



*Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología*

Universidad Nacional Autónoma de México



**CARACTERIZACIÓN DE LA COMPOSICIÓN  
ELEMENTAL (C, N, S) DE SEDIMENTO  
SUPERFICIAL ABISAL DEL GOLFO DE MÉXICO**

**T E S I S**

**Que para obtener el grado académico de**

**Maestro en Ciencias**

**(Química Acuática)**

**p r e s e n t a**

**FRANCISCO JAVIER GARCÍA VILLALOBOS**

**Director de Tesis:**

**Dra. Elva Escobar Briones**

**Comité tutorial:**

**Dra. María Luisa Machain Castillo**

**Dra. Luz Elena Vera Ávila**

**Dr. Carlos Mortera Gutiérrez**

**Dr. Paul Blanchon**

**México, 2007**



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.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Autónoma de México, de la cual he formado parte por ya más de 10 años y me ha forjado como profesional hasta esta oportunidad en el estudio de las Ciencias del Mar.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para mis estudios de maestría.

A la Dra. Elva Escobar por la confianza, el apoyo y su buena disposición, por sus enseñanzas, pero sobre todo por su liderazgo y por la guía que nos ha brindado. Gracias por permitirme formar parte de este equipo.

Al Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología por abrirme las puertas hacia mi mayor inquietud: el estudio del océano. A los doctores Martín Merino y Gloria Vilaclara por su confianza y atención, así como a todos los que laboran en las oficinas del posgrado por su buena disposición.

A los miembros del comité tutorial: Dra. Luz Elena Vera, Dra. Ma. Luisa Machain, Dr. Carlos Mortera y Dr. Paul Blanchon; así como al revisor externo Dr. Luis Cifuentes. Les agradezco por cada recomendación y comentario a lo largo de estos dos años que ha permitido obtener lo mejor de este proyecto.

A M. en C. Nayeli López Balbiux, técnico académico de la USAI, por el apoyo brindado durante el Análisis Elemental, por su amistad y por cada recomendación.

A los miembros de la tripulación de los Buques Oceanográficos “Justo Sierra” y “Gyre” por su valioso apoyo en las maniobras de cubierta durante la recolección de muestras.

A los proyectos que han financiado la realización de este trabajo y a las agencias CONACyT y PAPIIT que los han otorgado confiando en la investigación nacional.

A todos los miembros del laboratorio de “Biodiversidad y Macroecología” que han contribuido a este trabajo, en especial a mis compañeros de los cuáles aprendí mucho.

A mis amigos Ger, Guille, Paty y Lety, gracias por su apoyo y por las palabras adecuadas en el momento indicado.

A mis papás y a mis hermanitos, que iluminan el día a día y son ejemplo y motivo de superación. Gracias por su apoyo incondicional.

A Dios, por ser todo y estar siempre aquí, conmigo.

# ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>ii</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>vlii</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Materia orgánica en los sedimentos del mar profundo	1
1.2. Metodologías empleadas en la determinación de materia orgánica	4
1.3. Interfase sedimento – agua	7
<b>2. ANTECEDENTES</b>	<b>9</b>
<b>3. ÁREA DE ESTUDIO: EL GOLFO DE MÉXICO</b>	<b>14</b>
3.1. Condiciones atmosféricas	14
3.2. Circulación	15
3.3. Química de las aguas profundas	16
3.4. Geología	17
<b>4. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>18</b>
<b>5. HIPÓTESIS</b>	<b>19</b>
<b>6. OBJETIVO</b>	<b>20</b>
6.1. Objetivos particulares	20
<b>7. METODOLOGÍA</b>	<b>21</b>
7.1. Trabajo de campo	21
7.2. Trabajo de laboratorio	26
7.3. Tratamiento de datos	27
<b>8. RESULTADOS</b>	<b>35</b>
8.1. Evaluación de la Exactitud del Método Analítico	35
8.2. Evaluación de la Precisión del Método Analítico	35
8.3. Carbono Orgánico Total	37
8.4. Nitrógeno	49
8.5. Tasa Carbono – Nitrógeno	59
8.6. Análisis de Agrupamiento Jerárquico	69

	<b>Página</b>
8.7. Regionalización de los valores de COT, N y Tasa C/N en el Golfo de México	69
8.8. Comparación de la composición elemental de los sedimentos del Golfo de México con los de la localidad Chapopote	75
8.9. Comparación de la composición elemental de los sedimentos del Golfo de México con otras regiones	77
<b>9. DISCUSIÓN</b>	<b>82</b>
9.1. Carbono Orgánico Total	82
9.2. Nitrógeno	84
9.3. Tasa C/N	85
9.4. Distribución de contenido elemental con la profundidad en la columna de agua	86
9.5. Variación de la composición elemental por zonas batimétricas	88
9.6. Variación de la composición elemental con la distancia a la costa	90
9.7. Variación espacial de la composición elemental en el Golfo de México	91
9.8. Variación temporal de la composición elemental en la estación permanente en la Planicie Abisal Sigsbee	92
9.9. Variación de la composición elemental en función de su sedimentación	93
9.10. Comparación de la composición elemental de los sedimentos del Golfo de México con los de la localidad Chapopote	95
9.11. Comparación de la composición elemental de los sedimentos del Golfo de México con otras regiones	96
<b>10. CONCLUSIONES</b>	<b>99</b>
10.1 Perspectivas	100
<b>REFERENCIAS</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO 1. Pruebas estadísticas empleadas en esta investigación</b>	<b>112</b>
<b>ANEXO 2. Pruebas estadísticas U Mann – Whitney para la comparación entre regiones fisiográficas</b>	<b>113</b>
<b>ANEXO 3. Composición elemental de sedimentos de mar profundo</b>	<b>115</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1.</b> Diagrama de la variabilidad del secuestro de la materia orgánica en tipos diferentes de sedimentos del relieve topográfico del fondo marino.	2
<b>Figura 2.</b> Factores que controlan la acumulación de materia orgánica en los sedimentos marinos.	3
<b>Figura 3.</b> Factores que limitan la acumulación de materia orgánica en mar abierto.	4
<b>Figura 4.</b> Distribución global de localidades con registros de COT en sedimentos superficiales.	10
<b>Figura 5.</b> Patrón global de distribución de COT.	10
<b>Figura 6.</b> Flujo de carbono orgánico con respecto a la profundidad.	11
<b>Figura 7.</b> Provincias definidas con base en el contenido de COT.	12
<b>Figura 8.</b> Principales regiones fisiográficas descritas para el Golfo de México.	15
<b>Figura 9.</b> Estrategia general para el desarrollo del presente trabajo.	21
<b>Figura 10.</b> Estaciones de las campañas SIGSBEE 1 a 8.	24
<b>Figura 11.</b> Estaciones de otras campañas.	25
<b>Figura 12.</b> Esquema general del trabajo experimental.	27
<b>Figura 13.</b> Esquema de la constitución de un analizador elemental C, H, N y S.	28
<b>Figura 14.</b> Estaciones de la Campañas SIGSBEE 3, 4 y 5 para el análisis por distancia a la costa.	31
<b>Figura 15.</b> Regiones fisiográficas reconocidas para las diversas estaciones de este estudio.	32
<b>Figura 16.</b> Comparación de concentración COT para evaluar la precisión.	36
<b>Figura 17.</b> Comparación de concentración de N para evaluar la precisión.	37
<b>Figura 18.</b> Distribución de carbono orgánico total (COT) en sedimento superficial del Golfo de México.	39
<b>Figura 19.</b> Distribución de carbono orgánico total por estrato de profundidad.	40
<b>Figura 20.</b> Variación en valores medios de la concentración de carbono orgánico total (COT) con respecto a la costa.	42
<b>Figura 21.</b> Distribución de la concentración de carbono orgánico total en el Golfo de México, por isóneas de concentración en porcentaje.	45
<b>Figura 22.</b> Distribución anual de las concentraciones de carbono orgánico total (COT) en la estación de la planicie abisal SIBSBEE.	47
<b>Figura 23.</b> Ubicación de las estaciones muestreadas para analizar la variación del contenido elemental en función de su sedimentación.	48

<b>Figura 24.</b>	Concentración de COT hacia el interior de sedimento para estaciones a diferentes niveles de profundidad.	49
<b>Figura 25.</b>	Distribución de nitrógeno total en sedimento superficial del Golfo de México.	50
<b>Figura 26.</b>	Distribución de la concentración de Nitrógeno en el sedimento superficial y su variación por estrato de profundidad	50
<b>Figura 27.</b>	Variación de la concentración de N con la distancia a la costa.	52
<b>Figura 28.</b>	Distribución de la concentración de N en el Golfo de México.	56
<b>Figura 29.</b>	Distribución anual de las concentraciones de Nitrógeno en la estación permanente en la Planicie Abisal Sigsbee.	57
<b>Figura 30.</b>	Concentración de N hacia el interior del sedimento para estaciones a diferente profundidad en la Planicie Abisal.	58
<b>Figura 31.</b>	Relación entre las concentraciones de COT y N para los sedimentos superficiales del Golfo de México.	59
<b>Figura 32.</b>	Ubicación de las estaciones identificadas con valores de COT y N por arriba de la media para el Golfo de México.	60
<b>Figura 33.</b>	Distribución de la tasa C/N en sedimento superficial del Golfo de México.	60
<b>Figura 34.</b>	Distribución de la tasa C/N por estrato de profundidad.	61
<b>Figura 35.</b>	Variación de la tasa C/N con la distancia a la costa.	63
<b>Figura 36.</b>	Distribución de la tasa C/N en el Golfo de México, por isolíneas de concentración.	66
<b>Figura 37.</b>	Variación anual en la concentración de la tasa C/N en la Planicie Abisal Sigsbee.	67
<b>Figura 38.</b>	Tasa C/N hacia el interior de sedimento para estaciones a diferente profundidad en la Planicie Abisal.	68
<b>Figura 39.</b>	Análisis jerárquico de clúster para las estaciones muestreadas en el Golfo de México.	70
<b>Figura 40.</b>	Comparación en la concentración de COT entre sedimentos del Golfo de México y de la localidad Chapopote.	76
<b>Figura 41.</b>	Comparación en la concentración de N en sedimentos del Golfo de México y de la localidad Chapopote.	76
<b>Figura 42.</b>	Comparación de la tasa C/N entre sedimentos del Golfo de México y de la Localidad Chapopote.	77
<b>Figura 43.</b>	Concentración de COT en los sedimentos del Golfo de México y las campañas ALVIN y EZOM.	78
<b>Figura 44.</b>	Comparación de la concentración de COT entre las campañas oceanográficas: EZOM y ALVIN, con los sedimentos del Golfo de México.	79

	<b>Página</b>
<b>Figura 45.</b> Concentración de N en los sedimentos del Golfo de México y las compañías ALVIN y EZOM.	80
<b>Figura 46</b> Comparación de la concentración de N entre las campañas oceanográficas: EZOM y ALVIN, con los sedimentos del Golfo de México.	80
<b>Figura 47.</b> Concentración de C/N en los sedimentos del Golfo de México y las compañías ALVIN y EZOM.	81
<b>Figura 48.</b> Comparación de la tasa C/N entre las campañas oceanográficas: EZOM y ALVIN, con los sedimentos del Golfo de México.	81
<b>Figura 49.</b> Concentraciones de COT con respecto a la profundidad para el Golfo de México y otras regiones.	83
<b>Figura 50.</b> Concentraciones de N con respecto a la profundidad para el Golfo de México y otras regiones.	84
<b>Figura 51.</b> Tasa C/N con respecto a la profundidad para el Golfo de México y otras regiones.	85



## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
<b>Tabla 1.</b> Recopilación de diferentes valores C/N para diferentes tipos de fuentes de materia orgánica en sedimentos.	6
<b>Tabla 2.</b> Abreviaciones de las Provincias Regionales basadas en el contenido de COT de sedimento superficial.	12
<b>Tabla 3.</b> Parámetros con los valores respectivos que definen a cada una de las distintas provincias definidas a partir del contenido de COT de sedimentos superficiales.	13
<b>Tabla 4.</b> Estaciones de muestreo en el Golfo de México para cada campaña.	22
<b>Tabla 5.</b> Estaciones para otras campañas de la región.	24
<b>Tabla 6.</b> Número de muestras para otras campañas de la región con intervalos de longitud, latitud y profundidad.	26
<b>Tabla 7.</b> Exactitud del Método para Carbono orgánico total.	35
<b>Tabla 8.</b> Resultados de la evaluación de repetitividad del método analítico.	35
<b>Tabla 9.</b> Concentraciones de COT y N y tasa C/N para los sedimentos superficiales de mar profundo del Golfo de México.	37
<b>Tabla 10.</b> Concentración de carbono orgánico total (COT) para sedimentos del Golfo de México por estrato de profundidad.	40
<b>Tabla 11.</b> Concentración de carbono orgánico total (COT) para sedimentos del Golfo de México por zona batimétrica.	41
<b>Tabla 12.</b> Concentración de COT para sedimentos del Golfo de México por regiones fisiográficas.	43
<b>Tabla 13.</b> Concentración de carbono orgánico total (COT) para sedimentos del Golfo de México por sectores Norte y Sur.	44
<b>Tabla 14.</b> Concentración de carbono orgánico total (COT) para sedimentos del Golfo de México por sectores Norte y Sur.	45
<b>Tabla 15.</b> Valores anuales de la concentración de carbono orgánico total (COT) para la estación permanente de la Planicie Abisal Sigsbee.	46
<b>Tabla 16.</b> Concentración media de COT por nivel para cada una de las estaciones muestreadas.	48
<b>Tabla 17.</b> Concentración de Nitrógeno para sedimentos del Golfo de México por estrato de profundidad.	51
<b>Tabla 18.</b> Concentración de nitrógeno (N) para sedimentos del Golfo de México por zona batimétrica.	52
<b>Tabla 19.</b> Concentración de nitrógeno (N) para sedimentos del Golfo de México por regiones.	53
<b>Tabla 20.</b> Concentración de nitrógeno (N) para sedimentos del Golfo de México por sectores Norte y Sur.	54

	<b>Página</b>
<b>Tabla 21.</b> Concentración de nitrógeno (N) para sedimentos del Golfo de México por sectores Norte y Sur.	55
<b>Tabla 22.</b> Valores anuales de la concentración de nitrógeno (N) para la estación permanente de la Planicie Abisal Sigsbee.	56
<b>Tabla 23.</b> Concentración media de N por nivel para cada una de las estaciones muestreadas.	58
<b>Tabla 24.</b> Tasa C/N para sedimentos del Golfo de México por estrato de profundidad.	61
<b>Tabla 25.</b> Tasa C/N para sedimentos del Golfo de México por zona batimétrica.	62
<b>Tabla 26.</b> Tasa C/N por regiones fisiográficas.	64
<b>Tabla 27.</b> Tasa C/N para sedimentos del Golfo de México por sectores Norte y Sur.	65
<b>Tabla 28.</b> Tasa C/N para sedimentos del Golfo de México por sectores Norte y Sur.	65
<b>Tabla 29.</b> Valores anuales de la tasa carbono-nitrógeno (C/N) para la estación permanente de la Planicie Abisal Sigsbee.	67
<b>Tabla 30.</b> Medias de C/N por nivel para cada una de las estaciones muestreadas.	68
<b>Tabla 31.</b> Composición elemental de las zonas fisiográficas del Golfo de México.	71
<b>Tabla 32.</b> Concentraciones de COT, N, S y tasa C/N para sedimentos del Golfo de México y de la Localidad Chapopote.	75
<b>Tabla 33.</b> Concentraciones de COT, N, S y la tasa C/N para sedimentos del Golfo de México y de otras regiones.	78
<b>Tabla 34.</b> Promedio y desviación estándar de los valores de COT para otras localidades del océano mundial	83
<b>Tabla 35.</b> Caracterización elemental de los sedimentos del Golfo de México por zonas.	89

## RESUMEN

El presente trabajo caracterizó el contenido de Carbono orgánico total, Nitrógeno y la tasa Carbono-Nitrógeno en los sedimentos superficiales que se recolectaron en 115 localidades del Golfo de México durante las campañas oceanográficas: SIGSBEE, PROMEBIO y DGoMB, realizadas en el verano de los años 1997 a 2005. Las muestras de este estudio provienen de profundidades entre 1,025 m y 3,795 m. El procedimiento empleado para la determinación de estos elementos fue el Análisis Elemental, previa separación de la fracción inorgánica de la muestra. La metodología fue evaluada para determinar su precisión ( $CV < 3\%$ ) y exactitud (recobro  $\approx 100\%$ ) y de esta manera comprobar la confiabilidad de los resultados obtenidos. El Carbono orgánico total (COT) presentó una concentración media de  $0.9\% \pm 0.3\%$ . La concentración media de Nitrógeno (N) fue de  $0.12\% \pm 0.03\%$  y la tasa C/N osciló en  $8.0 \pm 1.7$ . En ninguna de las muestras de fondos con sedimentos hemipelágicos del mar profundo se registró contenido de azufre. Este estudio indica que la composición elemental de los sedimentos abisales sin actividad quimioautotrófica está controlada por la profundidad, siguiendo un patrón parabólico (polinomial) para el COT y el N. La tasa C/N permitió reconocer que la materia orgánica en el sedimento superficial es de origen hemipelágico con una mezcla de materia orgánica terrígena.

Por otra parte, la topografía de la región fue un factor de importancia en los valores de contenido de COT y N presentándose diferencias significativas entre las regiones fisiográficas ubicadas sobre el Talud continental (COT=  $0.8\% \pm 0.2\%$ ; N=  $0.11\% \pm 0.04\%$ ; n=39) y la Planicie Abisal (COT=  $1.0\% \pm 0.3\%$ ; N=  $0.12\% \pm 0.03\%$ ; n=44). De manera general se observó que las concentraciones de COT y N disminuyen hacia el interior del sedimento, mientras que la tasa C/N aumenta. Con distancia a la costa solamente se registró la dilución de la materia orgánica por efecto del material terrígeno plasmado en la variación de la tasa C/N. Los valores de COT y N recolectados en una estación permanente de serie de tiempo en la planicie abisal a 3740m de profundidad se mantuvieron sin variación a lo largo del tiempo.

Otras muestras provenientes de localidades de sedimentos blandos tanto en el volcán de asfalto "Chapopote" en la Bahía de Campeche (3,300 m), como en la inmediación de un cadáver de una ballena y en la zona de oxígeno mínimo, en el Pacífico Mexicano presentaron concentraciones de COT y N claramente mayores, además de registrar contenido de azufre en el sedimento.

## ABSTRACT

The current work characterized the content of total organic Carbon, Nitrogen and the Carbon-Nitrogen ratio in the superficial sediments collected at 115 locations in the Gulf of Mexico during the oceanographic campaigns: SIGSBEE, PROMEBIO and DGoMB, carried out in the summer of years 1997 to 2005. The samples of this study come from depths between 1,025 m and 3,795 m. The procedure used for the determination of these elements was the Elementary analysis, previous separation of the inorganic fraction of the sample. The methodology was evaluated to determine its precision ( $CV < 3\%$ ) and accuracy ( $\approx 100\%$ ) in order to check the loyalty of the obtained results. The total organic Carbon (TOC) presented a mean concentration of  $0.9\% \pm 0.3\%$ . The mean concentration of nitrogen (N) was of  $0.12\% \pm 0.03\%$  and the C/N ratio oscillated into  $8.0 \pm 1.7$ . None of the bottom samples of hemipelagic sediments in the deep sea registered Sulphur contents. This study indicates that the elementary composition of the abyssal sediments without chemoautotrophic activity is controlled by the depth, following a parabolic pattern (polynomial) for TOC and N. The C/N ratio allowed us to recognize that the organic matter in the superficial sediments has a hemipelagic origin with a mixture of terrigenous organic matter.

The topography of the region was an important factor in the contents of TOC and N presenting significant differences among the physiographic regions located on the Continental Slope (TOC =  $0.8\% \pm 0.2\%$ ; N =  $0.11\% \pm 0.04\%$ ; n=39) and the Abyssal Plain (TOC =  $1.0\% \pm 0.3\%$ ; N =  $0.12\% \pm 0.03\%$ ; n=44). In general, it was observed that the concentrations of TOC and N diminish toward the interior of the sediment, while the C/N ratio increases. With distance to the coast it was registered only the dilution of the organic matter as an effect of the terrigenous material showed by the variation of the C/N ratio. The concentrations of TOC and N registered in a permanent station of time series in the abyssal plain at 3,740m of depth stayed without variation through time.

Other samples coming from locations of soft sediments in the asphalt volcano "Chapopote" in the Campeche Bay (3,300 m), in the immediacy of a corpse of a whale and in the area of minimum oxygen in the Mexican Pacific presented concentrations of TOC and N clearly bigger, besides registering Sulphur contents in the sediment.

