, Soon M, Strom S, Thibault D, Vergin K, Whitney F, Wong C, (1999) Transformation of biogenic particulates from the pelagic to the deep ocean realm. Deep Sea Res II 46: 2761- 2792
- Broecker WS (1993) Evaluation of the <sup>13</sup>C constraint on the uptake of fossil fuelCO<sub>2</sub> by the Ocean. Global Biogeochem Cycles 7: 619-626
- Cabello-Pasini A, Swift H, Smith GJ, Alberte RS (2001) Phosphoenolpyruvate carboxykinase from the marine diatom *Skeletonema costatum* and the phaeophyte *Laminaria setchellii* II. Immunological characterization and subcellular localization. Bot Mar 44: 199-207
- Cooper C, Forristal G, Joyce M (1990) Velocity and hydrographic structure of two Gulf of Mexico warm-core rings. J Geophys Res 95:1663- 1679
- Craig H (1953) The geochemistry of the stable carbon isotopes. Geochim Cosmochim Acta. 3: 53-92
- Czerna Z (1984) Margen continental de colisión en la parte sur occidental del Golfo de México. Rev. Inst Geol. 5: 255-261
- Czitrom SF, Ruiz MA, Padilla AR (1986) Preliminary study of a front in the Bay of Campeche, Mexico. In: Nihoul J (eds) Marine Interfaces Ecohydrodynamics. Elsevier Oceanographic Series, Liege, p 301-311
- de Bovée F, Guidi LD, Soyer J (1990) Quantitative distribution of deep-sea meiobenthos in the northwestern Mediterranean (Gulf of Lions). Cont Shelf Res 10:1123-1145
- Denman KL, Powell TM (1984) Effects of physical processes on planktonic ecosystems in the coastal ocean. Oceanogr Mar Biol Annu Rev, 22: 125-168
- Dehairs F, Kopczynska E, Nielsen P, Lancelot C, Batiker D, Koeve W, Goeyens L (1997) δ <sup>13</sup>C of Southern Ocean suspended organic matter during spring and early summer: regional and temporal variability. Deep Sea Res II 44:129- 142
- Descolas-Gros C, Fontugne MR (1990) Stable carbon isotope fractionation by marine phytoplankton during photosynthesis. Plant Cell Environ 13:217-218