# 1. INTRODUCCIÓN

El mar profundo se caracteriza por la ausencia de luz debido a que casi toda ha sido dispersada en los primeros 200m de la columna de agua (hasta  $800 \text{ W m}^{-2}$ , Denton, 1990). La temperatura varía de 4 a  $-1 \text{ }^\circ\text{C}$  y la salinidad por debajo de los 2000 m es constante ( $34.8 \pm 0.3\text{‰}$ ; Sverdrup et al., 1970), mientras que la presión hidrostática aumenta 1bar por cada 10 m de profundidad (Sverdrup et al., 1970). Las aguas profundas se encuentran bien oxigenadas ( $5 \text{ a } 5.75 \text{ mL L}^{-1}$ ), a excepción de las zonas de oxígeno mínimo que se encuentran en diferentes profundidades que van desde los 20 hasta los 2500 m (Emelyanov, 2006) y se caracterizan por poseer valores de oxígeno por debajo de los  $0.5 \text{ mL L}^{-1}$  (Rogers, 2000).

Los sedimentos de mar profundo provienen del depósito de partículas en aguas oceánicas con profundidad mayor a los 500 m. Los factores que caracterizan el mar profundo son, según Chester (2000) la reactividad entre componentes y partículas disueltas en la columna de agua, la presencia de una producción distintiva de biomasa y el reducido transporte continental. Este ambiente difiere de los ambientes transicionales por el tamaño de partícula (60 a 70% del material no biogénico son arcillas con diámetro  $< 2 \text{ }\mu\text{m}$ ; Chester, 2000) y una tasa baja de sedimentación (con  $< 10 \text{ mm}$  por cada mil años para los sedimentos pelágicos; Griffin et al., 1968).

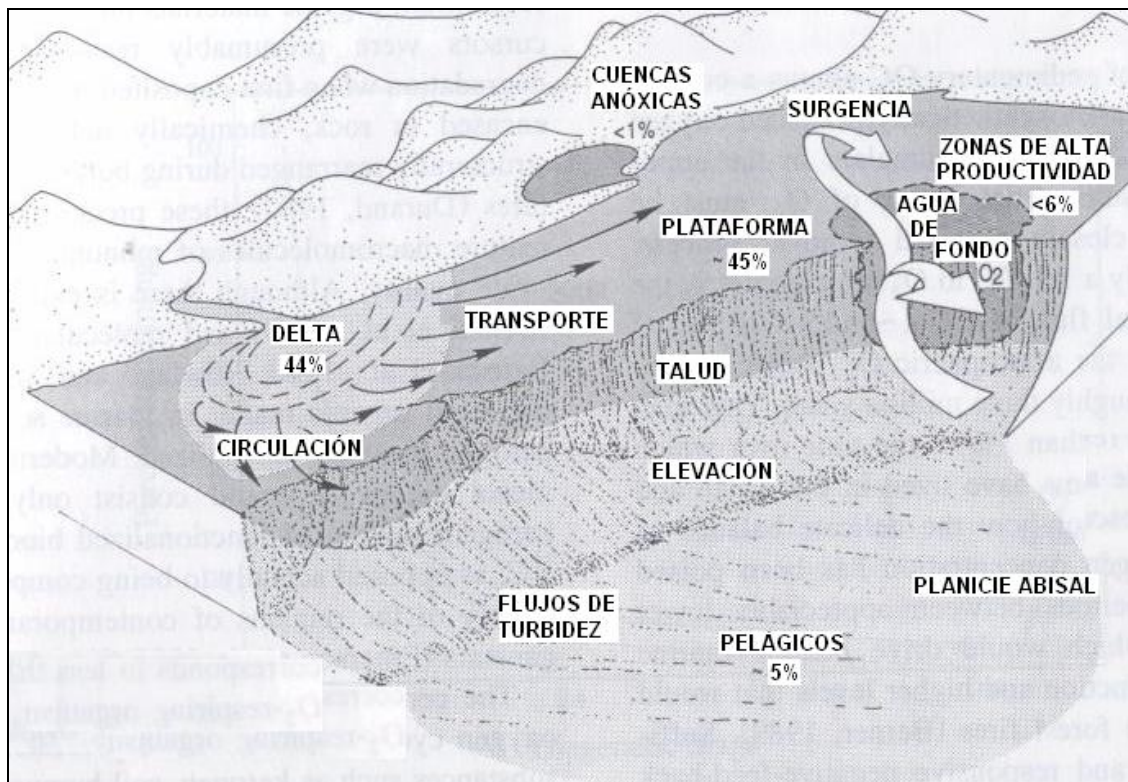
Las tasas de acumulación decrecen con la distancia a la fuente de sedimento que puede ser continental o un área de productividad biogénica alta, como ocurre en las zonas de surgencia (Fütterer, 2000). Por ejemplo, las desembocaduras de grandes ríos presentan tasas de sedimentación altas de hasta  $10 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ , (McKee et al., 2004). Las cuencas oceánicas más alejadas de los márgenes continentales, como el centro del Océano Pacífico, se caracterizan por fondos de arcillas rojas y con las tasas de sedimentación más bajas ( $1 \text{ a } 3 \text{ mm } 1000 \text{ a}^{-1}$ , Berger, 1974).

## 1.1. Materia orgánica en los sedimentos del mar profundo

La materia orgánica en los sedimentos marinos representa un almacén importante para el ciclo global del carbono (Hedges y Keil, 1995; Weston y Joye, 2005). Por una parte se vincula con la diagénesis temprana (Bordovskiy, 1965b) y juega un papel importante en la química del océano (Lee, 1994). La materia orgánica contenida en el sedimento puede ser de

origen terrestre (lignanos), marino (pigmentos fotosintéticos) y antropogénico (esteroles específicos) y se ha determinado por medio de análisis de los sedimentos empleando muestras procedentes de trampas de sedimento o núcleos de sedimento superficial de diversas partes del océano (Hedges et al., 1988).

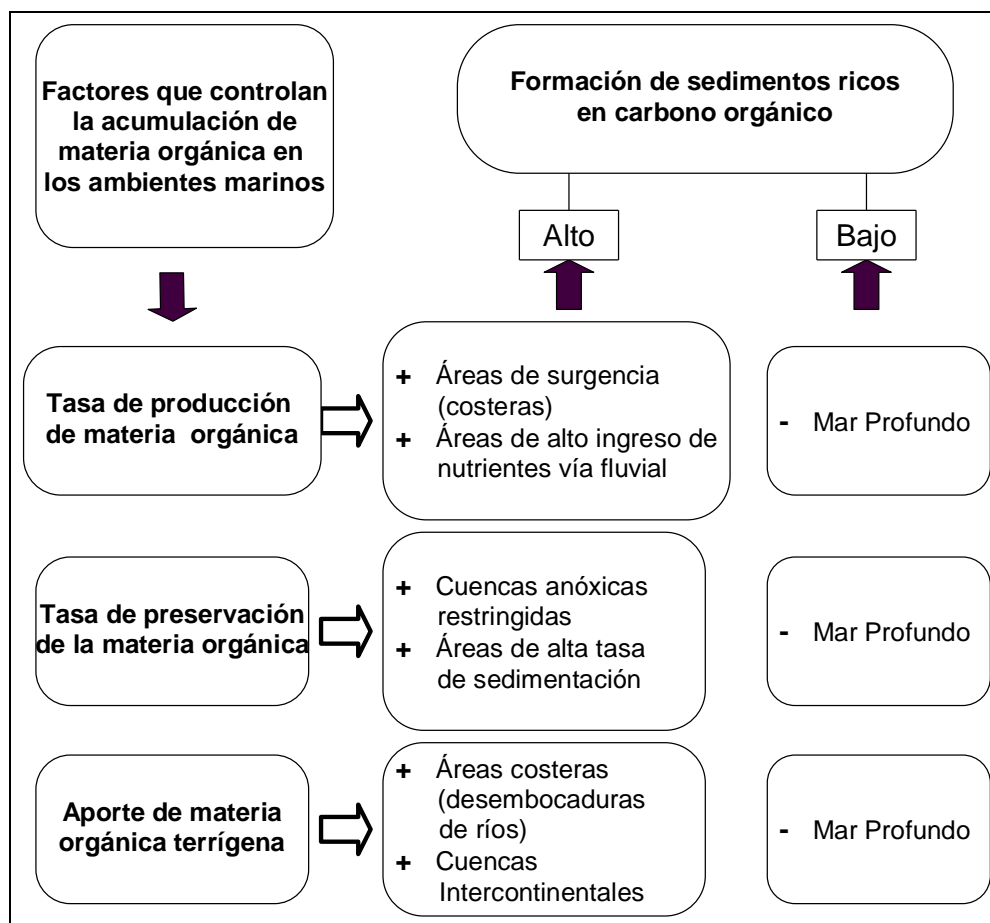
La mayor parte del carbono orgánico se genera por fijación del carbono inorgánico durante la fotosíntesis a partir del CO<sub>2</sub> atmosférico (Lee, 1994). La producción primaria (PP) en el océano es suficiente (40 a 50 Gt C a<sup>-1</sup>) para sostener herbívoros, bacterias descomponedoras y otros protistas no fotosintéticos (Longhurst et al., 1995). Sin embargo, sólo una pequeña fracción del carbono orgánico particulado (1.5% de la PP en mar abierto y > 17% en el talud) llega al sedimento superficial y al bentos, donde es oxidado en su mayor parte (Seiter et al., 2004). Wollast, en 1998 describió que aproximadamente 0.5% a 3% de la PP de la plataforma y el Talud continentales y 0.014% en el mar abierto es secuestrada en los sedimentos. El 80% de este carbono orgánico secuestrado se localiza en los márgenes continentales, representando el principal depósito de carbono en el océano actual (Wollast, 1998). La tasa de secuestro total de carbono es de 0.16 x 10<sup>15</sup> g C a<sup>-1</sup> (Hedges y Keil, 1995) y difiere (Fig. 1) para tipos diferentes de sedimentos marinos.



**Figura 1.** Diagrama de la variabilidad (en porcentaje) del secuestro de la materia orgánica en tipos diferentes de sedimentos del relieve topográfico del fondo marino (Tomado y modificado de Hedges y Keil, 1995).

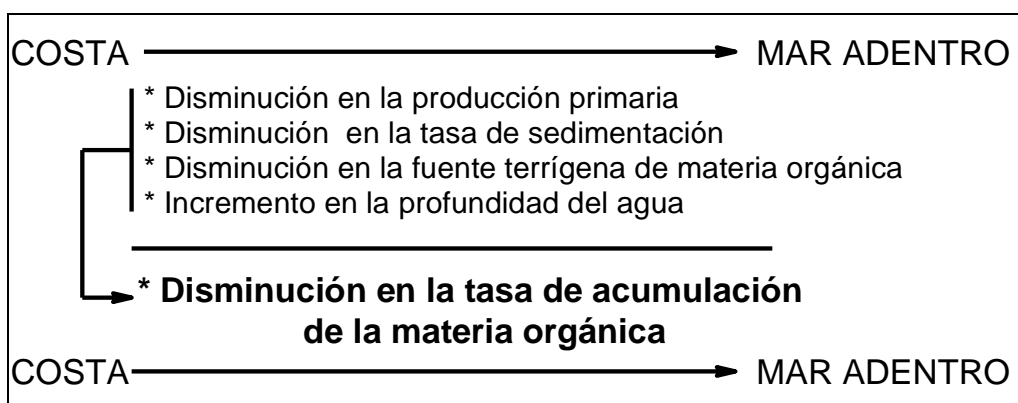
El flujo de carbono orgánico disminuye rápidamente conforme aumenta la profundidad en la columna de agua debido a la remineralización de la materia orgánica (Suess, 1980). En la escala global, la acumulación de la materia orgánica (en términos de carbono orgánico total, COT), refleja al patrón de distribución de la biomasa fitoplanctónica (Seiter et al., 2004). Regionalmente, sin embargo, existe una variabilidad ligera en los procesos biogeoquímicos y sedimentarios que conlleva a una desviación de este patrón (Zabel et al., 1998).

La PP de las zonas costeras (aproximadamente  $200 \text{ gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ , Wollast, 2001) es exportada a mar abierto a través de transporte lateral siguiendo el patrón de corrientes (Mollenhauer et al., 2002). Una fuente adicional de carbono orgánico es suministrada por la descarga de ríos (McKee et al., 2004) y por el viento (Gagosian y Peltzer, 1986). La descarga mundial de carbono orgánico de origen fluvial es de casi  $0.4 \text{ Gt C a}^{-1}$  (McKee et al., 2004). Los factores que controlan la acumulación de carbono orgánico se muestran en las Figuras 2 y 3.



**Figura 2.** Factores que controlan la acumulación de la materia orgánica en los sedimentos marinos (Tomado y modificado de Stein, 1991).

Otro factor que controla la concentración de la materia orgánica en los sedimentos es la preservación (Lee, 1994), sólo se secuestra y preserva en el sedimento superficial una fracción pequeña de la materia orgánica que escapa de la descomposición o remineralización durante la exportación (Hedges y Keil, 1995). Los estudios sobre los factores que controlan la preservación de la materia orgánica en los sedimentos marinos reconocen: la presencia y concentración de oxígeno (Canfield, 1994), la productividad primaria de la zona y la tasa de sedimentación (Suess, 1980), así como el origen de la materia orgánica (Aller y Mackin, 1984). La eficiencia en la preservación de la materia orgánica en el sedimento es menor al 0.5% considerando que la PP de los océanos es de  $50 \times 10^{15} \text{ gC a}^{-1}$ ; (Longhurst et al., 1995) y la tasa de secuestro es de  $0.16 \times 10^{15} \text{ gC a}^{-1}$  (Hedges y Keil, 1995). La degradación de la materia orgánica es selectiva (Canfield, 1994) y modifica las características químicas de la materia orgánica antes de que ésta se incorpore a los sedimentos (Aller y Mackin, 1984). Las transformaciones continúan en el sedimento hasta por millones de años (Meyers, 1993).



**Figura 3.** Factores que limitan la acumulación de materia orgánica en mar abierto (Tomado y modificado de Stein, 1991).

El nitrógeno orgánico juega un papel importante como fuente de nutrientes (Schulz y Zabel, 2000). Bioquímicamente se ha reconocido que tanto las concentraciones de carbono orgánico total y nitrógeno son indicadores de diagénesis (Wakeham, 2002). Los porcentajes de carbono orgánico total (COT) y nitrógeno (N) decrecen conforme incrementa la profundidad en el sedimento debido a la remineralización de la materia orgánica y a la oxidación no biológica durante el proceso de diagénesis (Wakeham, 2002).

## 1.2. Metodologías empleadas en la determinación de la materia orgánica



La composición de la materia orgánica puede determinarse con estrategias diversas (Stein 1991). Cada estrategia proporciona información diferente, las más comunes son: el análisis elemental, que permite la determinación de la composición de diversos elementos: C, N, H, S; la pirólisis de rocas para la determinación de los índices de oxígeno e hidrógeno, la isotopía estable de carbono 13 y nitrógeno 15; y la cromatografía de gases y espectrometría de masas (CG/EM) para la determinación de biomarcadores.

La determinación de carbono orgánico total se lleva a cabo por metodologías diversas (Bisutti et al., 2004) entre las cuales se encuentran la oxidación química empleando agentes oxidantes como cromato o persulfato, la combustión seca y húmeda, la separación del carbono orgánico del inorgánico por tratamiento ácido y por el método de pérdida por ignición.

Las metodologías de detección se han descrito por Froelich (1980) y Bisutti et al. (2004) y se basan en la medición de CO<sub>2</sub> formado o en la determinación del agente oxidante. Las técnicas analíticas más empleadas son la espectroscopía infrarroja de tipo no dispersivo, la detección de conductividad térmica, titulación del CO<sub>2</sub> captado con una base fuerte, gravimetría empleando bulbos de absorción, medición manométrica, espectroscopia de infrarrojo cercano (NDIR), titulación coulométrica, por detector de ionización de flama, potenciometría y la cromatografía de gases o de iones.

Los estudios que se han realizado acerca del desarrollo y análisis de estos métodos son numerosos (King et al., 1998), sin embargo el intervalo de detección varía por el método de oxidación y la técnica de detección, por ejemplo, el intervalo de NDIR va de 0.5 µg C L<sup>-1</sup> a 25 mg C L<sup>-1</sup> (Chang et al., 2005), las técnicas de conductividad térmica detectan arriba de 1g C L<sup>-1</sup>, mientras que la cromatografía disminuye los límites a 2 µg C L<sup>-1</sup> y ofrece una sensibilidad hasta 100 veces superior a las titulaciones o mediciones gravimétricas o manométricas (Bisutti et al., 2004).

Por medio de un análisis elemental es posible determinar en el sedimento el carbono total y orgánico, nitrógeno, hidrógeno, oxígeno y azufre, entre otros. El carbono total, nitrógeno y azufre se determinan a partir de una muestra de sedimento, mientras que para la determinación del carbono orgánico es necesario tener las muestras de sedimento libres de carbonato (Stein, 1991). A partir de estos datos es posible determinar algunos otros

parámetros como el carbono orgánico total (COT), el contenido de carbonatos ( $\text{CaCO}_3$ ) y la relación de carbono orgánico total y nitrógeno total (C/N).

La tasa C/N permite caracterizar el origen de la materia orgánica, debido a que los diferentes grupos de organismos contienen diferentes proporciones de carbono y nitrógeno (Stein, 1991). Los valores promedio para C/N de zooplancton y fitoplancton marino son alrededor de 6, pero pueden oscilar entre 4 y 10 debido a la descomposición preferencial de los componentes ricos en proteínas (Meyers, 1993). En contraste, las plantas vasculares superiores terrestres poseen valores de C/N mayores a 15. La Tabla 1 muestra algunos de los valores promedio de C/N para diferentes organismos. Un punto importante a considerar es que, en el caso de sedimentos ricos en nitrógeno inorgánico, fijado como iones amonio entre las capas de las arcillas minerales, puede conllevar a una mayor proporción de nitrógeno total y por lo tanto causar disminución en los valores de C/N (Meyers, 1993). Por esta razón la tasa C/N es usada preferentemente en los casos en el que el sedimento es rico en carbono orgánico, porque entonces el nitrógeno es predominantemente orgánico, en estos casos existe una correlación significativa entre C y N, con un intercepto en cero que demuestran que todo el nitrógeno presente en el sedimento es de tipo orgánico (Hedges et al., 1988). Algunos estudios muestran que los valores de C/N incrementan conforme aumenta la profundidad en el sedimento, esto se debe a que los compuestos que contienen nitrógeno son preferentemente usados por las bacterias que habitan en él con respecto al carbono (Wakeham, 2002).

**Tabla 1.** Recopilación de diferentes valores C/N para diferentes tipos de fuentes de materia orgánica en sedimentos (Modificado de Meyers, 1993 y Stein, 1991).

<b>Fuente de Materia Orgánica</b>	<b>C/N</b>
Plantas terrestres $\text{C}_3$	38 – 91
Plantas terrestres $\text{C}_4$	42 – 160
Fitoplancton lacustre	7 – 8
Fitoplancton marino	5
Algas verde-azules	5 – 8
Diatomeas	4 - 9
Bacterias	3 – 5

Por su parte, la presencia de azufre (S) en los sedimentos marinos está íntimamente ligada, desde el punto de vista microbiológico, con la presencia de bacterias quimioautotróficas ó

heterotróficas y al excesivo acumulo de materia orgánica (Jorgensen y Nelson, 2004). La oxidación de ácido sulfhídrico a sulfatos por Fe (III) se presenta en sedimentos con actividad bacteriana grande, en la interfase sedimento-agua rica en oxígeno con bioturbación e irrigación ocasionada por la fauna béntica intersticial (Jorgensen y Nelson, 2004). Los depósitos masivos de sulfuros existentes en las dorsales oceánicas y los mecanismos de formación en el ambiente marino se han descrito predominantemente de sistemas hidrotermales (Edwards, 2004). El azufre en el ambiente marino se encuentra predominantemente en su estado más oxidado como sulfato (VI) y en las formas reducidas como sulfuro (-II) y pirita (-I), la mayor parte del sulfuro producido en los sedimentos marinos se oxida eventualmente a sulfatos por una ruta compleja que incluye intermediarios y reacciones bioquímicas diversas (Zopfi et al., 2004). La formación de estos intermediarios en los sedimentos marinos ocurre principalmente a través de la oxidación de sulfuro producida durante la sulfato reducción bacteriana, siendo éste el proceso aceptor de electrones de importancia inmediata en la degradación de la materia orgánica después de la respiración aeróbica (Zopfi et al., 2004).

### **1.3. La interfase sedimento-agua**

La interfase sedimento-agua implica la superficie geométrica entre la columna de agua y los sedimentos, sin embargo, biogeoquímicamente es la zona donde la materia orgánica se acumula a partir de su exportación en la columna de agua y eventualmente es metabolizada por la comunidad heterotrófica del sedimento (Mayer, 1993). El grosor de esta zona puede comprender un intervalo desde un milímetro hasta más de un metro dependiendo de la perspectiva y del proceso involucrado. Las características físicas de esta zona están determinadas por la combinación de factores diversos caracterizadas por un contenido elevado de agua, desechos biológicos, por la mezcla horizontal y vertical, la resuspensión y la actividad biológica intensa (Mayer, 1993). Comparado con los sedimentos que se encuentran debajo de la interfase sedimento-agua, esta zona usualmente está enriquecida de materia orgánica lábil que ha descendido recientemente de la columna de agua y no se ha degradado (Wakeham, 2002). La resuspensión y la bioturbación alteran la topografía y las características en el sedimento debido a la mezcla y a la redistribución de partículas en escalas de tiempo diferentes (Mayer, 1993). Los organismos vivos están presentes en concentraciones mayores que en cualquier otra zona marina, por ejemplo las bacterias ocurren  $10^3$  a  $10^4$  veces más abundantemente encostrando una actividad mayor que en la

columna de agua (Deming y Baross, 1993). Con base en lo descrito por Mayer (1995), la mayoría de los organismos presentes en los sedimentos marinos son heterótrofos dependientes del aporte de materia orgánica proveniente de la columna de agua y de su acumulación en la interfase. Estos organismos y la serie de procesos biogeoquímicos que ocurren en la interfase sedimento-agua consumen más del 90% del carbono orgánico que es exportado. Así mismo, estudios diversos, como el de Aller (1993), reconocen que el rearrreglo de las partículas del sedimento y las actividades de irrigación por la fauna béntica promueven el proceso de remineralización de la materia orgánica.

Los cambios en la concentración y composición de la materia orgánica de los sedimentos se llevan a cabo en esta zona interfacial y la combinación de los procesos que producen dichos cambios se denomina diagénesis. Muchas de las reacciones de remineralización y transformación que acompañan a la diagénesis ocurren por el hecho de que este proceso aprovecha la energía de los organismos bénticos heterótrofos. El proceso de diagénesis es rápido en la escala geológica (en un período que abarca de meses a siglos) y la mayor parte de la descomposición ocurre en los primeros 10 cm del sedimento que es donde habita la fauna béntica. El estudio de las tasas y mecanismos de alteración de la materia orgánica está estrechamente relacionado con la transferencia de energía en la comunidad béntica, la preservación del carbono orgánico y el control global del oxígeno atmosférico (Wakeham, 2002).

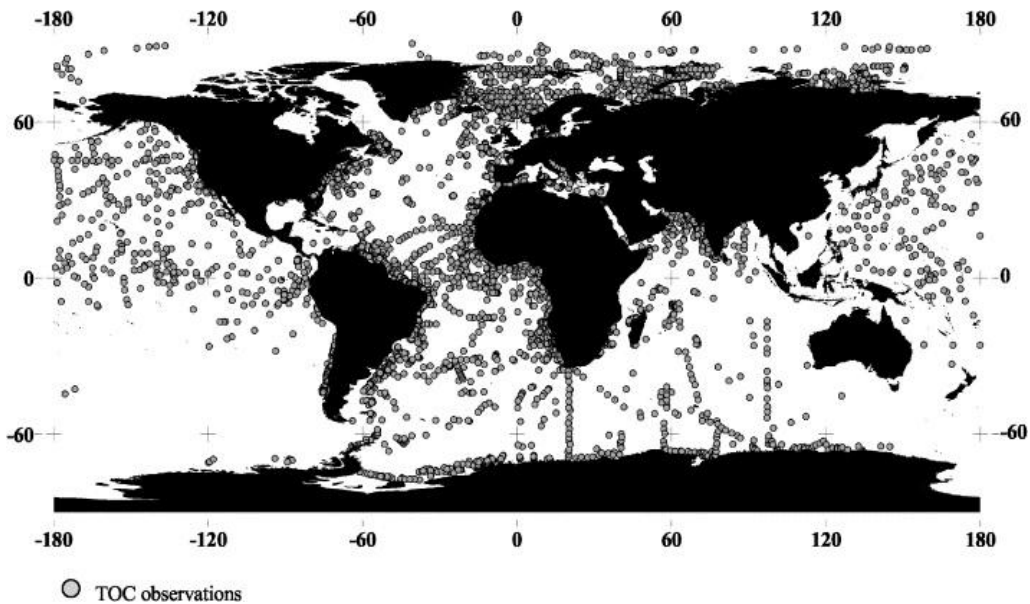
Uno de los patrones de la composición de sedimentos marinos observable fácilmente es que el contenido de carbono orgánico (OC) incrementa conforme el tamaño medio de partícula disminuye. Mayer (2004 a y b) ha descrito que esta relación se debe únicamente a que las partículas de materia orgánica y los granos minerales más finos son transportados en una tasa similar y que el aporte de agentes oxidantes a la materia orgánica es más restringido en los depósitos ricos en arcillas. El porcentaje de carbono orgánico está directamente relacionado más con el área superficial (SA) de los sedimentos que con la textura. Particularmente la relación OC/SA en el océano abierto es siempre menor a  $0.5 \text{ mg OC m}^{-2}$  (Hedges y Keil, 1995).

## 2. ANTECEDENTES

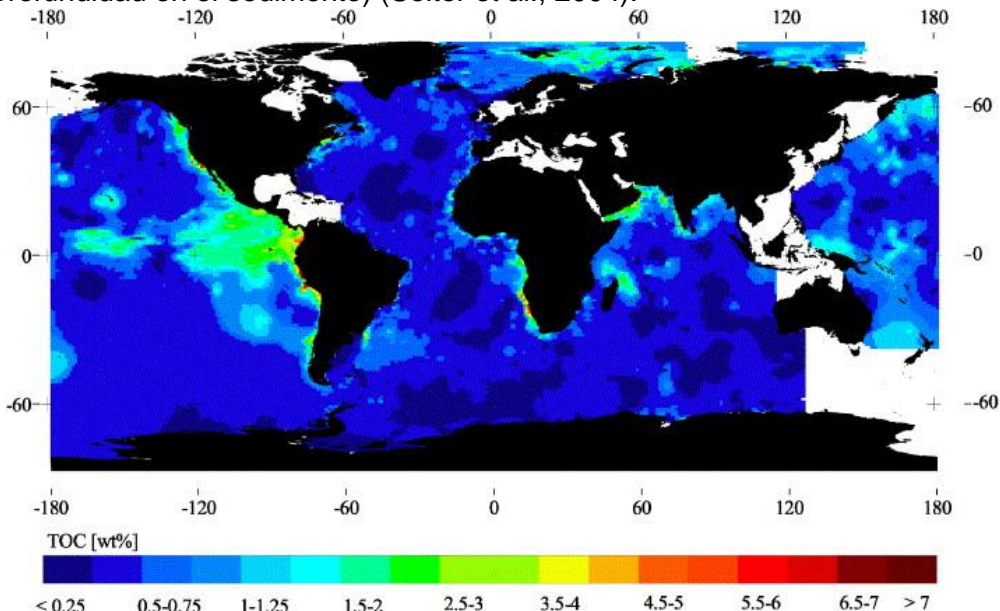
Los primeros estudios que pretenden determinar cómo es la distribución del carbono orgánico en sedimentos del mar profundo fueron realizados en las décadas de los sesenta y setentas (Bordovskiy, 1965a), y éstos, a su vez, fueron resumidos en años posteriores en el trabajo de Premuzic (1982). Los mapas generados de estos trabajos reflejan claramente un patrón de distribución en el cual depósitos mayores de carbono orgánico (> 0.5%) ocurren a lo largo de los márgenes continentales y disminuyen (<0.5 %) con distancia y profundidad hacia las grandes cuencas (Seiter et al., 2004). Durante los últimos 20 años, diversos autores publicaron datos en la escala regional como la síntesis del Océano Pacífico Norte (Cwienk, 1986), el Atlántico (Mollenhauer, 2004) y el Mar Índico (Vetrov et al., 1997; Vetrov y Romankevitch, 1997). Todos estos trabajos permiten la predicción en la gran escala a través de modelos de interpolación y el uso de un algoritmo. Otro trabajo similar es el realizado por Jahnke (1996) el cual analiza la distribución de carbono orgánico para los principales océanos (Pacífico, Atlántico e Índico) con base en el flujo de partículas de la columna de agua.

Un estudio importante es el de Seiter et al. (2004), que presenta una compilación de todos los datos de COT de los sedimentos superficiales del fondo marino y que permite caracterizar provincias y regiones a partir del contenido de COT, junto con otros factores como lo son el contenido de carbonato, sílice y la producción primaria (PP), entre otros. El resultado es un mapa global de la distribución de COT con una resolución de cuadrantes de 1° x 1° de latitud y longitud. En general, el patrón reconoce un esfuerzo mayor en sedimentos costeros y notablemente menor en aguas oceánicas (Figura 4). Los registros están ausentes en la región de estudio, el Golfo de México.

Con base en este estudio, el 80% de las localidades con determinaciones de COT representan un 12% del área total de los océanos, y corresponden a la plataforma y Talud continental, mientras que el resto del área (88% correspondiente a las grandes cuencas oceánicas) solamente está representado en 20% de los registros. El esfuerzo mayor de registros de COT se agrega en el Océano Atlántico a lo largo del margen continental del oeste de África, en las costas de Namibia y Congo donde también se han documentado los valores más elevados. En el Océano Pacífico, el número mayor de registros está localizado a lo largo del margen continental de Perú y Chile y la costa de California con valores elevados de COT. Las costas de la India y Oman en el Mar Árabe presentan sedimentos enriquecidos con COT (Figura 5).



**Figura 4.** Distribución global de localidades con registros de COT en sedimentos superficiales (<5cm de profundidad en el sedimento) (Seiter et al., 2004).

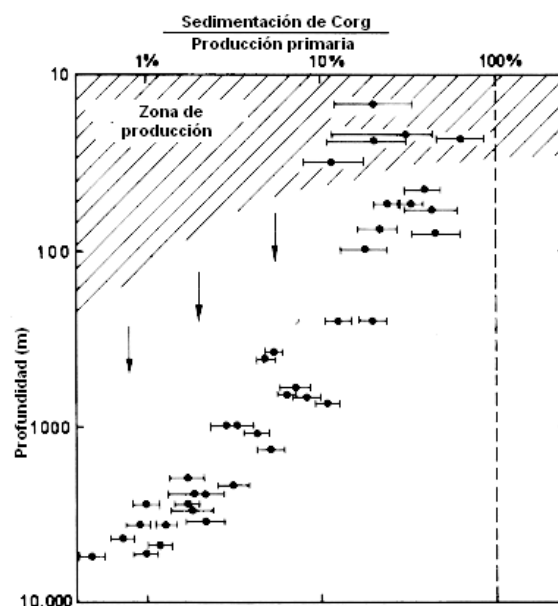


**Figura 5.** Patrón global de distribución de COT (valores en porcentaje del peso) contenido en sedimentos superficiales (Seiter et al., 2004).

El contenido promedio de COT en el mar profundo en el marco global es de 0.5%, en tanto que los márgenes al oeste de los continentes es del 2%. Las zonas costeras sostienen valores en un intervalo de 0.05% a 21.2%, con una media de 1.5%, mientras que las grandes cuencas presentan un intervalo de 0.01% a 4.8%, con una media de 0.4%. Las costas ubicadas al oeste de los continentes poseen una media mayor que el promedio global de COT, debido a la productividad elevada ( $> 200 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ) de estas zonas.

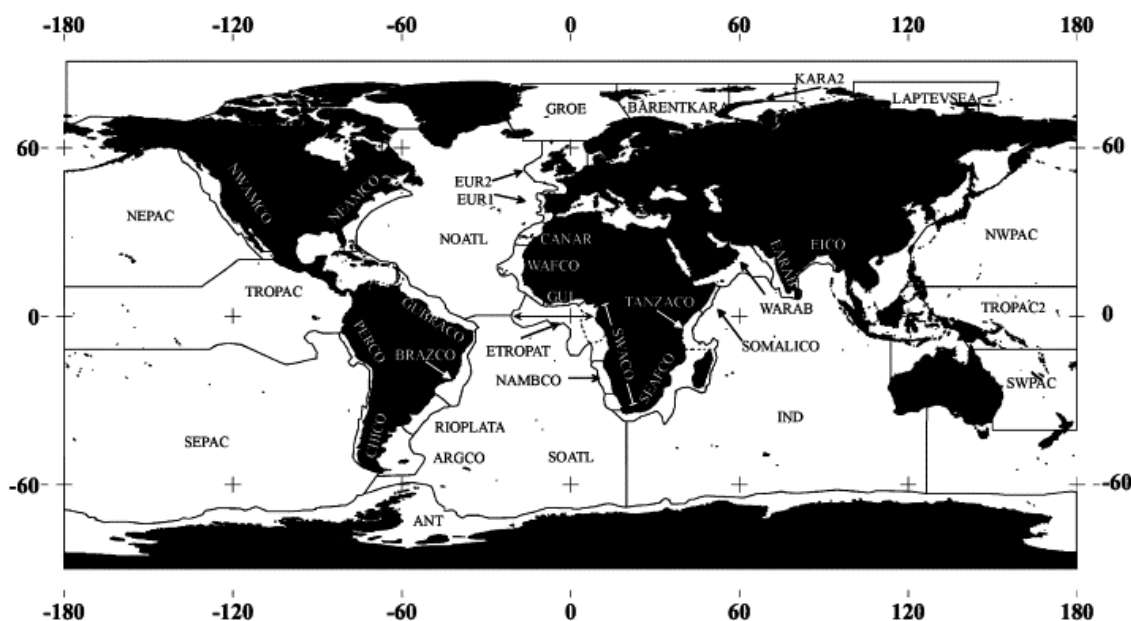
Las tendencias observadas se pueden explicar a partir del diagrama propuesto por Suess (1980), el cual relaciona la producción primaria y el flujo de carbono orgánico con la

profundidad (Figura 6). Este diagrama reconoce que el flujo de materia orgánica a los sedimentos depende predominantemente de la productividad primaria y de la profundidad del agua. Los sedimentos que se encuentran bajo de zonas de surgencia y por lo tanto de alta productividad primaria a lo largo de los continentes, presentan tasas de remineralización y contenido de materia orgánica mayor que los que se encuentran en zonas de baja productividad en las regiones centrales de los océanos. Cuando el flujo de materia orgánica se relaciona a la productividad local, la fracción que llega al sedimento está principalmente en función de la profundidad. Con base en la Figura 6, entre el 10 al 50% de la producción primaria en la plataforma (0-200 m de profundidad) se deposita en el fondo. Esta fracción decrece gradualmente hasta cerca del 1% en sedimentos pelágicos entre 5000 y 6000 m de profundidad (Suess, 1980). El estudio de distribución del carbono orgánico basado en la exportación al sedimento como COP procedente de la columna de agua depende de factores como la concentración de oxígeno y su consumo en la columna de agua y en el sedimento (Jahnke, 1996).



**Figura 6.** Flujo de carbono orgánico con respecto a la profundidad de acuerdo a las tasas de productividad primaria anuales (Suess, 1980).

A partir de dicha compilación, Seiter et al. (2004) definieron 33 provincias geográficas, que se describen en la Figura 7 y las Tablas 2 y 3.



**Figura 7.** Provincias definidas con base en el contenido de COT (Seiter et al., 2004). Las abreviaciones se definen en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Abreviaciones de las Provincias Regionales basadas en el contenido de COT de sedimento superficial.

Abreviación	Área
<b>Mares Polares</b>	
BARENTKARA	Mar de Barents y Mar de Kara
KARAO	Mar de Kara
LAPTEVSEA	Mar de Laptev
GROE	Mar del Norte
ANT	Mares del Polo Sur
<b>Áreas del Atlántico Sur</b>	
SOATL	Mar Profundo del Atlántico Sur
NAMBCO	Margen Continental de Namibia
SWACO	Margen Continental del Suroeste de África
ARGCO	Margen Continental de Argentina
RIOPLATA	Desembocadura de Río de Plata
BRAZCO	Margen Continental de Brasil
GUBRACO	Margen Continental del Sureste de América
GUI	Golfo de Guinea
ETROPAT	Atlántico Tropical Oriental
<b>Áreas del Atlántico Norte</b>	
NOATL	Mar Profundo del Atlántico Norte
PEAMCO	Margen Continental del Noreste de América
WAFCO	Margen Continental del Poniente de África
CANAR	Canarias
EUR1	Margen continental del Norte de Europa
EUR2	Margen continental del Sur de Europa
<b>Áreas del Pacífico</b>	
NWAMCO	Margen continental de Noroeste de América
CHICO	Margen continental de Chile
NW-/NE PAC	Noreste y Noroeste del Mar profundo del Pacífico
TROPAC/TROPAC2	Pacífico Tropical Oriental y Occidental
SE-/SWPAC	Mar Profundo del Suroeste y del Sureste del Pacífico
PERCO	Margen continental de Perú
<b>Áreas del Océano Índico</b>	
IND	Mar profundo del Océano Índico
EARAB	Oriente del Mar Árabe
WARAB	Occidente del Mar Árabe
SEAFCO	Margen continental del Sureste de África
EICO	Margen continental del Oriente de India
TANZANO	Margen continental de Tanzania
SOMALICO	Margen continental de Somalia
<b>Áreas Globales</b>	
Este del Meridiano cero	Área global al Este del meridiano cero (65°N–65°S)
Poniente del Meridiano cero	Área global al Poniente del meridiano cero (65°N–65°S)



**Tabla 3.** Parámetros con los valores respectivos que definen a cada una de las distintas provincias definidas a partir del contenido de COT de sedimentos superficiales (Seiter et al., 2004). PPa: productividad primaria anual.

Provincias	Ópalo (máx.) (% peso)	Ópalo (media) (% peso)	Ópalo (DE) (% peso)	Calcita (máx.) (% peso)	Calcita (media) (% peso)	Calcita (DE) (% peso)	COT (máx.) (% peso)	COT (media) (% peso)	COT (DE) (% peso)	PPa (máx.) (g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> )	PPa (media) (g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> )	SD PPa (g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> )
<b>Mares Polares</b>												
BARENTKARA	—	—	—	—	—	—	2.7	1.1	0.5	—	—	—
KARA2	—	—	—	—	—	—	1.8	1.2	0.3	—	—	—
LAPTEV SEA	—	—	—	—	—	—	4.0	0.96	0.3	—	—	—
GROE	19.3	2.6	2.1	61.3	20.8	14.5	2.9	0.7	0.3	448	112	52
ANT	49.5	10.0	8.7	62.6	5.9	7.3	1.4	0.3	0.1	558	75	64
<b>Áreas del Atlántico Sur</b>												
SOATL	87.4	11.3	13.7	99.8	43.4	33.6	1.7	0.4	0.2	357	101	36
NAMBCO	40.8	5.9	6.8	85.1	51.2	21.5	9.0	2.7	1.8	562	256	92
SWACO	39.9	6.6	6.2	85.5	34.1	24.9	9.0	1.5	1.1	1159	225	103
ARGCO	21.0	3.2	2.4	65.8	31.3	16.0	1.0	0.3	0.2	557	140	63
RIOPLATA	14.1	4.4	3.0	13.0	3.5	2.2	3.3	0.8	0.6	1210	178	104
BRAZCO	18.7	3.2	2.2	83.3	49.1	18.6	1.1	0.5	0.2	381	128	37
GUBRACO	20.2	2.4	2.6	85.1	46.5	19.0	1.0	0.4	0.1	1280	193	182
GUI	15.5	4.2	3.0	28.0	7.9	5.2	2.1	1.1	0.4	819	189	63
ETROPAT	27.3	12.9	5.2	94.8	44.9	25.3	3.4	0.7	0.4	1159	182	75
<b>Áreas del Atlántico Norte</b>												
NOATL	27.8	3.5	2.9	92.5	44.3	24.1	7.1	0.4	0.2	605	110	32
NEAMCO	5.7	3.4	1.2	70.2	32.0	18.8	5.9	0.9	1.0	1264	184	107
WAFCO	20.9	5.5	4.5	81.4	38.7	21.3	1.9	0.6	0.4	1262	302	195
CANAR	6.7	2.5	1.0	73.9	56.9	8.8	1.4	0.6	0.2	761	150	97
EUR1	2.1	0.8	0.4	67.0	46.2	13.5	2.6	0.8	0.4	508	146	55
EUR2	18.6	1.4	1.7	85.3	23.0	17.9	0.8	0.3	0.2	626	174	45
<b>Áreas del Océano Pacífico</b>												
NWAMCO	9.6	4.1	1.8	40.3	8.4	7.6	6.1	1.7	0.9	619	183	78
CHICO	11.7	5.1	3.2	61.4	30.0	15.8	3.8	1.5	0.6	510	196	59
NEPAC	18.4	3.3	2.2	81.8	2.9	6.8	3.8	0.4	0.2	342	90	22
NWPAC	32.9	6.2	6.8	79.5	10.7	12.9	1.9	0.6	0.3	897	98	25
TROPAC	71.5	16.8	8.8	96.0	43.5	29.5	4.9	1.2	0.7	781	129	28
TROPAC2	34.5	7.9	4.6	87.3	41.5	24.3	1.7	0.8	0.3	770	113	30
SEPAC	66.9	6.5	8.6	92.5	37.8	26.1	3.2	0.5	0.3	379	79	27
SWPAC	38.5	6.8	5.4	92.2	51.2	22.9	1.3	0.8	0.2	534	106	28
PERCO	43.6	23.8	13.0	8.4	1.8	1.9	16.2	4.8	2.5	629	225	78
<b>Áreas del Océano Índico</b>												
IND	85.3	14.4	13.0	96.8	52.7	27.1	2.0	0.4	0.2	954	97	43
EARAB	33.5	11.9	5.5	90.0	46.4	16.6	3.1	1.2	0.6	1489	299	213
WARAB	24.6	6.9	3.8	88.5	43.7	16.3	5.5	1.5	0.7	1163	266	95
SEAFCO	10.7	4.1	1.8	85.5	58.9	8.6	2.1	0.5	0.2	722	124	39
SOMALICO	7.9	4.2	0.9	63.2	57.1	2.5	1.1	0.7	0.1	590	231	67
TANZACO	11.7	5.5	2.1	58.3	41.4	9.0	2.5	1.0	0.4	746	113	32
EICO	24.4	14.6	3.7	56.6	31.7	14.1	1.5	1.0	0.3	1045	313	208