- 
- Deuser WG, Ross EH, Anderson RF (1981) Seasonality in the supply of sediment to the deep Sargasso Sea and implications for the rapid transfer of matter to the deep ocean. *Deep- Sea Res*, 28A(5): 495-505
  - Diaz C (2001) Patrón de distribución de la riqueza taxonómica, densidad y biomasa de la meiofauna en un gradiente batimétrico del sector accidental del Golfo de México. Tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM
  - Duursma E, Dawson R (1981) Marine organic chemistry: evolution, composition, interactions and chemistry of matter in seawater. Elsevier Sci. Publ., New York, p 31-86
  - Eltringham S.K (1991) Life in mud and sand. The English Universities Press, Ltd.London.
  - Eppley R, Peterson B (1979) Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. *Nature* 282 :677- 680
  - Escobar E, Soto L (1997) Continental shelf benthic biomass in the western Gulf of Mexico. *Cont Shelf Res* 17:585-604
  - Fenchel T (2001) Marine Bugs and Carbon Flow. *Science* 292:2444-2445
  - Fischer G (1991) Stable carbon isotope ratios of plankton carbon and sinking organic matter from the Atlantic sector of the Southern Ocean. *Mar Chem* 35:581- 596
  - Francois R, Altabet MA, Goericke R, McCorkle DC, Brunet C, Poisson A (1993) Changes in the  $\delta^{13}\text{C}$  of surface water particulate organic matter across the subtropical convergence in the SW Indian Ocean. *Global Biogeochem Cycles* 7:627-644
  - Gage J, Tyler P (1992) Deep- sea biology: A natural history of organism at the deep- sea floor. Cambridge University Press, New York, p 600
  - Goericke R, Montoya JP, Fry B (1994) Physiology of isotopic fractionation in algae and cyanobacteria. In: Lajtha K, Michener RH (eds.) *Stable isotopes in ecology and environmental science*, Oxford, p 187- 221
  - Gordon D, Sutcliffe W (1974) Filtration of seawater using silver filters for particulate nitrogen and carbon analysis. *Limnol Ocean* 19:989-993
  - Grasshoff K, Kremling K, Ehrhardt M (1999) *Methods of seawater analysis*, New York, p 419
  - Gundersen K (1997) Determination of particulate organic carbon and nitrogen. In: Bermuda Atlantic Time-series Study, Bermuda Biological for Research, INC., 95-97.
  - Himdal BR (1997) Modern coccolithophorids. In: Thomas CR (eds), *Identifying marine Phytoplankton*, Academic Press, p 731-831
  - Honjo S (1980) Material fluxes and modes of sedimentation in the mesopelagic and bathypelagic zones. *J Mar Res* 38:53-97
  - Honjo S, Spencer DW, Gardner WD (1992) A sediment trap intercomparison experiment in the Panama Basin, 1979. *Deep-Sea Res* 39:333-358
  - Hopcroft RR, Roff JC, Berges JA (1990) Size- fractionated sedimentation in a tropical neritic ecosystem near Kingston, Jamaica. *Cont Shelf Res* 10(8): 795-806
  - Israel AA, González EL (1996) Photosynthesis and inorganic carbon utilization in *Pleurochrysis* sp. (Haptophyta), a coccolithophorid alga. *Mar Ecol Prog Ser* 137:243-250
  - Jeffrey AWA, Pflaum RC, Brooks JM, Sackett WM (1983) Vertical trends in particulate organic carbon  $^{13}\text{C}:^{12}\text{C}$  ratios in the upper water column. *Deep- Sea Res*, 30 (9A): 971-983
  - Keller K, Morel FM (1999) A model of carbon isotopic fractionation and active carbon uptake in phytoplankton. *Mar Ecol Prog Ser* 182:295-298
  - Kennedy H, Robertson J (1995) Variations in the isotopic composition of particulate organic carbon in surface waters along an 88 W transect from 67 S to 54 S. *Deep- Sea Res II*, 42:1109-1122
-

- 
- Kolber ZS, Plumley FG, Lang AS, Beatty JT, Blankenship RE, van Dover CL, Vetriani C, Koblizek M, Rathgeber Ch, Falkowski PC (2001) Contribution of aerobic photoheterotrophic bacteria to the carbon cycle in the ocean. *Science* 292:2492- 2495
  - Lajtha K, Michener RH (1994) Stable isotopes in ecology and environmental science. Blackwell, Oxford, p 316
  - Legendre L (1990). The significance of microalgal blooms for fisheries and for the export of particulate organic carbon in oceans. *J Plank Res* 12:681-699
  - Legendre L, Rasoulzadegan F (1996) Food- web mediated export of biogenic carbon in oceans: hydrodynamic control. *Mar Ecol Prog Ser* 145:179-193
  - Leipper D (1970) A sequence of current patterns in the Gulf of Mexico. *J Geophys Res* 75:637-657
  - Longhurst A, Pauly (1987) Ecology of tropical oceans. Academic Press. San Diego, California, p 407
  - Macko SA, Entzeroth L, Parker PL (1984) Regional differences in nitrogen and carbon isotopes on the Continental Shelf of the Gulf of Mexico. *Naturwissenschaften*, 71: S 374
  - Mare M (1942) A study of marine benthic community with special reference to the microorganisms. *J Mar Biol Assoc U.K.* 25:517-554
  - Margalef y Vives (1972) La vida suspendida en el agua. En *Ecología Marina*.
  - Matthews BJH (1999) The rate of air-sea CO<sub>2</sub> exchange: chemical enhancement and catalysis by marine microalgae. PhD Thesis. School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich
  - Mizutani H, Wada E (1982) Effect of high atmospheric CO<sub>2</sub> concentration on  $\delta^{13}\text{C}$  of algae. *Origin of Life* 12:377-390
  - Moran S, Charette M, Pike S, Wicklund C (1999) Differences in seawater particulate organic carbon concentration in samples collected using small- and large- volume methods: the importance of DOC adsorption to the filter blank. *Mar Chem* 67:33-42
  - Nakatsuka T, Handa N, Haranda N, Sugimoto T, Imaizumi S (1997) Origin and decomposition of sinking particulate organic matter in the deep water column inferred from the vertical distributions of its  $\delta^{15}\text{N}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{14}\text{C}$ . *Deep- Sea Res I*, 44: 1957-1979.
  - Nowlin WD (1971) Water masses and general circulation of the Gulf of Mexico. *Ocean Cont* 452:173-178
  - Nowlin WD (1972) Winter circulation and property distribution, P. 3-51. In: Capurro, L. R. y J. Reid (eds.) Gulf Publ Co. Houston.
  - Nowlin WD, McLellan HJ (1967) A characterization of Gulf of Mexico waters in the winter. *J Mar Res* 25: 29-59
  - Parsons T (1975) Particulate organic carbon in the sea. In: Riley JP, Skitov G (eds) *Chemical Oceanography*, Academic Press, London, p165-183
  - Parsons T, Takahashi M, Hargrave B (1995) *Biological Oceanographic processes*. Butterworth Heinemann, Great Britain,
  - Pequegnat WE (1983) The ecological communities of the continental slope and adjacent regiments of the northern Gulf of Mexico. Report of Contract AA851-CTI-12. Mineral Management Service, USA, p 398
  - Pica GY, Pineda LR (1991) Oceanografía geológica. En de la Lanza GE (ed), *Oceanografía de Mares Mexicanos. Golfo de México y Mar Caribe* AGT, México D.F. p 79-113
  - Rau G, Sullivan C, Gordon L (1991)  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  variations in Weddell Sea particulate organic matter. *Mar Chem* 35:355- 369
-