### **3. ÁREA DE ESTUDIO: EL GOLFO DE MÉXICO**

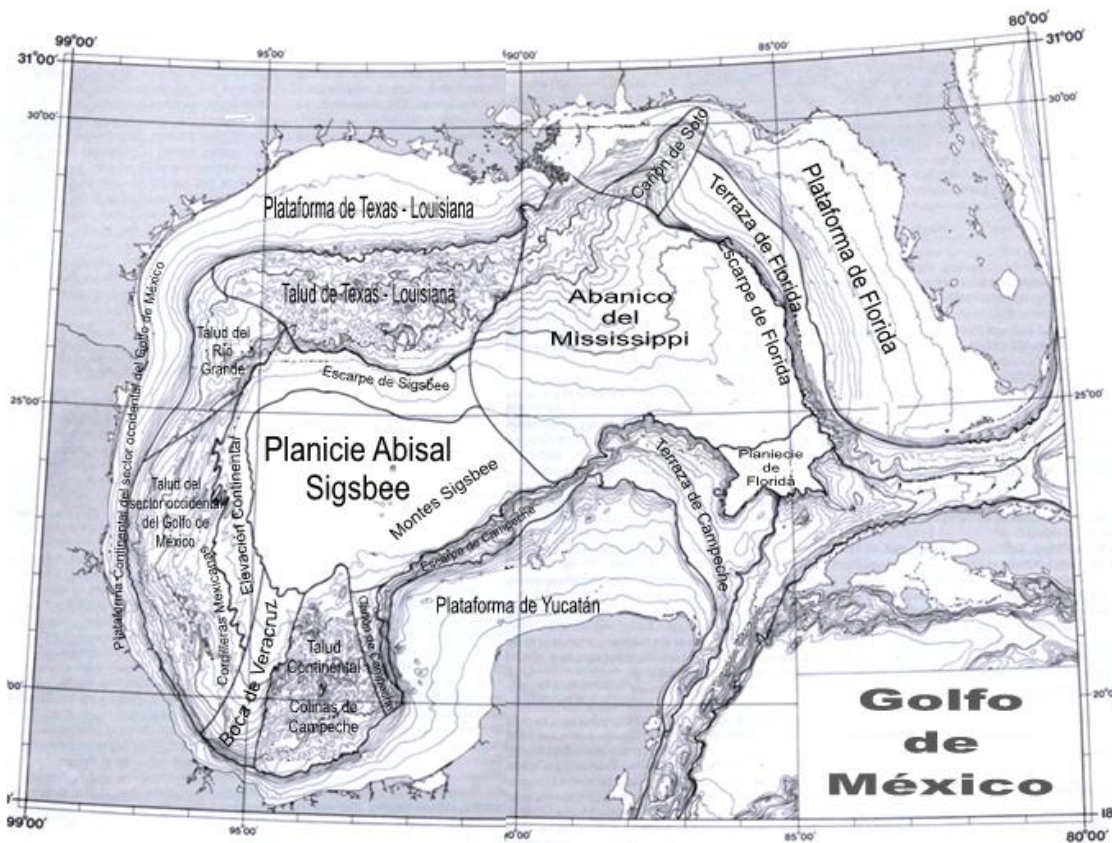
El Golfo de México (Figura 8) es una cuenca marginal del Océano Atlántico cuya exploración a inicios del siglo XVI permitió realizar las primeras cartas de la región (Salvador, 1991), que más de 500 años después han dado la pauta para investigaciones topográficas, geológicas y de muchas otras disciplinas.

El Golfo de México posee un área similar a un círculo con un diámetro de 1,500 km (Salvador, 1991), con profundidades que van más allá de los 3,700 m (Roberts et al., 1999) y que se encuentra situada en la zona subtropical, entre las latitudes 18 - 30° N y las longitudes 82 - 92° W (Monreal y Salas, 1997). Con base en Wiselman y Sturges (1999), el Golfo de México se considera un mar marginal o regional profundo cubriendo un área superficial de  $1.51 \times 10^6$  km<sup>2</sup> y ocupa un volumen de  $2.43 \times 10^6$  km<sup>3</sup>, que corresponden a 0.4 y 0.2% del área y volumen del océano mundial, respectivamente. Como cuenca semicerrada que se comunica con el Océano Atlántico Norte por el estrecho de Florida y con el Mar Caribe por el canal de Yucatán (Monreal y Salas, 1997), crea un ambiente parcialmente aislado, que puede ser considerado un solo ecosistema marino, aunque con cierto intercambio (Wiselman y Sturges, 1999). El ecosistema del Golfo de México abarca un espectro amplio de productividad primaria, desde las aguas eutróficas de las costas o en invierno, hasta las condiciones oligotróficas de mar profundo y en verano (Lohrenz et al., 1999).

Lohrenz et al. (1999) dividieron en tres categorías los factores que controlan la productividad primaria en el Golfo de México: escalas local (1 a 10 km), mesoescala (10 – 300 km) y sinóptica (> 100 km). Para este estudio, los factores de interés son los de mesoescala, entre los que se incluyen las surgencias, el forzamiento meteorológico, la circulación regional, los efectos de la topografía, los aportes de los ríos mayores como el Mississippi y el patrón de circulación de la Corriente de Lazo y giros.

#### **3.1. Condiciones atmosféricas**

La relación océano-atmósfera sobre el Golfo de México es tal que el intercambio entre las masas de aire frío y seco que provienen del continente y las masas de aire húmedas propias del Golfo, de origen marítimo y tropical, provocan una fuerte frontogénesis (Nortes) en los meses de octubre a abril. Durante el verano esta región es afectada por tormentas tropicales, de las cuales el 60% tiene intensidades de huracán (Monreal y Salas, 1997).



**Figura 8.** Principales regiones fisiográficas descritas para el Golfo de México (tomado de Bryant et al., 1991).

### 3.2. Circulación

Las características principales de circulación son: la Corriente de Lazo, el gran giro anticiclónico del oeste y giros ciclónicos sobre la Plataforma continental de Texas-Luisiana, en la plataforma oeste de Florida, en la Bahía de Campeche y en la periferia de la Corriente de Lazo (Monreal y Salas, 1997). Las corrientes en el Golfo de México son dominadas por la Corriente de Lazo que incidentalmente proviene del Mar Caribe, pasa luego al Golfo de México, para finalmente salir por la superficie al Océano Atlántico. Dentro del Golfo, la Corriente de Lazo forma diferentes giros superficiales a su paso, que se mueven hacia el oeste impulsando así parcialmente la circulación profunda en casi todo el Golfo de México (Sturges et al., 2005). Las velocidades de la corriente pueden ser mayores a los  $2 \text{ m s}^{-1}$  y transportar volúmenes de hasta  $0.03 \text{ Km}^3$  cada segundo (Wiseman y Sturges, 1999).

El gran giro anticiclónico tiene un diámetro de aproximadamente 300 Km (Sturges et al., 2005) mientras que los giros ciclónicos son más pequeños y tienden a formarse de los bordes de la Corriente de Lazo. Diversas imágenes de satélite muestran que este gran giro se separa de forma gradual de la Corriente de Lazo (Sturges et al., 2005) con periodos de desprendimiento que van desde 3 hasta 25 meses con una velocidad de

traslación de 2.1 a 4 Km d<sup>-1</sup> (Monreal y Salas, 1997). El giro anticiclónico, conocido también por poseer un núcleo cálido, transporta un gran volumen de agua por trayectos de hasta 300 Km y entre 800 m y 1000 m en profundidad (Sturges et al., 2005) de manera tal que juega un papel importante en el balance de sal y calor en el interior del golfo, constituyendo así el principal mecanismo de transporte de energía de la parte oriental hacia la occidental (Monreal y Salas, 1997). Estos giros grandes también tienen una influencia sobre la tasa de productividad primaria y las concentraciones de clorofila (Biggs y Müller-Karger, 1994). La surgencia que existe en la periferia de los giros anticiclónicos y en el centro de los giros ciclónicos ocasiona un incremento en los aportes de nutrientes, estimulando de esta manera la producción (Lohrenz et al., 1999). Además, se ha observado que la interacción de la Corriente de Lazo con los márgenes continentales genera pares y triadas de giros ciclónicos-anticiclónicos que pueden transportar agua de la plataforma continental rica en clorofila hacia mar adentro (Biggs y Müller-Karger, 1994; Vidal *et al.*, 1990). Las escalas de tiempo de la variabilidad en la Corriente de Lazo se encuentran en el orden de meses, pero no se encuentran coordinadas con el ciclo anual de radiación solar (Wiseman y Sturges, 1999).

### **3.3. Química de las aguas profundas**

Las principales masas de agua reconocidas en el Golfo de México son: el Agua Subtropical Subsuperficial del Caribe (AstSsC), el Agua Subtropical Subsuperficial del Golfo de México (AstSsGM), el Agua Común del Golfo (ACGM), el Agua Intermedia Antártica (AIA) y el Agua Profunda Noratlántica (APNA) (Monreal y Salas, 1997).

Las aguas profundas del Golfo de México poseen características similares al Agua Profunda del Atlántico Norte, que han sido modificadas en su trayecto a través del Caribe, enriqueciéndose de nutrientes y disminuyendo ligeramente su concentración de oxígeno (Shiller, 1999). De manera general, entre los 1000 y 2000 m de profundidad se tiene una salinidad de 34.96 y 34.99 y una temperatura de 4 a 4.1° C (Lanza y Gómez, 2004).

Los perfiles de oxígeno y nutrientes (así como salinidad y temperatura potencial) no muestran gradientes significativos por debajo de los 1500 m, tampoco se presentan gradientes laterales (Shiller, 1999). El oxígeno se encuentra en concentraciones entre 5 y 5.75 ml L<sup>-1</sup> (Lanza y Gómez, 2004) en el fondo, lo que equivale alrededor de 220 µmol Kg<sup>-1</sup> (Shiller, 1999).

### **3.4. Geología**

La estructura geológica del Golfo de México reconoce tres grandes provincias geológicas que a su vez se subdividen en diversas regiones fisiográficas por características particulares en su morfología, tectónica y sedimentos que fueron derivados a partir de núcleos de sedimentos, investigaciones magnéticas, gravimétricas y refracción sísmica, entre otras (Briant et al., 1991). Las provincias reconocidas son (Figura 8):

La cuenca profunda del Golfo de México; dividida a la vez en tres regiones: la Planicie Abisal Sigsbee, el Abanico del Mississippi y la Planicie de Florida.

Los taludes, escarpes y la elevación continental, entre los que destacan el Talud de Texas-Lousiana, el Talud del Río Grande y el Talud del sector occidental del Golfo de México; la Boca de Veracruz, el Talud y Colinas de Campeche, los Cañones de Campeche y de Soto, los Escarpes de Sigsbee, Campeche y Florida y la Elevación (eminencia) Continental.

Las plataformas continentales, entre las que se incluyen las plataformas carbonatadas de Yucatán y Florida, las Plataformas Continentales del sector occidental del Golfo de México y la de Texas-Lousiana y las Terrazas de Campeche y Florida.

Las plataformas y taludes continentales del Golfo de México son provincias geológicas complejas que comprenden depósitos tanto de tipo terrígeno como de material carbonatado. El talud cubre un área de más de 500,000 Km<sup>2</sup> y se extiende desde la isóbata de los 200m hasta profundidades entre 2,800 m en el norte y 3,600 m en el Escarpe de Campeche y consiste en superficies gradualmente inclinadas, escarpes prominentes, montes y cañones submarinos (Roberts et al., 1999). Por su parte, la Planicie Abisal Sigsbee es una de las superficies más planas sobre la Tierra que se extiende desde 90-95° W y 22-25° N y que con sus 450 Km de largo y 290 Km de ancho cubre un área de aproximadamente 103,600 Km<sup>2</sup> (Bryan et al., 1991).

Los fondos en el Golfo de México están conformados por sedimento fino que se origina del material carbonatado procedente de la columna de agua, esqueletos de foraminíferos, coccolitofóridos y conchas de pterópodos. La distribución de sedimentos, en general presenta contenido distinto de carbonatos en regiones paralelas (Balsam y Beeson, 2003). Los sedimentos ricos en carbonatos están presentes al oeste de la plataforma de Florida y sobre la plataforma de Yucatán-Campeche. En contraste, los sedimentos terrígenos dominan la plataforma de Texas-Louisiana-Mississippi. Los sedimentos en el resto de la cuenca reflejan la mezcla de estas dos provincias además de la contribución de sedimentos pelágicos (Balsam y Beeson, 2003).

En los márgenes del golfo de México se han reconocido infiltraciones de hidrocarburos, presencia de hidratos de metano, localizados en el Talud continental a profundidades entre 500 y 1,000 m. Estas infiltraciones contienen petróleo crudo, metano disuelto y otros hidrocarburos de tipos C1 a C5 (Arvidson y Morse, 2004).

Por su parte, la distribución del contenido de materia orgánica en sedimento se presenta bajo un efecto de dilución del material orgánico en la zona costera norte debido al influjo de sedimento inorgánico y que, en contraste, el corto aporte de este sedimento en la zona pelágica permite que la materia orgánica forme una proporción grande del sedimento (Balsam y Beeson, 2003).

Los sedimentos superficiales que cubren las cumbres de los montes de Sigsbee consisten de lodos pelágicos, principalmente de foraminíferos y una capa delgada de turbidita, ésto en contraste con los sedimentos que cubren la planicie abisal, que se encuentra cubierta por sedimentos de diferentes secuencias de turbiditas (Bryan et al., 1999).

## **4. JUSTIFICACIÓN**

La distribución de Carbono orgánico total (COT), Nitrógeno (N) y Azufre (S) en los sedimentos de mar profundo del Golfo de México no está bien descrita debido al número reducido de muestras que con este fin se han recolectado en esta zona. En áreas donde la densidad de muestras es mayor, los estudios han descrito un patrón de distribución distintivo, en el cual la concentración de COT está controlada por factores que incluyen: la tasa de productividad biológica, la preservación, la tasa de sedimentación, la distancia a la costa (aporte de materia orgánica de origen terrígeno) y la profundidad en la columna de agua. El problema a explorar es reconocer si estos procesos son aplicables también en el área de estudio, el describirlos contribuirá al conocimiento de su contribución al almacén de carbono y del ciclo del nitrógeno, de interés en el cambio climático global, el fenómeno de diagénesis temprana y en general, las propiedades químicas de la cuenca. Sin dejar de lado la relevancia que tiene la materia orgánica de origen epipelágico que se exporta al fondo como alimento para las comunidades biológicas, así como en la exportación y secuestro del carbono biogénico y su significado en los balances y presupuesto de carbono global.

## **5. HIPÓTESIS**

Considerando la tasa de productividad primaria como el factor principal que controla la concentración de la materia orgánica en el sedimento y partiendo de la premisa de que el Golfo de México es una cuenca oceánica definida como oligotrófica, se espera que la distribución de carbono orgánico y nitrógeno total en los sedimentos sea homogénea espacialmente con valores bajos. En contraste, los valores incrementarán en zonas de productividad primaria alta en los casos donde la materia orgánica tenga una procedencia quimioautotrófica y no dependa del influjo de carbono desde la superficie (p. ej., infiltraciones frías) y en áreas de transporte lateral elevada de materia orgánica proveniente de las plataformas continentales (p. ej., Cañón de Campeche) y del reborde continental.

## **6. OBJETIVOS**

El presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar la composición elemental de sedimento superficial de mar profundo, recolectado durante diferentes campañas oceanográficas en el Golfo de México. Para cumplirlo se plantearon las siguientes metas:

Estandarizar el método de tratamiento de muestra y análisis elemental, comprobando la precisión y exactitud para la separación de la fracción inorgánica (carbonatos) de la fracción orgánica del carbono en la muestra.

Establecer los valores medios para la cuenca, para cada región y por zona batimétrica muestreadas en las diferentes campañas.

Describir la variabilidad espacial y temporal de los valores.

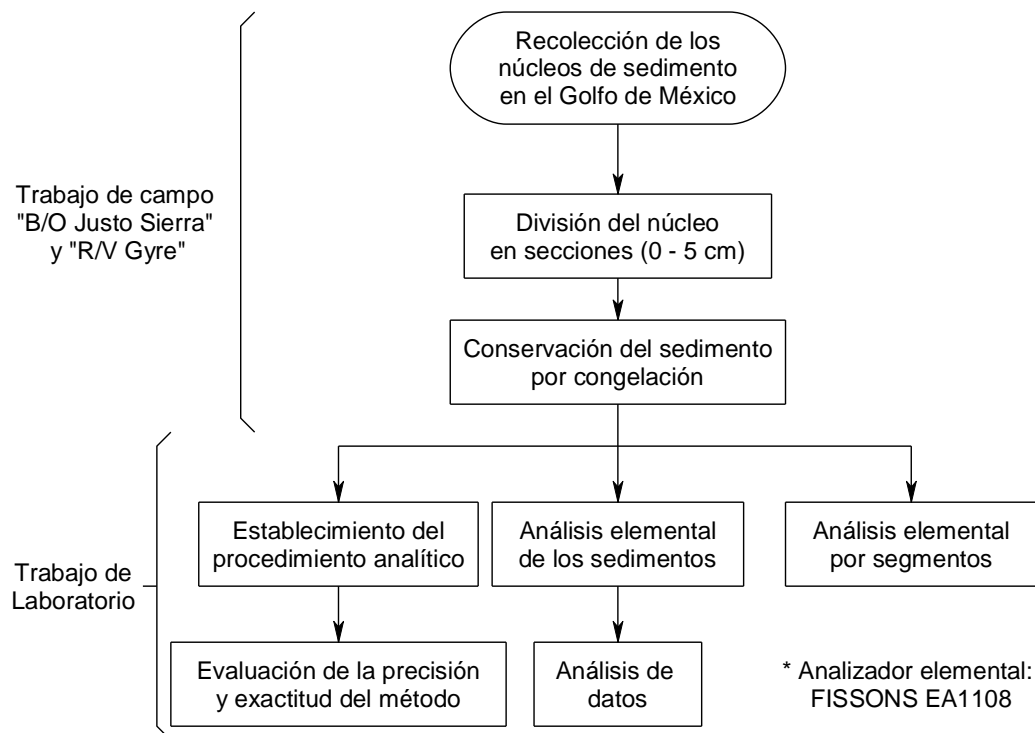
Analizar si la profundidad de muestreo en el sedimento influye en los valores elementales (C, N) en núcleos recolectados en el mar profundo, como ocurre en zonas someras.

Comparar los valores del Golfo de México con sitios de otro tipo de producción y fuentes de sedimento.



## 7. METODOLOGIA

Con la finalidad de caracterizar por su contenido de Carbono orgánico total, Nitrógeno y Azufre en sedimento de la zona más profunda del Golfo de México se realizó la recolección de muestras de sedimento superficial en diferentes campañas oceanográficas. El procedimiento empleado para la determinación de estos parámetros fue el Análisis Elemental, previa separación de la fracción inorgánica de la muestra. Dicho método fue evaluado para determinar la precisión y exactitud y de esta manera comprobar la confiabilidad de los resultados obtenidos. De manera similar, se evaluó si la composición elemental varía con la profundidad de muestreo en el núcleo de sedimento. El diagrama de flujo que resume la estrategia experimental utilizada en el presente estudio se muestra en la Figura 9.



**Figura 9.** Estrategia general para el desarrollo del presente trabajo.

### 7.1. Trabajo de campo

Las muestras de sedimento se recolectaron a bordo del B/O "Justo Sierra" de la UNAM en las campañas oceanográficas SIGSBEE 1 a 8 (Figura 10; Tabla 4) entre los años 1997 y 2005 cada verano, en un intervalo de profundidad de 1,025 a 3,750 m.

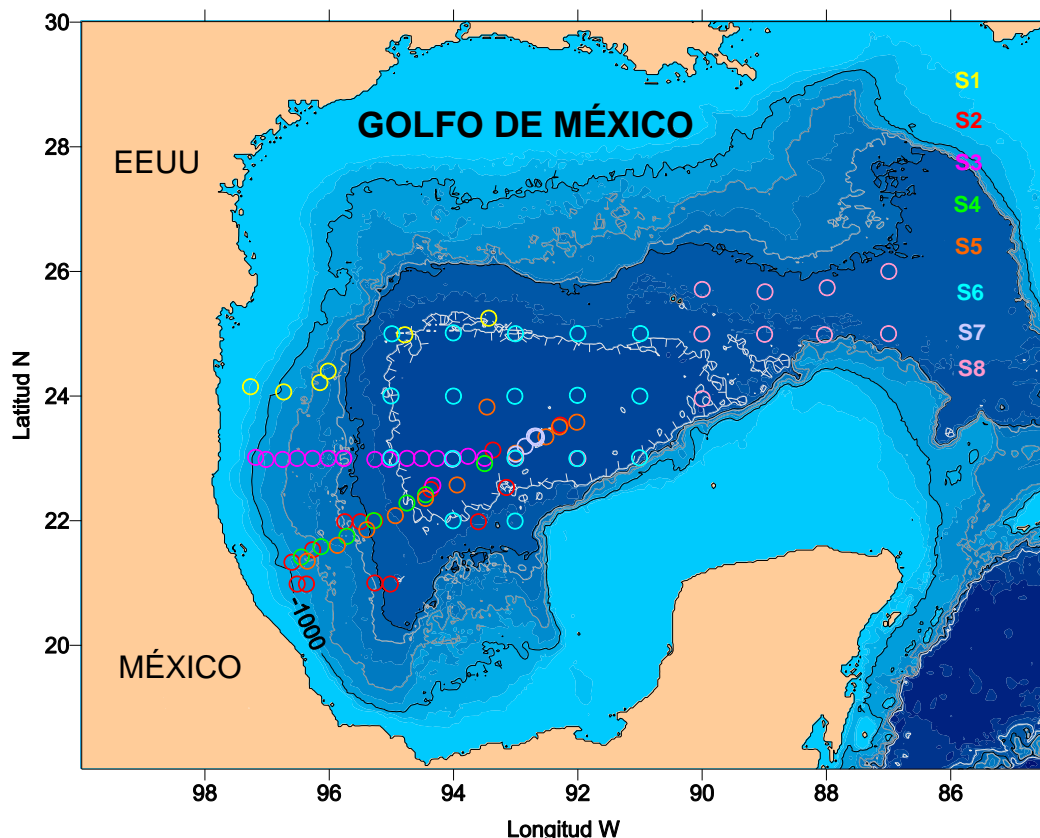
**Tabla 4.** Estaciones de muestreo en el Golfo de México para cada campaña Sigsbee.

<b>Campaña Oceanográfica</b>	<b>Año</b>	<b>Estación</b>	<b>Longitud W (°)</b>	<b>Latitud N (°)</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Tipo de Nucleador</b>		
SIGSBEE 1	1997	3	96.44	24.04	1,260	US-NEL		
		4	97.16	24.09	1,698	US-NEL		
		5	96.09	24.13	2,220	US-NEL		
		6	96.01	24.24	2,662	US-NEL		
		9	93.26	25.15	3,620	US-NEL		
		10	94.47	24.59	3,700	US-NEL		
SIGSBEE 2	1999	4	96.31	20.59	1,400	US-NEL		
		5	96.22	20.59	1,680	US-NEL		
		7	95.45	21.59	2,300	US-NEL		
		8	95.30	21.59	2,730	US-NEL		
		9	95.16	21.00	2,900	US-NEL		
		10	95.01	20.59	3,360	US-NEL		
		13	93.36	21.59	3,300	US-NEL		
		14	93.09	22.32	3,600	US-NEL		
		16	92.17	23.32	3,795	US-NEL		
		17	93.22	23.08	3,730	US-NEL		
		18	94.22	22.30	3,750	US-NEL		
		19	95.16	22.00	3,200	US-NEL		
		20	96.16	21.32	1,960	US-NEL		
		21	96.36	21.20	1,400	US-NEL		
SIGSBEE 3	2000	3	97.11	23.01	1,157	US-NEL		
		4	97.01	22.59	1,510	US-NEL		
		5	96.45	22.59	1,779	US-NEL		
		6	96.31	23.00	2,210	US-NEL		
		7	96.16	23.00	2,440	US-NEL		
		8	96.01	23.00	2,524	US-NEL		
		9	95.46	23.00	2,750	US-NEL		
		10	95.46	23.00	3,200	US-NEL		
		11	95.16	22.59	3,380	US-NEL		
		12	95.02	22.59	3,630	US-NEL		
		13	94.45	23.00	3,680	US-NEL		
		14	94.31	23.00	3,720	US-NEL		
		15	94.16	23.00	3,765	US-NEL		
		16	94.00	23.00	3,760	US-NEL		
		17	93.46	23.02	3,775	US-NEL		
		18	93.30	23.00	3,740	US-NEL		
		19	94.20	22.34	3,730	US-NEL		
		SIGSBEE 4	2001	3	96.27	21.25	1,500	US-NEL
				4	96.08	21.35	2,100	US-NEL
5	95.43			21.45	2,500	US-NEL		
6	95.17			22.00	3,000	US-NEL		
7	94.45			22.17	3,500	US-NEL		
8	94.27			22.25	3,700	US-NEL		
9	93.30			22.55	3,700	US-NEL		

<b>Campaña Oceanográfica</b>	<b>Año</b>	<b>Estación</b>	<b>Longitud W (°)</b>	<b>Latitud N (°)</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Tipo de Nucleador</b>
SIGSBEE 5	2002	1	92.02	23.58	3,710	US-NEL
		2	92.30	23.50	3,740	US-NEL
		3	92.51	23.35	3,720	US-NEL
		4	93.00	23.08	3,720	Múltiple
		5	93.46	23.82	3,720	US-NEL
		6	93.94	22.57	3,700	Múltiple
		7	94.45	22.36	3,660	US-NEL
		8	94.94	22.08	3,420	US-NEL
		9	95.40	21.85	3,000	US-NEL
		10	95.87	21.60	2,500	US-NEL
		11	96.35	21.35	1,860	US-NEL
SIGSBEE 6	2003	1	90.99	25.00	3,542	Múltiple
		2	91.00	24.00	3,710	Múltiple
		3	91.01	23.01	3,718	Múltiple
		4	92.02	23.00	3,739	Múltiple
		5	92.01	24.01	3,700	Múltiple
		6	92.00	25.00	3,532	Múltiple
		7	93.00	25.00	3,634	Múltiple
		8	93.01	24.00	3,736	Múltiple
		9	93.01	23.00	3,744	Múltiple
		10	94.01	23.00	3,742	Múltiple
		11	94.00	24.00	3,740	Múltiple
		12	94.00	25.01	3,698	Múltiple
		13	94.99	25.00	3,578	Múltiple
		14	95.01	24.00	3,575	Múltiple
		15	95.01	23.01	3,560	Múltiple
		16 16 bis	94.01 93.01	22.00 21.99	3,563 3,326	Múltiple Múltiple
SIGSBEE 7	2004	1	93.00	23.07	3,740	Múltiple
		2	92.85	23.20	3,734	Múltiple
		3	92.67	23.36	3,664	Múltiple
		4	92.70	23.36	3,651	Múltiple
		5	92.67	23.33	3,654	Múltiple
		6	94.02	22.99	3,734	Múltiple
SIGSBEE 8	2005	1	87.00	25.00	3,344	Múltiple
		2	87.00	26.00	3,171	Múltiple
		3	87.99	25.74	3,166	Múltiple
		4	88.03	24.98	3,430	Múltiple
		5	88.99	24.99	3,495	Múltiple
		6	88.99	25.67	3,264	Múltiple
		7	90.00	25.71	3,282	Múltiple
		8	90.00	25.00	3,529	Múltiple
		9	90.00	23.96	3,631	Múltiple
		10	92.00	23.00	3,737	Múltiple
		11	93.00	23.00	3,740	Múltiple

Las muestras de sedimento se obtuvieron con nucleador de caja US-NEL con un área de 0.25 m<sup>2</sup> en las campañas 1 a 5 de los primeros 5 cm superficiales de sedimento de una profundidad de cerca de 50 cm. Las muestras

provenientes de las campañas 5 a 8 se recolectaron con un nucleador múltiple que recolecta 12 núcleos individuales a una profundidad de casi 60 cm y un área de 78.54 cm<sup>2</sup> cada uno con agua de fondo suprayacente y de donde se tomaron 5 cm superficiales para el análisis elemental (para el caso de la Campaña Sigsbee 8, la muestra se segmentó centímetro a centímetro en los primeros 5 cm superficiales). Los sedimentos se congelaron abordo en tubos de centrifuga claramente rotulados hasta su posterior análisis en el laboratorio.



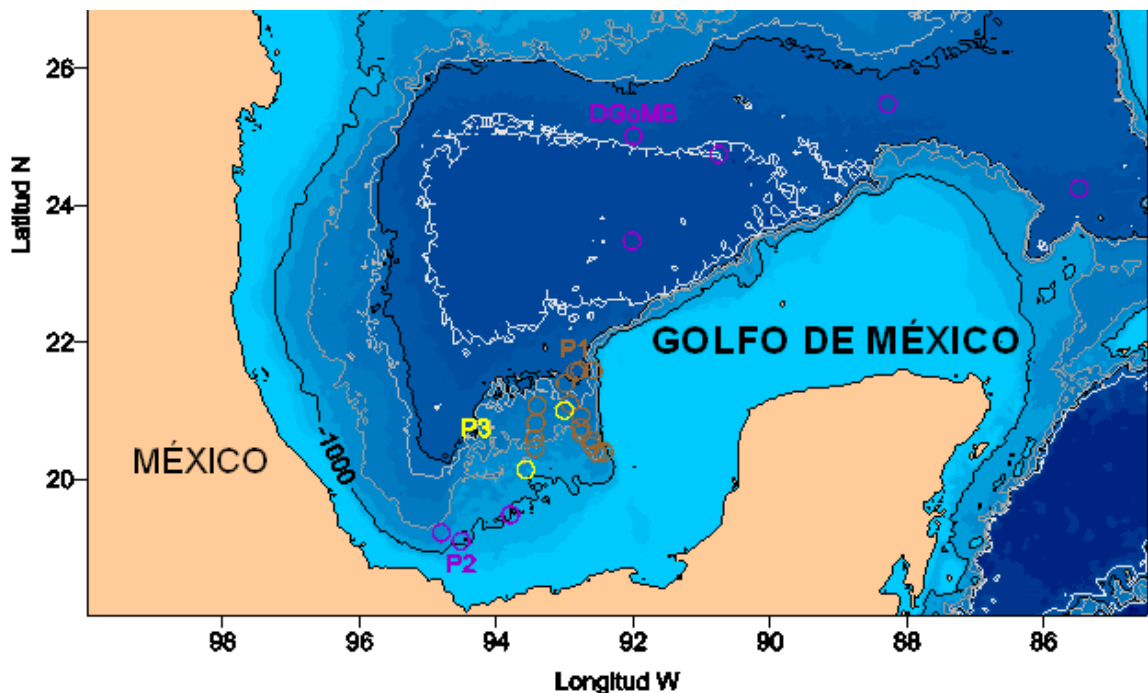
**Figura 10.** Estaciones de las campañas SIGSBEE 1 a 8.

Las muestras procedentes de otras campañas en la región (Tabla 5 y Figura 11) se analizaron asimismo al haberse recolectado en la misma zona batimétrica.

**Tabla 5.** Estaciones para otras campañas de la región.

<b>Campaña Oceanográfica</b>	<b>Año</b>	<b>Estación</b>	<b>Longitud W (°)</b>	<b>Latitud N (°)</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Nucleador</b>
DGoMB	2000	1	92.0000	25.0100	3520	US-NEL
		2	92.0100	23.2900	3733	US-NEL
		3	90.4500	24.4500	3670	US-NEL
		4	85.2900	24.1500	3405	US-NEL
		5	88.1700	25.2900	3316	US-NEL

Campaña Oceanográfica	Año	Estación	Longitud W (°)	Latitud N (°)	Profundidad (m)	Nucleador
PROMEBIO 1		2	92.8486	21.5754	3020	US-NEL
		3	92.7836	21.5993	3050	US-NEL
		5	92.5881	21.5866	2500	US-NEL
		9	92.9926	21.3996	2900	US-NEL
		11	92.9281	21.0994	2840	US-NEL
		15	93.4076	21.0801	2480	US-NEL
		20	92.7659	20.9248	2750	US-NEL
		25	92.7702	20.7573	2420	US-NEL
		26	92.7573	20.6702	2560	US-NEL
		30	93.4262	20.8235	2460	US-NEL
		31	93.4462	20.5928	1800	US-NEL
		32	93.4363	20.4565	1820	US-NEL
		36	92.6099	20.5767	2460	US-NEL
		37	92.6096	20.4870	2420	US-NEL
		38	92.5250	20.3833	2320	US-NEL
39	92.4259	20.4003	1600	US-NEL		
PROMEBIO 2		17	94.5186	19.0973	1094	US-NEL
		40	93.7981	19.4821	1025	US-NEL
		144	94.8063	19.2213	1758	US-NEL
PROMEBIO 3		123	93.0083	21.0051	2520	US-NEL
		132	93.5721	20.1407	2243	US-NEL



**Figura 11.** Estaciones de otras campañas oceanográficas PROMEBIO 1 a 3 (P1 - P3) y DGoMB.

Como valores extremos altos en la cuenca se usaron muestras procedentes de la localidad Chapopote (MacDonald et al., 2004) de la planicie abisal del SW del Golfo de México (OTEGA II y METEOR). Otros datos procedentes de muestras asociadas a cadáveres de ballena (ALVIN) y zona de oxígeno mínimo

(EZOM) en el Pacífico Oriental se incorporaron también como referencia de localidades con valores extremos altos de materia orgánica (Tabla 6).

**Tabla 6.** Número de muestras (n) para otras campañas de la región con intervalos de longitud, latitud y profundidad.

<b>Campaña</b>	<b>n</b>	<b>Latitud (°)</b>	<b>Longitud (°)</b>	<b>Profundidad (m)</b>
<b>METEOR</b>	9	21.9055 a 21.8476	93.4275 a 93.4368	2,857 a 2,957
<b>EZOM</b>	7	20.8383 a 28.0007	106.5622 a 112.1929	510 a 1,464
<b>ALVIN</b>	10	32.4932 a 33.2924	117.4996 a 119.3660	1,201 a 1,675
<b>OTEGA II</b>	14	21.3945 a 21.9062	93.3850 a 93.4229	2,470 a 2,929

## **7.2. Trabajo de laboratorio**

**7.2.1. Procesamiento de muestras.** El sedimento se descongeló a temperatura ambiente. Posteriormente se colocó en vasos de precipitado, se le adicionó un poco de agua destilada para humectar la muestra y se procedió a acidular con una solución de ácido clorhídrico 0.2 N para eliminar la fracción inorgánica principalmente compuesta por carbonato de calcio, se cercioró que el pH final en este proceso persistiera ácido, al menos de pH=1, asegurando así que todo el carbonato haya sido transformado a ácido carbónico y posteriormente a dióxido de carbono. El siguiente paso consistió en eliminar el exceso de ácido por medio de enjuagues con agua destilada, para asegurar que todo el ácido fue retirado, el pH debió permanecer neutro (pH=7). Cada muestra se dejó evaporar en un horno a temperatura controlada de 60° C para finalmente homogeneizarse en mortero de ágata con la finalidad de reducir el tamaño de las partículas de cada muestra. Este protocolo se resume en la Figura 12.

**7.2.2. Análisis Elemental.** El sedimento homogenizado se colocó en frascos viales para realizar el análisis elemental en un Analizador Elemental FISSONS modelo EA1108. Esta técnica tuvo como objetivo determinar porcentajes de carbono, nitrógeno y azufre, los cuales pueden presentarse en muestras de varios tipos como compuestos orgánicos e inorgánicos. El método analítico se basa en la oxidación instantánea y cuantitativa de la muestra, la cual convierte todas las sustancias orgánicas e inorgánicas en productos de combustión. Los gases que resultan de esta combustión pasan a través de un horno de reducción y son arrastrados a una columna cromatográfica por un gas acarreador (He) donde son separados y cuantificados por un detector de

conductividad térmica (TCD), el cual da una señal proporcional a la concentración de los componentes individuales de la mezcla (Figura 13).

Es importante señalar que los datos de análisis elemental para las campañas PROMEBIO 1 a 3, SIGSBEE 1 a 3, ALVIN y OTEGA II fueron procesados por diferentes analistas con anterioridad siguiendo un esquema similar.

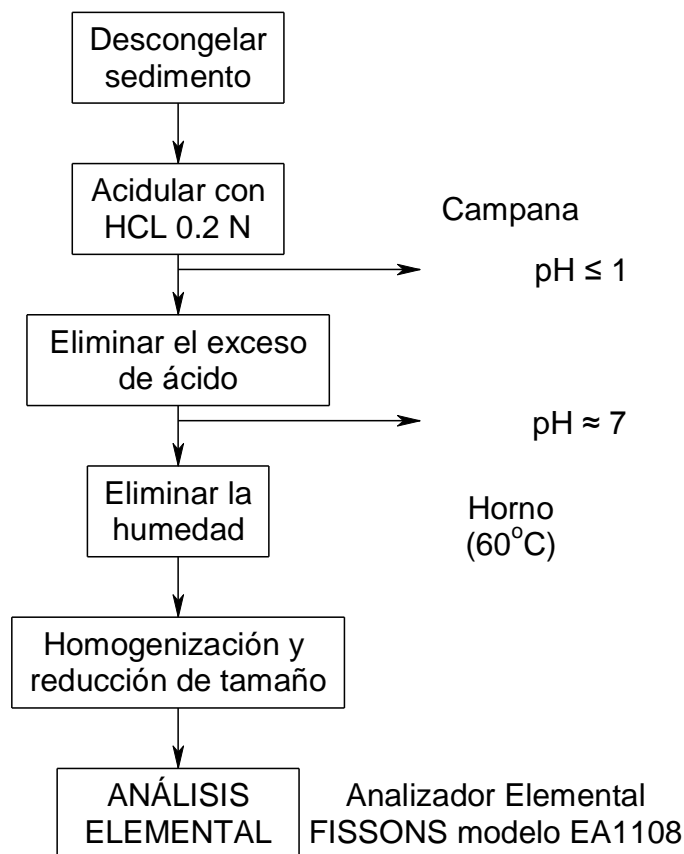


Figura 12. Esquema general del trabajo experimental

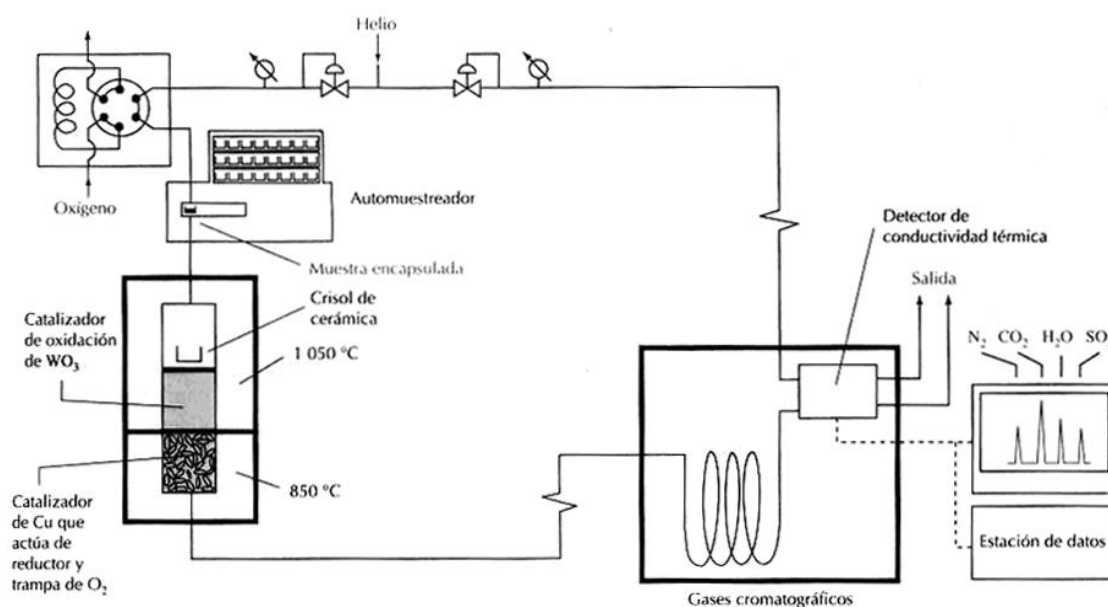
### 7.3. Tratamiento de Datos

**7.3.1. Evaluación de la exactitud del método analítico.** Como características de calidad del método analítico, se eligió evaluar la precisión y la exactitud del mismo. Para exactitud, se empleó el método de recobro, descrito por Chow et al. (2004), basándose en las Guías de Armonización Tripartita referentes a la Validación de Métodos Analíticos (ICH Q2A y Q2B), entendiendo por exactitud como el parámetro que expresa el grado de cercanía entre el valor que es aceptado como verdadero, o el valor de una referencia aceptada, y el valor encontrado. Para esta evaluación se empleó como referencia una muestra de sedimento superficial abisal de la cual se conocía la concentración de Carbono

orgánico total. La concentración fue de 0.876% y se determinó tras múltiples repeticiones.