- 
- Rau GH, Takahashi T, Marais DJ, Repeta DJ, Martin J (1992) The relationship between organic matter  $\delta^{13}\text{C}$  and  $[\text{CO}_2(\text{aq})]$  in ocean surface water: data from a JGOFS site in Northeast Atlantic Ocean and a Model. *Geochim. Cosmochim. Acta* 56:1413-1419
  - Rau GH, Riebesell U, Wolf-Gladrow D (1996) A model of photosynthetic  $^{13}\text{C}$  fractionation by marine phytoplankton based on diffusive molecular  $\text{CO}_2$  uptake. *Mar Ecol Prog Ser* 133:275-285
  - Reinfelder JR, Kraepiel AM, Morel FMM (2000) Unicellular  $\text{C}_4$  photosynthesis in a marine diatom. *Nature* 407:996-999
  - Rowe GT (1983) Biomass and production of the deep-sea macrobenthos. In: Rowe, G.T., (eds.), *Deep-sea Biol, The Sea. Vol. 8J*, Wiley, New York, p 560
  - Rullkötter J (2000) Organic matter: the driving force for early diagenesis. In: Horst D. Schulz and Matthias Zabel (eds.) *Marine Geochemistry*, Berlin, p129-172
  - Sackett WM, Thompson RR (1983) Isotopic organic carbon composition of recent continental derived clastic sediments of eastern gulf coast, Gulf of Mexico. *Bull Amer Assoc Petr Geol* 47: 525-531
  - Sackett WM, Eckelmann WR, Bender ML, Bé AWH (1965) Temperature dependence of carbon isotope composition in marine plankton and sediments. *Science*, 148: 235-237
  - Salas JA (2001) Variación espacial y batimétrica de la biomasa de meiofauna del sur del Golfo de México. Tesis de Licenciatura en Biología, Escuela Nacional de estudios Superiores, Iztacala, UNAM.
  - Salas-de-León DA, Monreal-Gómez MA, Signoret M, Aldeco J (2004) Anticyclonic-cyclonic eddies and their impact on near-surface chlorophyll stocks and oxygen supersaturation over the Campeche Canyon, Gulf of Mexico. *J Geophy Res*, 109: C05012, 1-10
  - Salisbury FB, Ross CW (1994) *Fisiología vegetal*. Grupo Editorial Iberoamericana, D. F., p 759
  - Sánchez ME (1997) Preparación de muestras para la observación al MEB. En: Primer curso de microscopía electrónica aplicado a las ciencias agrícolas que se llevó a cabo del 8 al 10 de septiembre de 1997. Organizado por la especialidad de botánica del Instituto de Recursos Naturales, la Unidad de Microscopía Electrónica del Colegio de Posgraduados y la Asociación Mexicana de Microscopía A.C., Colegio de Posgraduados, Texcoco, México.
  - Soto L, Escobar E (1995) Coupling mechanisms related to benthic production in the SW Gulf of Mexico. In: Eleftheriou A, Ansell A, y Smith J (eds.) *Biology and Ecology of Shallow Coastal Waters Proc. 28<sup>th</sup> European Symposium*, international Symposium Series. 233-242
  - Strong J, Dsimstoff DR, Abele LG, Wistle AB (1984) *Ecological communities conceptual issues and the evidence*. Pringston, University Press, p 613
  - Suess E (1980) Particulate organic carbon flux in the oceans, surface productivity and oxygen utilization. *Nature* 288:260-263
  - Tomas CR, Hasle GR, Syvertsen EE, Steidinger KA, Tangen K (1996) *Identifying marine diatoms and dinoflagellates*. San Diego, Academic Press. p 598
  - Valley JW, Cole DR (2001) Stable isotope geochemistry. *Rev Miner Geochim*, 43: 662
  - Vidal V, Vidal F, Hernández A, Meza E, Zambrano L (1994) Winter waters mass distribution in the western gulf of México affected by a colliding anticyclonic ring. *J Ocean* 50:559-588
  - Wakeham SG, Canuel EA (1988) Organic geochemistry of particulate matter in the eastern tropical North Pacific Ocean: Implications for particle dynamics. *J Mar Res* 46:183- 213
-