Esta estrategia consistió en someter dicha muestra al proceso completo con el objetivo de asegurar que el proceso de separación de carbono inorgánico no afectaba el contenido de carbono orgánico. El procedimiento a seguir fue el mismo que se describe e ilustra en la Figura 12. La muestra se cuantificó por quintuplicado.

*Criterio de aceptación:* la media del recobro debe ser estadísticamente similar al 100% y estar dentro del intervalo de confianza para las 5 determinaciones realizadas. Una prueba t de *Student* fue empleada para tal fin.



**Figura 13.** Esquema de la constitución de un analizador elemental de C, H, N y S (Harris, 2001).

**7.3.2. Evaluación de la precisión del método analítico.** La precisión, de acuerdo a la ICH Q2A expresa la cercanía entre una serie de mediciones obtenidas de una serie de muestras homogéneas bajo las condiciones establecidas. Para evaluar la precisión del método analítico en cuanto a la eliminación de carbono inorgánico, se realizó el procedimiento siguiente:

**Repetitividad:** Se entiende como repetitividad la precisión bajo las mismas condiciones de operación en un intervalo de tiempo corto, también se le conoce como precisión intraensayo. Para evaluar la repetitividad a una muestra de sedimento superficial abisal se le adicionaron cantidades diferentes específicas de Carbonato de Calcio anhidro (Grado analítico), posteriormente se sometió al



proceso analítico descrito en la Figura 12. Los experimentos realizados se describen a continuación.

- a) A un gramo de sedimento se le adicionaron 10 mg de Carbonato de Calcio. El procedimiento se realizó por sextuplicado, y a cada una de las réplicas se le determinó el contenido de Carbono orgánico y Nitrógeno total.
- b) A un gramo de sedimento se le adicionaron 50 mg de Carbonato de Calcio. El procedimiento se realizó por sextuplicado, y a cada una de las réplicas se le determinó el contenido de Carbono orgánico y Nitrógeno total.
- c) A un gramo de sedimento se le adicionaron 100 mg de Carbonato de Calcio. El procedimiento se realizó por sextuplicado, y a cada una de las réplicas se le determinó el contenido de Carbono orgánico y Nitrógeno total.

Obteniendo de esta manera dieciocho réplicas independientes.

*Criterio de aceptación:* una vez obtenidos los valores para Carbono orgánico total y Nitrógeno total en las dieciocho muestras obtenidas, no deben existir diferencias significativas para afirmar que el procedimiento es preciso, demostrando que todo el Carbono inorgánico presente en las mismas debe haber sido removido. Ésto se comprobó por medio de un análisis estadístico empleando la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis con el programa de cómputo STATISTICA 6.0. Así mismo, un coeficiente de variación menor al 3% indicaría que el método es preciso y repetible.

**7.3.3. Cálculo de la tasa carbono-nitrógeno (C/N).** La tasa C/N es un parámetro que proporciona información acerca del origen de la materia orgánica y del estado de oxidación de los elementos en el sedimento. En este estudio se realizó el cálculo de la tasa C/N para cada una de las muestras recolectadas con la finalidad de emplear este parámetro en la caracterización elemental y fue tratado como una variable más a la par de COT y N.

**7.3.4. Análisis de la distribución del contenido elemental (COT, N y C/N) con la profundidad en la columna de agua.** Para analizar la variación de las concentraciones de Nitrógeno y Carbono orgánico total con la profundidad de la

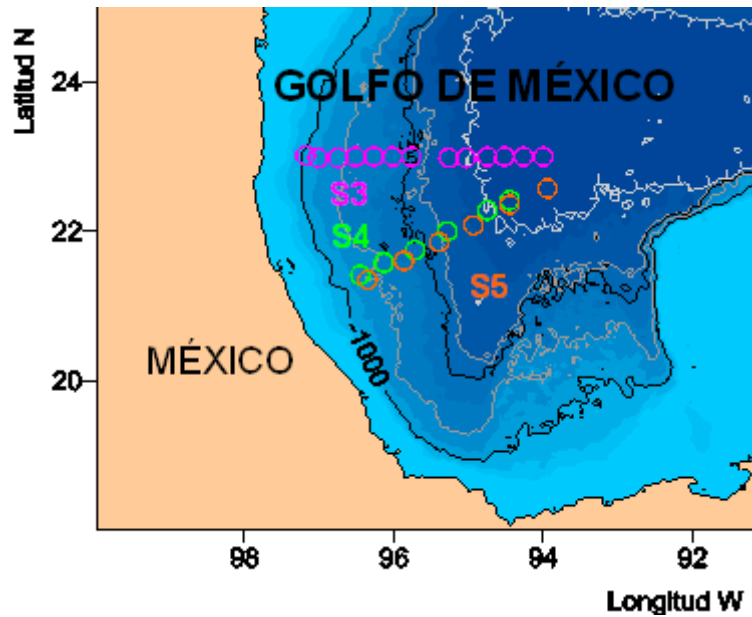
zona de muestreo, las muestras se clasificaron en seis estratos, cada uno de ellos abarcando un intervalo de profundidad de 500 m. La media y desviación estándar de cada una de las variables se calcularon para cada estrato, también se identificaron los valores máximo y mínimo de cada uno de ellos, se elaboraron gráficas de media  $\pm$  desviación estándar para cada una de las variables.

### **7.3.5. Análisis de la distribución del contenido elemental (COT, N y C/N)**

**por zonas batimétricas.** Las muestras de sedimento superficial del Golfo de México fueron clasificadas en tres zonas batimétricas diferentes: Talud continental, Elevación Continental y Planicie Abisal con la finalidad de identificar si la composición elemental de los sedimentos del Golfo de México presentaba variación entre cada una de las zonas batimétricas. El Talud continental se consideró desde los 1,000 m de profundidad hasta la isóbata de los 2,800 m (Coleman et al., 1991; Pequegnat, 1970; Roberts et al., 1999), justo donde inicia la Elevación (eminencia) Continental, que se extiende hasta los 3,600 m, donde se encuentra el inicio de la Planicie Abisal (Bryant et al, 1991, Pequegnat, 1970). La prueba U de Mann-Whitney se empleó para identificar las diferencias entre cada una de las zonas después de comprobar si existían diferencias significativas entre las tres zonas por medio de la prueba ANOVA Kruskal-Wallis. Ambas son pruebas no paramétricas que se realizaron con el programa STATISTICA 6.0.

### **7.3.6. Análisis de la variación de la composición elemental con la**

**distancia a la costa.** Partiendo de la hipótesis que la distancia a la costa influye en la concentración de Carbono orgánico total y Nitrógeno, así como a la tasa C/N, por el aporte de material orgánico, se analizó este factor evaluando el cambio en las estaciones 3 a 8 de la campaña Oceanográfica SIGSBEE 4, las estaciones 6 a 11 de la Campaña SIGSBEE 5 y las estaciones 3 a 16 de la Campaña SIGSBEE 3 (Figura 14). Para realizar el análisis primero se procedió al cálculo de la distancia a la costa mediante el empleo del programa de cómputo DTCC 4.1.



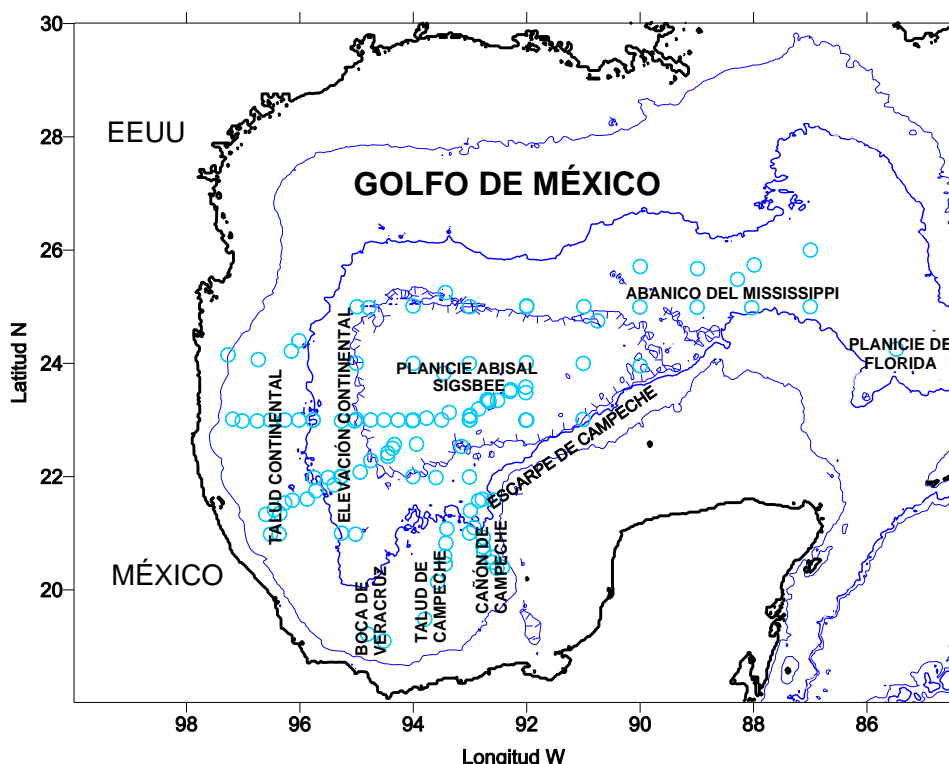
**Figura 14.** Estaciones de la Campaña SIGSBEE 3, 4 y 5 para el análisis por distancia a la costa.

La prueba de Correlación de Spearman se empleó para reconocer si existía correlación entre la distancia a la costa y la magnitud de las variables y la prueba Wald-Wolfowitz se aplicó para determinar si existían variaciones significativas con la distancia a la costa; ambas pruebas se realizaron con el programa STATISTICA 6.0.

**7.3.7. Análisis de la variación de la composición elemental por regiones fisiográficas.** Las diversas estaciones se clasificaron en nueve regiones (Figura 15) con base en Bryant et al. (1991) con el objetivo de evaluar, con la prueba ANOVA Kruskal-Wallis, si las diferentes estructuras fisiográficas presentes en el relieve submarino del Golfo de México influyen en las concentraciones de COT, N, y C/N. De existir diferencias, se realizaron pruebas U de Mann-Whitney entre cada una de las regiones para identificar las diferencias individuales. Ambas pruebas se realizaron empleando el programa STATISTICA 6.0.

**7.3.8. Comparación de la composición elemental entre sectores Norte y Sur.** La clasificación de las estaciones muestreadas en la zona profunda (a partir de los 2,800 m) del Golfo de México sobre la Elevación (eminencia) Continental y Planicie Abisal se realizó con la finalidad de identificar si la composición elemental es diferente en cada uno de los sectores. Para ello se subdividió el golfo en sectores Norte y Sur, a través del paralelo 24°N, concordando con la latitud hasta la cual se extiende el Cono del Mississippi

(Antoine, 1971). Lo anterior permitió reconocer diferencias Norte-Sur en la composición elemental, siendo el río Mississippi un aporte de sedimentos terrígenos a la cuenca (Bouma, 1972). Para cada una de las variables (COT, N y C/N) se establecieron medias y desviaciones estándar que permitieron establecer diferencias a través de una prueba ANOVA Kruskal-Wallis con el programa STATISTICA 6.0.



**Figura 15.** Regiones fisiográficas reconocidas para las diversas estaciones de este estudio.

**7.3.9. Comparación de la composición elemental entre sectores Este y Oeste.** Las estaciones con más de 2,800 m de profundidad se clasificaron en regiones Este y Oeste con la finalidad de identificar si la composición elemental es diferente en cada una de ellas. Para ello se subdividió el golfo en sectores Este y Oeste empleando como línea divisoria el meridiano 92°W. La hipótesis que se comprobó se sustentó en que la región Este contiene sedimentos de tipo carbonatado y la región Oeste sedimentos de tipo predominantemente terrígeno (Antoine, 1971; Hernández et al., 2005, Pequegnat et al., 1971). Con la finalidad de identificar si esta diferencia morfológica influye en los valores de COT, N y C/N, se establecieron promedios y desviaciones estándar para cada una de las variables (COT, N, C/N). Las diferencias entre los dos sectores se

establecieron con una prueba ANOVA Kruskal-Wallis con el programa STATISTICA 6.0.

**7.3.10. Análisis de la variación espacial de la composición elemental del Golfo de México.** La integración de los valores de Carbono orgánico total, Nitrógeno y la tasa C/N en el Golfo de México se realizó para describir tendencias y patrones de distribución geográfica. Un mapa de contorno para cada variable se elaboró empleando el programa SURFER 8; las isolíneas permitieron reconocer zonas de concentración distintivas.

**7.3.11. Análisis de la variación temporal de la composición elemental en la estación permanente de la Planicie Abisal Sigsbee.** La variabilidad temporal en la composición elemental de la Planicie Abisal Sigsbee se determinó para Carbono orgánico total, Nitrógeno y la tasa C/N en la estación permanente de serie de tiempo (23°N y 93°W) para las campañas SIGSBEE de los años 2002, 2003, 2004 y 2005. Este análisis evaluó la variación temporal en los aportes por flujo de partículas de la capa eufótica al fondo. Usando una Correlación Spearman se analizó la correlación existente entre las variables y el tiempo. La prueba Wald-Wolfvits determinó la significancia de las variaciones observadas en el tiempo. Ambas pruebas se aplicaron con el programa STATISTICA 6.0.

**7.3.12. Análisis de la variación de Carbono Orgánico y Nitrógeno en función de su sedimentación.** La variación de las concentraciones de COT, N y la tasa C/N en función de la sedimentación se analizó con una prueba de correlación Spearman en muestras recolectadas en la campaña Sigsbee 8 (Estaciones 1, 3, 5 y 8). El núcleo de sedimento de cada estación se segmentó para los primeros 5 centímetros permitiendo conocer secciones diferentes de la secuencia en la que se han depositado los sedimentos. La cuantificación de Carbono orgánico total y Nitrógeno total se realizó por duplicado. La prueba se aplicó con el programa STATISTICA 6.0 determinando si existía correlación entre cada una de las variables con la profundidad hacia el interior del sedimento.

**7.3.13. Agrupamiento Jerárquico.** Con la finalidad de determinar si las variables (COT, N y C/N) permiten clasificar las diferentes estaciones en mar profundo, se realizó un análisis de Agrupamiento Jerárquico (Cluster analysis)

empleando el programa de cómputo SPSS. El dendograma se realizó empleando el método de distancias mínimas con los datos sin modificar.

**7.3.14. Comparación de la composición elemental de los sedimentos del Golfo de México con los de la localidad Chapopote.** Las diferencias existentes entre la composición elemental de la Planicie Abisal del Golfo de México, caracterizada por exportación de materia orgánica de tipo fotoautotrófico y la de localidades con producción quimiosintética (localidades de sedimentos blandos en el volcán de asfalto “Chapopote” en la Bahía de Campeche a 3,300 m) se analizaron a partir de 23 muestras de las campañas OTEGA II y EZOM comparándolas con las recolectadas en las campañas SIGSBEE, PROMEBIO y DGoMB. La prueba U Mann-Whitney se empleó con este fin para cada una de las variables con el programa STATISTICA 6.0.

**7.3.15. Comparación de la composición elemental de los sedimentos del Golfo de México con otras regiones.** Las diferencias entre la composición elemental de sedimentos de la planicie abisal del Golfo de México con sitios de concentración elevada de materia orgánica de origen fotoautotrófico en el sedimento, se analizaron comparándolos con muestras procedentes de la misma latitud en el Pacífico Oriental. Para ello se eligieron muestras de una zona de aporte masivo de materia orgánica de los alrededores de un cadáver de ballena depositado al fondo (campaña ALVIN, n=10) y de una zona de oxígeno mínimo (campaña EZOM, n=7). Las diferencias se establecieron calculando medias y desviaciones estándar para cada región y se compararon empleando una prueba ANOVA Kruskal-Wallis con el programa STATISTICA 6.0.

**Nota:** En el Anexo 1 se explican brevemente las pruebas estadísticas empleadas en este trabajo.

## 8. RESULTADOS

### 8.1. Evaluación de la exactitud del método analítico

La exactitud es usualmente reportada en términos del porcentaje de recobro empleando la metodología desarrollada (Chow *et.*, 2004). El porcentaje del recobro (Tabla 7) para cada una de las réplicas entreabrió entre 98.42% y 103.06%, con una media ( $\bar{X}$ ) de 99.98% y desviación estándar (s) de 1.84%. Una prueba t de student ( $t_{2,77}=-0.024$ ,  $\alpha= 0.05$ ) indicó que la media del recobro no es significativamente diferente al 100% y se encuentra dentro del intervalo de confianza (97.87% – 102.09%,  $\alpha= 0.05$ ), reconociendo que la metodología es capaz de arrojar valores muy cercanos a los reales como se define la exactitud del método analítico (ICH Q2A).

**Tabla 7.** Exactitud del Método para Carbono orgánico total.

Muestra de Sedimento Superficial Abisal			
% Recobro			
98.69	98.42	$\bar{X}$	99.98
99.83	103.06	<b>S</b>	1.84
99.93		<b>Coefficiente de variación (CV)</b>	1.84%

### 8.2. Evaluación de la precisión del método analítico

La media de concentración de COT ( $\bar{X} \pm s$ ) fue de COT= 0.80%  $\pm$  0.02% para las dieciocho réplicas presentando un coeficiente de variación de 2.46% (Tabla 8). El Nitrógeno presentó una media ( $\bar{X} \pm s$ ) de N=0.103%  $\pm$  0.003% para las dieciocho réplicas con un coeficiente de variación de 2.78%, demostrando que el método es preciso para la determinación de ambos elementos.

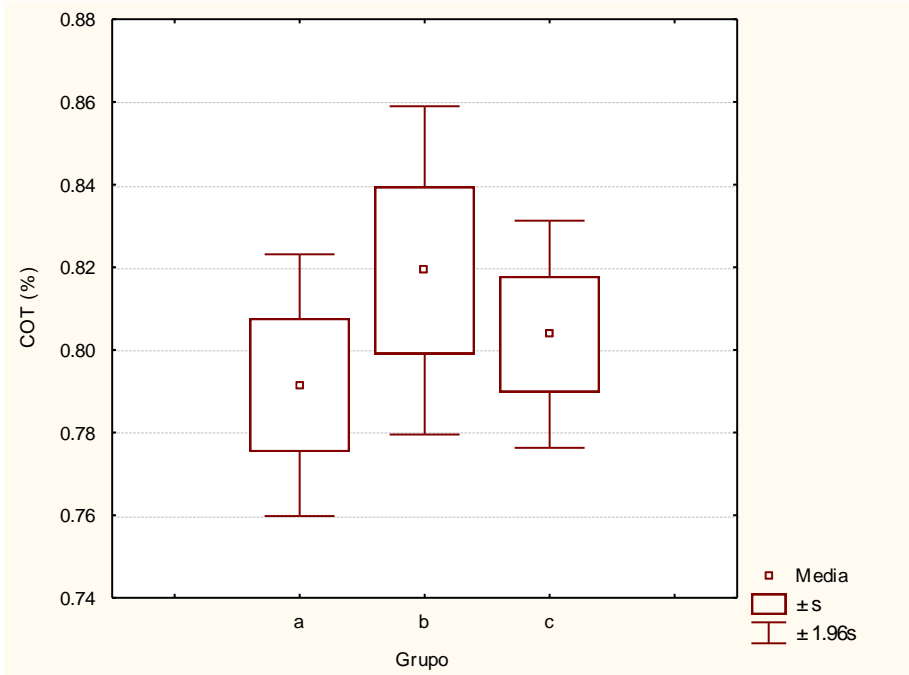
**Tabla 8.** Resultados de la evaluación de repetitividad del método analítico.

10 mg de CaCO <sub>3</sub>	N (%)	COT (%)	50 mg de CaCO <sub>3</sub>	N (%)	COT (%)	100 mg de CaCO <sub>3</sub>	N (%)	COT (%)	
<b>A</b>	0.0972	0.7913	<b>b</b>	0.1043	0.8003	<b>c</b>	0.1064	0.7997	
	0.1018	0.7976		0.1029	0.8123		0.1034	0.8072	
	0.1009	0.8066		0.1011	0.8492		0.1034	0.7779	
	0.1045	0.8086		0.1035	0.8274		0.1047	0.8121	
	0.1004	0.7754		0.1089	0.8306		0.1053	0.8079	
	0.0976	0.7694		0.1021	0.7957		0.1038	0.8179	
$\bar{X}$	0.1004	0.7915	$\bar{X}$	0.1030	0.8193	$\bar{X}$	0.1045	0.8038	
<b>S</b>	0.0027	0.0162	<b>s</b>	0.0013	0.0203	<b>S</b>	0.0012	0.0140	
CV	2.7163	2.0414	CV	1.2362	2.4741	CV	1.1483	1.7450	
						N (%)		COT (%)	
$\bar{X}$ total						0.1029		0.8048	
<b>S</b> total						0.0029		0.0198	

Coeficiente de Variación (CV)	2.7825	2.4604
-------------------------------	--------	--------

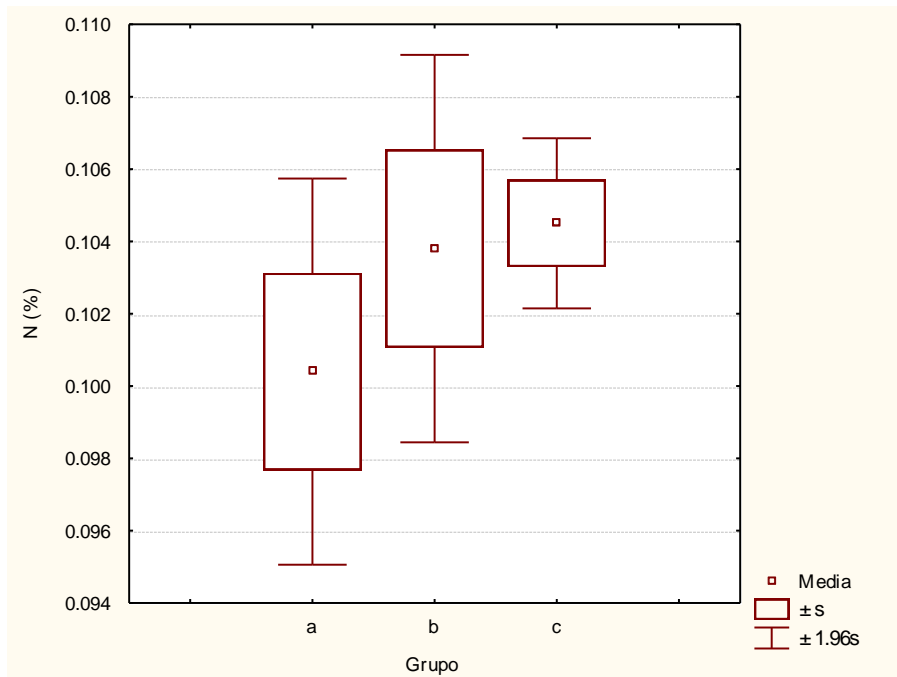
La precisión de un método analítico expresa la cercanía entre una serie de mediciones de muestras homogéneas en un periodo de tiempo empleando la metodología en las condiciones determinadas (Chow *et al.*, 2004), en el caso de esta investigación se evaluó el nivel de precisión conocido como repetitividad. El método fue repetible debido a que los grupos **a** (adición de 10mg de CaCO<sub>3</sub>), **b** (adición de 50mg de CaCO<sub>3</sub>) y **c** (adición de 100mg de CaCO<sub>3</sub>) no presentaron diferencias significativas en sus concentraciones de COT (H=5.69, p=0.06;  $\chi^2=4.00$ , p=0.13, Figura 16) ni de N (H=7.26, p=0.02;  $\chi^2=3.15$ , p=0.20, Figura 17) al realizarse una prueba ANOVA Kruskal-Wallis. Esto demuestra que el método es repetible independientemente del contenido de Carbono inorgánico en la muestra.

Al comparar los tres grupos se demuestra que todo el Carbono inorgánico en forma de Carbonato de Calcio es removido de forma eficiente sin perder material orgánico de interés. Esto se ha identificado como uno de los mayores problemas de las diferentes técnicas de cuantificación de COT (Visco *et al.*, 2005; Bisutti *et al.*, 2004; Ryba y Burgess, 2002).



**Figura 16.** Comparación de concentración de COT para evaluar la precisión [grupos **a**, **b** y **c** con media ( $\bar{X}$ ) y desviación estándar (s)].





**Figura 17.** Comparación de concentración de N para evaluar la precisión [grupos a, b y c con media ( $\bar{X}$ ) y desviación estándar (s)].

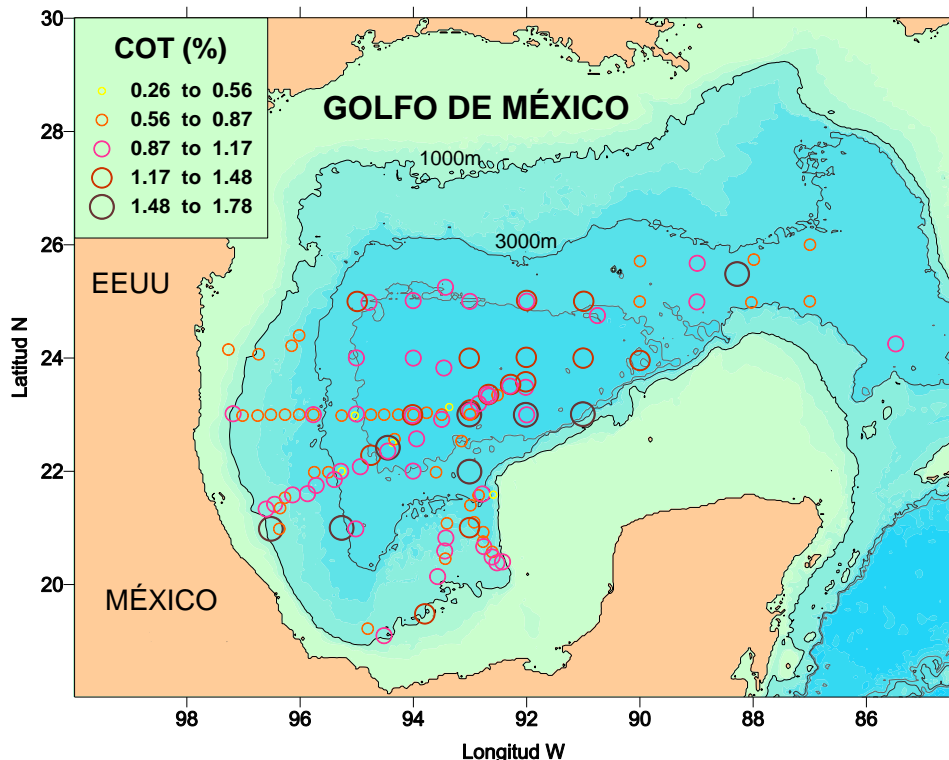
### 8.3. Carbono orgánico total

El carbono orgánico total (COT) en los primeros cinco centímetros de los sedimentos abisales del Golfo de México (Tabla 9 y Figura 18) en las 115 estaciones muestreadas (n=115) presentó una media de 0.9% con una desviación estándar de 0.3% en un intervalo de profundidad que va de los 1,025 m a los 3,975 m.

**Tabla 9.** Concentraciones de Carbono orgánico total (COT) y Nitrógeno (N) y tasa C/N para los sedimentos superficiales de mar profundo del Golfo de México ( $\bar{x}$ : promedio; s: desviación estándar; *máx*: valor máximo; *mín*: valor mínimo; n: número de muestras). Se encuentran marcadas las muestras que fueron realizadas por el mismo analista en este estudio.

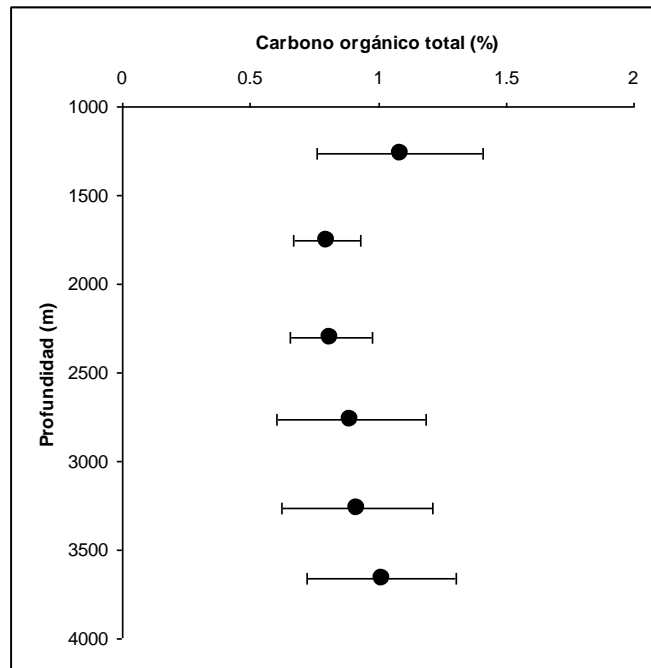
CAMPAÑA	ESTACIÓN	COT (%)	N (%)	C/N (%)	CAMPAÑA	ESTACIÓN	COT (%)	N (%)	C/N (%)	
DGoMB	1	1.226	0.112	10.902	SIGSBEE 4	3	0.900	0.116	7.785	
	2	1.044	0.115	9.069		4	0.938	0.117	8.000	
	3	0.969	0.139	6.948		5	1.025	0.117	8.772	
	4	0.924	0.107	8.663		6	1.055	0.120	8.792	
	5	1.609	0.164	9.812		7	1.395	0.148	9.453	
PROMEBIO 1	2	0.635	0.090	7.056		8	1.494	0.137	10.926	
	3	0.905	0.130	6.962		9	1.085	0.120	9.042	
	5	0.485	0.080	6.063		SIGSBEE 5	1	1.440	0.128	11.266
	9	0.725	0.090	8.056			2	0.900	0.146	6.175
	11	0.690	0.085	8.139	3		0.865	0.139	6.241	
	15	0.745	0.100	7.450	4		1.295	0.125	10.344	
	20	0.575	0.080	7.188	5		0.905	0.140	6.448	
	25	0.860	0.100	8.600	6		0.920	0.135	6.835	
	26	1.135	0.145	7.836	7		0.960	0.129	7.465	
	30	0.930	0.095	9.800	8		0.965	0.127	7.640	
	31	0.915	0.130	7.038	9		0.870	0.123	7.088	

CAMPAÑA	ESTACIÓN	COT (%)	N (%)	C/N (%)	CAMPAÑA	ESTACIÓN	COT (%)	N (%)	C/N (%)
	32	0.800	0.100	8.000		10	0.960	0.126	7.592
	36	0.760	0.100	7.600		11	0.805	0.106	7.570
	37	0.905	0.120	7.542	<b>SIGSBEE 6</b>	1	<b>1.174</b>	<b>0.130</b>	<b>9.010</b>
	38	0.900	0.125	7.212		2	<b>1.422</b>	<b>0.166</b>	<b>8.585</b>
	39	1.085	0.140	7.750		3	<b>1.486</b>	<b>0.132</b>	<b>11.262</b>
PROMEBIO 2	17	1.035	0.140	7.449		4	<b>1.570</b>	<b>0.178</b>	<b>8.801</b>
	40	1.175	0.220	5.439		5	<b>1.249</b>	<b>0.105</b>	<b>11.883</b>
	144	0.855	0.230	3.727		6	<b>0.958</b>	<b>0.122</b>	<b>7.835</b>
PROMEBIO 3	123	1.200	0.165	7.274		7	<b>1.095</b>	<b>0.130</b>	<b>8.404</b>
	132	1.030	0.145	7.114		8	<b>1.196</b>	<b>0.137</b>	<b>8.750</b>
SIGSBEE 1	3	0.710	0.100	7.100		9	<b>1.575</b>	<b>0.172</b>	<b>9.137</b>
	4	0.630	0.090	7.000		10	<b>1.308</b>	<b>0.134</b>	<b>9.768</b>
	5	0.600	0.080	7.500		11	<b>1.092</b>	<b>0.128</b>	<b>8.540</b>
	6	0.720	0.100	7.200		12	<b>0.981</b>	<b>0.088</b>	<b>11.202</b>
	9	1.055	0.090	11.722		13	<b>1.369</b>	<b>0.150</b>	<b>9.155</b>
	10	0.930	0.090	10.333		14	<b>0.934</b>	<b>0.112</b>	<b>8.308</b>
SIGSBEE 2	4	1.780	0.190	9.368		15	<b>1.007</b>	<b>0.123</b>	<b>8.200</b>
	5	0.790	0.080	9.875		16	<b>1.049</b>	<b>0.123</b>	<b>8.497</b>
	7	0.625	0.070	8.929	16b	<b>1.495</b>	<b>0.159</b>	<b>9.436</b>	
	8	0.700	0.085	8.264	<b>SIGSBEE 7</b>	1	<b>0.919</b>	<b>0.137</b>	<b>6.718</b>
	9	1.595	0.230	6.935		2	<b>1.141</b>	<b>0.148</b>	<b>7.691</b>
	10	0.920	0.120	7.720		3	<b>1.231</b>	<b>0.170</b>	<b>7.222</b>
	13	0.785	0.060	13.083		4	<b>1.090</b>	<b>0.152</b>	<b>7.170</b>
	14	0.645	0.075	8.634		5	<b>0.942</b>	<b>0.139</b>	<b>6.791</b>
	16	1.340	0.120	11.167		6	<b>1.001</b>	<b>0.142</b>	<b>7.045</b>
	17	0.475	0.080	5.938	<b>SIGSBEE 8</b>	1	<b>0.749</b>	<b>0.102</b>	<b>7.335</b>
	18	0.260	0.080	3.250		2	<b>0.760</b>	<b>0.100</b>	<b>7.634</b>
19	0.375	0.040	9.375	3		<b>0.830</b>	<b>0.111</b>	<b>7.470</b>	
20	0.635	0.085	7.493	4		<b>0.701</b>	<b>0.063</b>	<b>11.078</b>	
21	1.045	0.100	10.540	5		<b>0.967</b>	<b>0.125</b>	<b>7.737</b>	
				6		<b>0.994</b>	<b>0.126</b>	<b>7.877</b>	
SIGSBEE 3	3	0.970	0.110	8.818	7	<b>0.832</b>	<b>0.114</b>	<b>7.318</b>	
	4	0.760	0.190	4.000	8	<b>0.821</b>	<b>0.121</b>	<b>6.793</b>	
	5	0.735	0.090	8.167	9	<b>1.287</b>	<b>0.171</b>	<b>7.515</b>	
	6	0.745	0.130	5.864	10	<b>0.974</b>	<b>0.140</b>	<b>6.946</b>	
	7	0.700	0.135	5.192	11	<b>0.806</b>	<b>0.123</b>	<b>6.569</b>	
	8	0.655	0.080	8.188					
	9	0.800	0.095	8.417	$\bar{x}$	0.945	0.120	7.968	
	10	0.875	0.120	7.292	s	0.282	0.033	1.680	
	11	0.720	0.100	7.200	Máx	1.800	0.250	13.167	
	12	0.555	0.090	6.167	Min	0.260	0.040	3.250	
	13	0.590	0.085	6.958	n		115		
	14	0.610	0.110	5.545					
	15	0.755	0.095	7.967	$\bar{x}$	<b>1.101</b>	<b>0.130</b>	<b>8.518</b>	
	16	0.695	0.105	6.632	s	<b>0.240</b>	<b>0.023</b>	<b>1.367</b>	
	17	0.705	0.110	6.409	Máx	<b>1.616</b>	<b>0.179</b>	<b>11.886</b>	
	18	0.705	0.115	6.140	Min	<b>0.693</b>	<b>0.063</b>	<b>6.472</b>	
	19	0.610	0.100	6.100	n		<b>46</b>		



**Figura 18.** Distribución de carbono orgánico total (COT) en sedimento superficial del Golfo de México.

**8.3.1. Distribución de Carbono orgánico total con la Profundidad en la columna de agua.** La concentración de COT en los sedimentos del Golfo de México no mostró una relación lineal conforme aumenta la profundidad ( $z$ ), sin embargo, presentó un comportamiento de tipo polinomial (Figura 19) cuyos valores máximos ( $\text{COT} = 1.1\% \pm 0.3\%$ ,  $n=7$ , Tabla 10) se encontraron en el estrato más somero que va de los 1,025 a los 1,500 m, característicos de la zona conocida como Talud continental. Los valores mínimos ( $\text{COT} = 0.8\% \pm 0.1\%$ ,  $n=10$ ) se detectaron entre los 1,510 m y los 2,000 m, sobre el Talud continental Inferior para finalmente volver a aumentar en la zona más profunda de 3,550 m a 3,795 m conocida como la Planicie Abisal Sigsbee con valores de  $\text{COT} = 1.0\% \pm 0.3\%$ ,  $n=52$ . Los valores de la planicie abisal son muy variables contrario a lo que se esperaría de un ecosistema que recibe menos del 1% de la producción superficial y de baja variabilidad ambiental (Suess, 1980).



**Figura 19:** Distribución de Carbono orgánico total por estrato de profundidad (media  $\pm$  desviación estándar).

**Tabla 10.** Concentración de carbono orgánico total (COT) para sedimentos del Golfo de México por estrato de profundidad en diversas estaciones (n) colectadas durante las campañas Sigsbee (S), PROMEBIO (PRO) y DGoMB [media ( $\bar{x}$ ), desviación estándar (s), valores máximo (*máx*) y mínimo (*mín*)].

Estrato Profundidad (m)	Estadístico	COT (%)	n	Campañas
1,025 a 1,500	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>Min</i>	1.088 0.325 1.800 0.710	7	PRO2, S1, S2, S3, S4
1,510 a 2,000	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>Min</i>	0.801 0.130 1.090 0.630	10	PRO1, PRO2, S1, S2, S3, S5
2,100 a 2,500	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>Min</i>	0.814 0.161 1.040 0.480	15	PRO1, PRO3, S1, S2, S3, S4, S5
2,520 a 3,000	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>Min</i>	0.893 0.292 1.600 0.570	12	PRO1, PRO2, S1, S2, S3, S4, S5
3,020 a 3,500	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>Min</i>	0.918 0.294 1.616 0.370	19	PRO1, DGoMB, S2, S3, S4, S5, S6, S8
3,520 a 3,795	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>Min</i>	1.014 0.293 1.577 0.260	52	DGoMB, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8

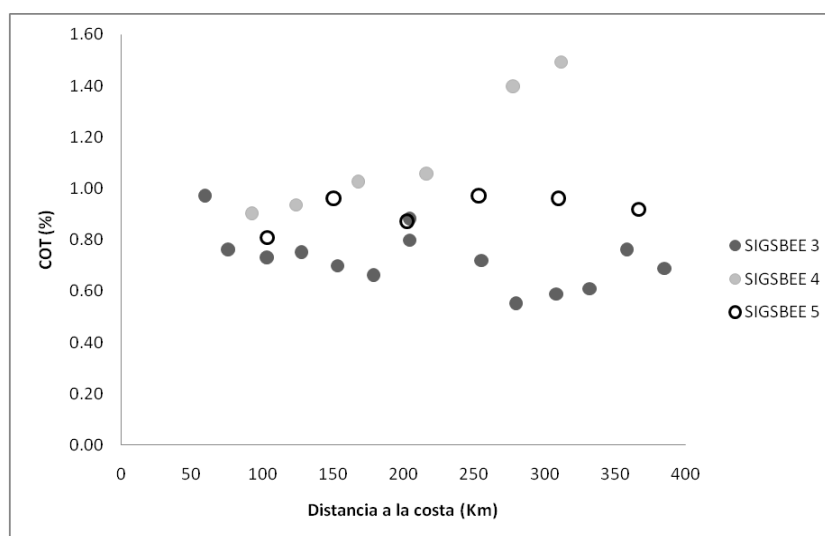
**8.3.2. Distribución de carbono orgánico total por zonas batimétricas.** Al analizar las variaciones de carbono orgánico total por zonas batimétricas (Tabla 11), se encontró que el COT presenta una concentración más baja en los sedimentos depositados sobre el Talud continental (COT= 0.9% ± 0.2%, n=39), incrementando con valores muy similares para la Elevación (eminencia) continental (COT= 1.0% ± 0.3%, n=32) y la Planicie Abisal (COT= 1.0% ± 0.3%, n=44). Las diferencias significativas se identificaron entre los tres grupos con base en la prueba ANOVA Kruskal-Wallis (H=6.83, p=0.03;  $\chi^2=6.53$ , p=0.03). Las diferencias se presentaron entre el Talud continental y la Elevación (eminencia) continental (Prueba U Mann-Whitney,  $Z_{-1.73}=1.73$ , p=0.08) y entre el Talud continental y la Planicie Abisal (Prueba U Mann-Whitney,  $Z_{-2.50}=-2.50$ , p=0.01). Las diferencias no fueron significativas entre la Elevación (eminencia) continental y la Planicie Abisal (Prueba U Mann-Whitney,  $Z_{0.08}=-0.08$ , p=0.42).

**Tabla 11.** Concentración de carbono orgánico total (COT) para sedimentos del Golfo de México por zona batimétrica en diversas estaciones (n) [media ( $\bar{x}$ ), desviación estándar (s), valores máximo (*máx*) y mínimo (*mín*)].