- 
- Weaver P (1950) Variation in history of continental shelves. Bull Am Assoc Petrol Geol, 34: 351-360
  - Wiebe PH, Boyd SH, Winget C (1976) Particulate matter sinking to the deep-sea floor at 2000m in the Tongue of the Ocean, Bahamas, with a description of a new sedimentation trap. J Mar Res, 34(3): 341-354
  - Winter A, Siesser WG (1994) Coccolithophores. Cambridge, University Press. p 242
  - Wu J, Calvert SE, Wong CS, Whitney FA (1999) Carbon and nitrogen isotopic composition of sedimenting particulate material at Station Papa in the northeast Pacific. Deep-Sea Res II 46:2793-2832
  - Yáñez A A, Day JW (1982) Ecological characterization of Terminos Lagoon: a tropical estuarine system in the southern Gulf of México. Oceanol Acta 5:431-500

---

## APENDICE

### FRACCIONAMIENTO Y VALORES ISOTÓPICOS REFERIDOS

#### Fraccionamiento Isotópico

Durante la fotosíntesis, los organismos fijan el dióxido de carbono de manera que asimilan preferentemente al isótopo ligero del carbono ( $^{12}\text{C}$ ), por lo que el contenido relativo del isótopo en la materia orgánica es menor que el contenido en el  $\text{CO}_2$  atmosférico. Por lo tanto se dice que están empobrecidos en  $^{13}\text{C}$ . Los principales mecanismos fotosintéticos para la fijación del carbono corresponden a diversas características anatómicas, bioquímicas y fisiológicas así como a distinto contenido de la relación de isótopos  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ . La gran mayoría de estos organismos utilizan el mecanismo fotosintético C3.

En todos los organismos que fotosintetizan, independientemente de la ruta fotosintética que utilicen, existe un fraccionamiento durante la fijación de  $\text{CO}_2$  a favor del isótopo ligero del carbono ( $^{12}\text{C}$ ), por lo que tienen un bajo contenido de carbono trece ( $^{13}\text{C}$ ) con respecto al  $\text{CO}_2$  atmosférico.

Este fraccionamiento isotópico se debe a las enzimas que catalizan los procesos primarios de carboxilación. En organismos que utilizan el mecanismo C3 se produce un fraccionamiento en el isótopo  $^{13}\text{C}$  del orden de 17 ‰ y para plantas C4, el fraccionamiento es menor. Los estudios realizados en plantas han ofrecido valores de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  con un intervalo de -22 hasta -33 ‰, para plantas C3, y para plantas C4, se han encontrado valores con un intervalo de -10 a -20 ‰.

El fraccionamiento isotópico es definido por Zeebe y Wolf-Gladrow (2001) como la proporción del número de átomos de dos isótopos en un compuesto químico, dividido por la proporción de estos isótopos a otro compuesto p. e. :

$$^{13}\alpha (\text{CO}_2\text{-HCO}_3^-) = \frac{^{13}\text{R}_{\text{CO}_2}}{1+^{13}\text{R}_{\text{HCO}_3^-}} \quad (2)$$

Donde  $\alpha$  = fraccionamiento isotópico y R = elemento

---

Los valores de  $\alpha$  son muy cercanos a 1.0, los números de  $10^3 \ln(\alpha)$  o  $\epsilon$  (factor de enriquecimiento), son comúnmente usados para expresar fraccionamiento isotópico en partes por mil (‰) (Lajtha y Michener 1994):

$$^{13}\text{C}\epsilon (\text{CO}_2\text{-HCO}_3^-) = (^{13}\text{C}\alpha(\text{CO}_2\text{-HCO}_3^-) - 1) \times 10^3 \quad (3)$$

La composición isotópica de una sustancia, determinada por métodos de espectrometría de masas, es medida con respecto a un estándar que en el caso del carbono sería VPDB (Viena Pee Dee Belemnite). El valor obtenido es expresado como el  $\delta$  valor de la muestra. Para obtener un valor es necesario convertir la muestra a  $\text{CO}_2$  gas.

El factor de fraccionamiento entre una muestra A y una muestra B es relacionado con los valores de  $\delta$  p. e. : en agua de mar es dar valor el carbono inorgánico y carbono orgánico.

$$A(A-B) = \delta_A + 10^3/\delta_B + 10^3 \quad (4)$$

Debido a que el factor de fraccionamiento es cercano a uno, se ha establecido que el fraccionamiento entre dos sustancias puede ser aproximado a la diferencia entre los valores de sus abundancias isotópicas p.e. diferencia entre la abundancia isotópica en carbono inorgánico con respecto al carbono orgánico o entre sustrato y producto. Aunque se reconocen algunas excepciones para hidrógeno y deuterio.

El factor de fraccionamiento permite describir procesos de interacción entre sistemas, organismos, etc.. La composición isotópica de un reservorio B depende de la abundancia de un reservorio A y el fraccionamiento es el reflejo de los procesos.

El factor delta ( $\delta$ ) describe la composición de isótopos en una sustancia, relativos a un estándar, el valor  $\delta$  es el resultado de procesos y acumulación de los elementos desde su génesis, durante la metamorfosis o degradación, medidos en un tiempo determinado.

Se dice que existe una relación entre la concentración de  $\text{CO}_2$ , la temperatura y la disponibilidad de carbono en cada ambiente. La relación se aprecia en el empobrecimiento en las abundancias isotópicas tanto en el sustrato p.e. ( $\text{CO}_2$  en el ambiente acuático) como en el



producto p.e. (carbono orgánico) en un momento determinado (Raven et al. 1993).

### Valores Isotópicos Reconocidos en Organismos Fotosintéticos Marinos

Los valores que se exponen a continuación son el producto de diversos estudios realizados con organismos del fitoplancton y sirvieron como marco de referencia para sustentar los datos que se expusieron en este estudio y cuyos intervalos para cada zona, se muestran al final de esta tabla.

Tabla comparativa de valores de abundancias relativas de carbono trece en diversos estudios.

Organismo o marco de referencia	Valor o intervalo de $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ (‰)	Referencia
diatomeas	-20.3	Rau et al. 1990
nanoplancton	-22.2	Wong y Sackett 1978
algas bénticas	-10 a -20	Fry y Sherr 1984
fitoplancton	-18 a -24	Fry y Sherr 1984
C <sub>3</sub> marinas	-23 a -26	Wong y Sackett 1978
bacteria fotosintética Chlorobium	-20	Wong y Sackett 1978
diatomeas Chaetoceros didymus, Ch. lorenzianus, Thalassiosira subtilis, T. pseudomonas, Coscinodiscus asteromphalus, Nitzschia closterium, N. frustulum, N. curvilineata.	-17.7 a -26	Wong y Sackett 1978
Planicie abisal (este estudio)	-25.39 a -20.95	
Talud continental (este estudio)	-24.11 a -21.77	
Cañón de Campeche (este estudio)	-24.36 a -21.91	