Zona batimétrica	Profundidad (m)	Estadístico	COT (%)	n	Campañas
Talud continental	1,025 a 2,750	$\bar{x}$	0.862	39	PRO1, PRO2, S1, S2, S3, S4, S5
		s	0.230		
		<i>máx</i>	1.780		
		<i>mín</i>	0.485		
Elevación (eminencia) continental	2,840 a 3,578	$\bar{x}$	0.966	32	DGoMB, PRO1, S2, S3, S4, S5, S6, S8
		s	0.284		
		<i>máx</i>	1.609		
		<i>mín</i>	0.375		
Planicie Abisal	3,600 a 3,795	$\bar{x}$	1.004	44	DGoMB, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8
		s	0.310		
		<i>máx</i>	1.575		
		<i>mín</i>	0.260		

**8.3.3. Variación de la concentración de carbono orgánico total con la distancia a la costa.** Al analizar la variación en la concentración de COT con respecto a la distancia a la costa para las estaciones de las campañas oceanográficas Sigsbee 3 a 5 llevadas a cabo entre los años 2000 a 2002 (S3-S5, Figura 20) se encontró que para el transecto norte correspondiente a S3 el COT no mostró una correlación lineal con la distancia a la costa (Spearman:  $R=-0.50$ , p=0.60). Así mismo, las fluctuaciones del sistema no presentaron significancia de acuerdo a la Prueba Wald-Wolfvits ( $Z_{0.20}=-0.48$ , p=0.62). Los transectos ubicados más al sur (S4 del 2001 y S5 del 2002) mostraron un comportamiento diferente, el transecto S4 presentó una

correlación directa entre la distancia a la costa y la concentración de COT (Spearman:  $R=1$ ,  $p=0.01$ ) que explica el 91% de los casos ( $r^2=0.91$ ), las estaciones de la campaña S5 no presentaron correlación, pero las variaciones son significativas (Wald-Wolfgovits:  $Z_{1,23}=-1.76$ ,  $p=0.07$ ). De manera global, el COT no presenta relación directa con la distancia a la costa (Spearman:  $R=-0.12$ ,  $p=0.55$ ), se reconoció una disminución significativa en la concentración de COT con distancia a la costa (Wald-Wolfgovits:  $Z_{2,20}=-2.40$ ,  $p=0.01$ ).



**Figura 20.** Variación en valores medios de la concentración de carbono orgánico total (COT) con la distancia a la costa.

**8.3.4. Variación de la concentración de carbono orgánico total por regiones fisiográficas.** Las estaciones muestreadas en las diferentes campañas realizadas en el Golfo de México se distribuyeron en nueve regiones fisiográficas diferentes (Tabla 12), permitiendo reconocer el Talud del sector occidental del Golfo de México con la concentración más baja de  $COT= 0.8\% \pm 0.2\%$  para 22 estaciones ( $n=22$ ), el Talud y Colinas de Campeche cuya concentración media de COT fue mayor con  $COT= 0.9\% \pm 0.1\%$ ,  $n=11$ ; similar a los valores registrados para el Cañón de Campeche ( $COT= 0.9\% \pm 0.3\%$ ,  $n=10$ ) y en el Abanico del Mississippi ( $COT= 0.9\% \pm 0.3\%$ ,  $n=10$ ). Entre los valores medios más elevados de COT se reconocieron en las regiones fisiográficas de la de Elevación (eminencia) continental del suroeste del Golfo ( $COT= 1.0\% \pm 0.3\%$ ,  $n=12$ ) y en la Planicie Abisal Sigsbee ( $COT= 1.0\% \pm 0.3\%$ ,  $n=44$ ), representando el número mayor de estaciones muestreadas. Finalmente, las estaciones con los valores más elevados corresponden a la región fisiográfica del Talud de Veracruz (Boca de Veracruz) con  $COT= 1.1 \pm 0.4\%$  ( $n=3$ ), mientras que las localidades del Escarpe de Campeche registraron valores de COT

de 1.1% y 0.5% y una estación restante ubicada en la Planicie de Florida tuvo un valor de COT de 0.9%.

**Tabla 12.** Concentración de COT para sedimentos del Golfo de México por regiones fisiográficas en diversas estaciones (n) colectadas durante las campañas Sigsbee (S), PROMEBIO (PRO) y DGoMB [media ( $\bar{x}$ ), desviación estándar (s), valores máximo (*máx*) y mínimo (*mín*)].

Región fisiográfica	Estrato Profundidad (m)	Estadístico	COT (%)	n	Campañas
Talud del sector occidental del Golfo de México	1,157 a 2,750	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	0.829 0.251 1.780 0.600	22	S1, S2, S3, S4, S5
Boca de Veracruz	1,758 a 3,360	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	1.123 0.410 1.595 0.855	3	PRO2, S2
Talud y Colinas de Campeche	1,025 a 2,480	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	0.914 0.128 1.175 0.745	11	PRO1, PRO2, PRO3
Cañón de Campeche	2,520 a 3,564	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	0.919 0.295 1.495 0.575	10	PRO1, PRO3, S2, S6
Escarpe de Campeche	1,600 a 2,500	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	0.785 0.424 1.085 0.485	2	PRO1
Elevación Continental del Suroeste del Golfo	3,000 a 3,578	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	0.979 0.278 1.395 0.375	12	DGoMB, S2, S3, S4, S5, S6
Abanico del Mississippi	3,165 a 3,542	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	0.944 0.273 1.609 0.701	10	DGoMB, S6, S8
Planicie de Florida	3,405	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	0.923	1	DGoMB
Planicie Abisal Sigsbee	3,600 a 3,795	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	1.004 0.310 1.575 0.260	44	DGoMB, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8

La prueba de ANOVA Kruskal-Wallis ( $H=6.83$ ,  $p=0.03$ ;  $X^2=6.53$ ,  $p=0.03$ ) permitió reconocer que no existen diferencias significativas entre las regiones fisiográficas.

Sin embargo, pruebas U de Mann-Whitney entre regiones (Anexo 2) demostraron que existen diferencias significativas entre el Talud del sector occidental del Golfo de México y el talud de Campeche, la Elevación (eminencia) continental y Planicie Abisal con una confianza <95%, y con el Abanico del Mississippi al 93% de confianza.

**8.3.5. Variación de la concentración de carbono orgánico total entre sectores Norte y Sur.** La media de la concentración de COT en los sedimentos fue similar entre los sectores Norte y Sur (Tabla 13). El sector Norte con una concentración de COT= 1.0% ± 0.2% para 21 estaciones (n=21) de las campañas Sigsbee y DGoMB. El sector Sur presentó una desviación superior (COT= 1.0% ± 0.3%) con un número de estaciones mayor (n=55). La Prueba ANOVA Kruskal-Wallis mostró la inexistencia de diferencias significativas entre los sectores (H=0.31, p=0.57;  $\chi^2=0.65$ , p=0.79).

**Tabla 13.** Concentración de carbono orgánico total (COT) para sedimentos del Golfo de México por sectores Norte y Sur en diversas estaciones (n) [media ( $\bar{x}$ ), desviación estándar (s), valores máximo (*máx*) y mínimo (*mín*)].

Sector	Latitud (°)	Profundidad (m)	Estadístico	COT (%)	n	Campañas
Norte	24.00 a 26.00	3,165 a 3,700	$\bar{x}$	1.006	21	DGoMB, S1, S6, S8
			s	0.221		
			<i>Máx</i>	1.609		
			<i>Min</i>	0.701		
Sur	20.98 a 23.99	2,840 a 3,795	$\bar{x}$	0.981	55	PRO1, PRO2, PRO3, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8
			s	0.324		
			<i>Máx</i>	1.595		
			<i>Min</i>	0.260		

**8.3.6. Variación de la concentración de carbono orgánico total entre sectores Este y Oeste.** La concentración de COT en sedimento superficial fue similar en el sector Este (COT= 1.0% ± 0.3%) para las 18 estaciones (Tabla 14), con respecto a las localidades ubicadas en el sector Oeste (COT= 1.0% ± 0.3%), donde se agruparon la mayoría de las estaciones (n=58). La Prueba ANOVA Kruskal-Wallis mostró la inexistencia de diferencias significativas entre los sectores (H=0.52, p=0.47;  $\chi^2=0.29$ , p=0.59).

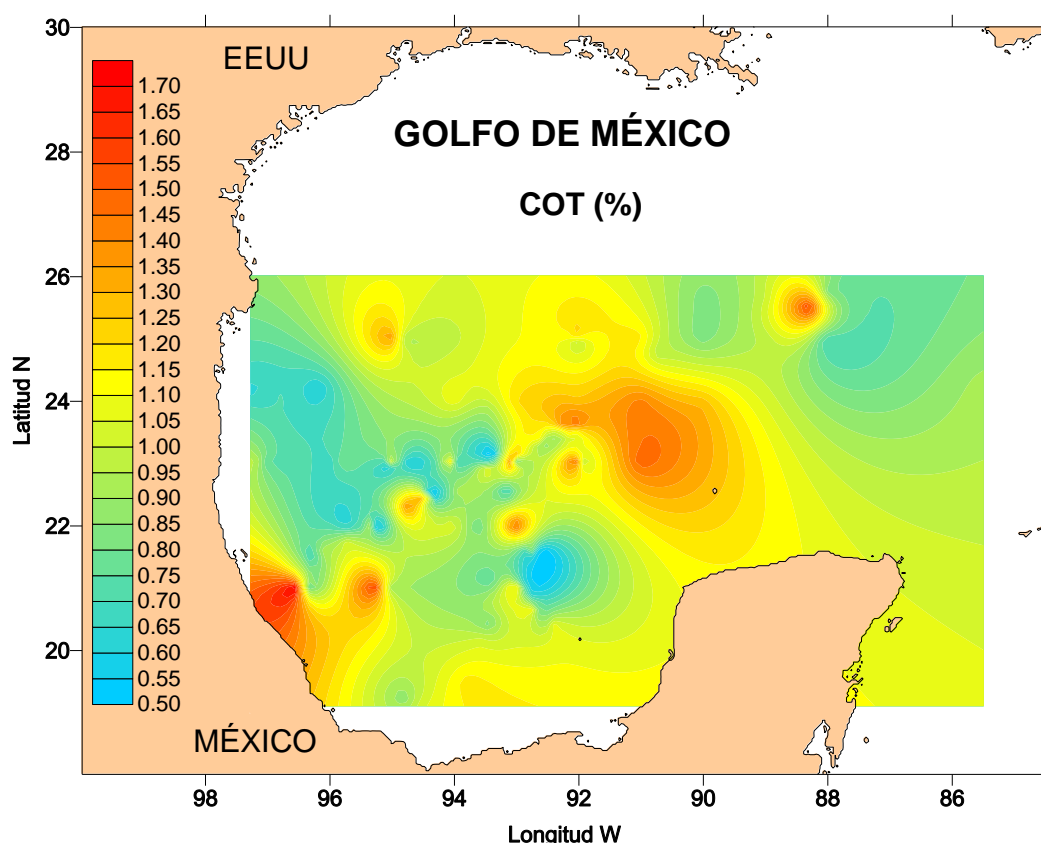
**Tabla 14.** Concentración de carbono orgánico total (COT) para sedimentos del Golfo de México por sectores Norte y Sur en diversas estaciones (n) [media ( $\bar{x}$ ), desviación estándar (s), valores máximo (*máx*) y mínimo (*mín*)].



Sector	Longitud W (°)	Profundidad (m)	Estadístico	COT (%)	n	Campañas
Oeste	95.76 a 92.01	2,840 a 3,795	$\bar{x}$ s Máx Min	0.972 0.307 1.595 0.260	58	PRO1-3, DGoMB, S1-8
Este	92.00 a 85.48	3,166 a 3,737	$\bar{x}$ s Máx Min	1.038 0.269 1.609 0.701	18	DGoMB, S6, S8

### 8.3.7. Variación espacial de la concentración de carbono orgánico total en el Golfo de México.

La variación espacial describe las tendencias (Figura 21) de la distribución de COT, reconociendo una concentración mayor de COT en la zona más profunda asociada a la región NW de la Planicie Abisal Sigsbee, así como valores mayores también en los montes de Sigsbee.



**Figura 21.** Distribución de la concentración de carbono orgánico total en el Golfo de México, por isocóncitos de concentración en porcentaje.

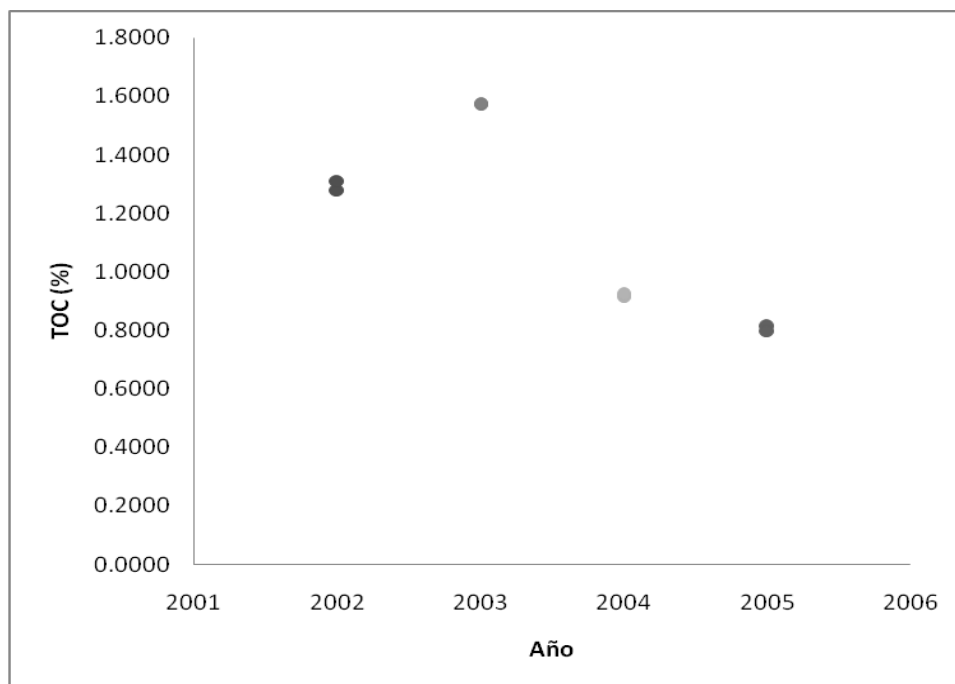
Sobre la Elevación (eminencia) continental se encuentran dos localidades de concentración elevada, el primero cerca de los 22°N y uno más por arriba de los 25°N, cerca del Talud del Río Grande. En similar intervalo de profundidad, sobre el Abanico del Mississippi se encuentra otra localidad de concentración elevada. En la

región del Talud continental, las colinas de Campeche muestran valores similares a los del Cañón de Campeche, que a su vez presenta un área extensa de concentración elevada que sigue el contorno del cañón, terminando en un punto de concentración mayor cerca de los 3,300 m, al pie de los montes Sigsbee. Al Sur, el Talud de Veracruz muestra localidades con valores más bajos que los del Talud de Campeche siguiendo el contorno de la región fisiográfica Boca de Veracruz. Hacia el NE los valores del Talud incrementan sobre la parte sur del Talud del sector occidental del Golfo de México para disminuir nuevamente con valores más bajos hacia la zona Norte del mismo. En el talud inferior, sobre los 21°N se observa otro punto de concentración elevada que pudiera estar asociado a las Cordilleras Mexicanas.

**8.3.8. Variación temporal de la concentración de COT en la estación permanente de la Planicie Abisal Sigsbee.** La concentración de COT en la planicie abisal varió a lo largo del tiempo (Tabla 15) de valores de COT= 1.6% en 2003 a COT= 0.8% en 2005 para las determinaciones por duplicado realizadas en la estación de serie de tiempo. Las variaciones no muestran variaciones significativas en el tiempo (prueba ANOVA Kruskal-Wallis  $H=2.66$ ,  $p<0.44$ ;  $X^2=4.00$ ,  $p<0.26$ ) y siguen un patrón diferente al lineal (análisis de Correlación Spearman  $R= -0.80$ ,  $p=0.20$ , Figura 22).

**Tabla 15.** Valores anuales de la concentración de carbono orgánico total (COT) para la estación permanente de la Planicie Abisal Sigsbee durante las campañas Sigsbee (S).

Año	Profundidad (m)	COT (%)	Campañas / Estación
2002	3,720	1.310 1.280	S5 E4
2003	3,744	1.577 1.573	S6 E9
2004	3,740	0.922 0.915	S7 E1
2005	3,740	0.812 0.798	S8 E11



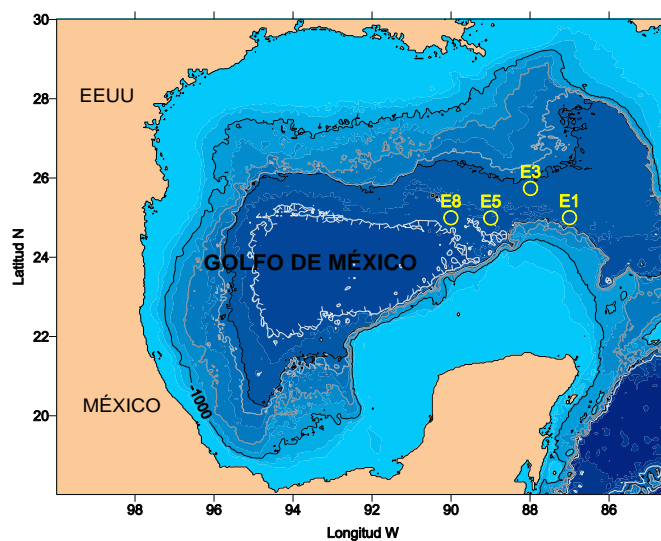
**Figura 22.** Distribución anual de las concentraciones de carbono orgánico total (COT) en la estación permanente en la Planicie Abisal Sigsbee.

**8.3.9. Variación de la concentración de carbono orgánico total en función de su sedimentación.** La concentración de COT en tres (E1, E5 y E8) de las cuatro estaciones muestreadas durante la campaña S8 (Figura 23) hacia el interior del sedimento (Tabla 16) está directamente relacionada con la profundidad en el núcleo. Para el caso de la estación 1 (E1), que se localizó al oriente en dirección a la Planicie de Florida, a una profundidad de 3,344m, esta correlación fue positiva (Correlación Spearman  $R= 0.956$ ,  $p<0.05$ ). En la estación 3 (E3), ubicada al norte más cerca del cañón del Mississippi y siendo la de menor profundidad (3,166 m), la concentración de COT no se correlacionó con la profundidad en el sedimento (Correlación Spearman  $R= 0.360$ ,  $p<0.05$ , Figura 24), una prueba Wald-Wolfowitz permitió reconocer que las fluctuaciones en el núcleo del tampoco son significativas ( $Z (-0.20)= 0.81$ ,  $p=0.83$ ).

**Tabla 16.** Concentración media de COT por nivel para cada una de las estaciones muestreadas (E1-8), identificadas con su profundidad, latitud y longitud.

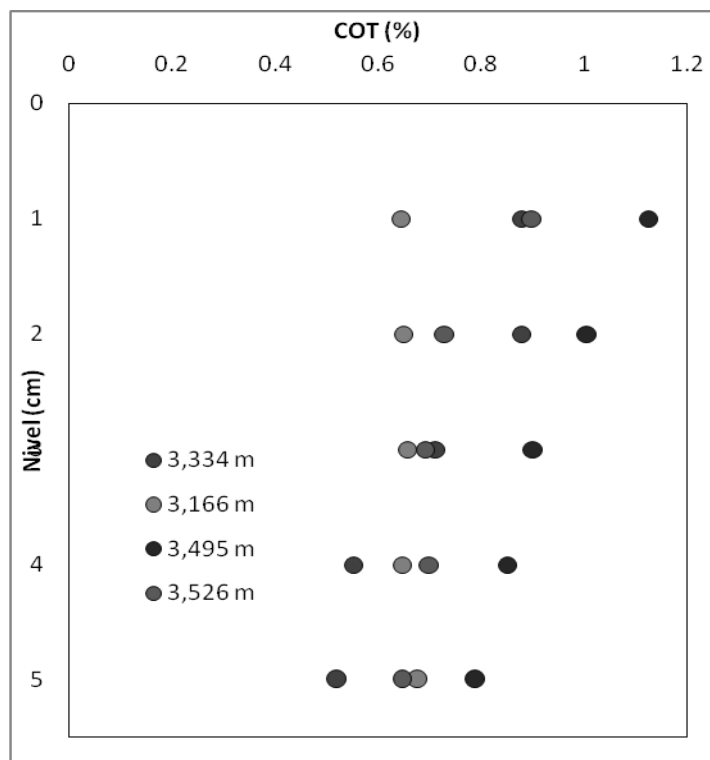
Nivel (Intervalo en cm):	COT (%)			
	E1	E3	E5	E8
0-1	0.878	0.644	1.125	0.900
1-2	0.878	0.649	1.007	0.730
2-3	0.713	0.657	0.902	0.692
3-4	0.552	0.647	0.851	0.700

4-5	0.521	0.678	0.790	0.647
Profundidad (m)	3344	3166	3495	3526
Latitud (°)	25.00	25.44	24.59	24.59
Longitud (°)	87.00	87.59	88.59	90.00



**Figura 23.** Ubicación de las estaciones muestreadas para analizar la variación del contenido elemental en función de su sedimentación.

La estación 5 (E5), ubicada sobre los 3,495 m de profundidad, presentó una correlación entre la concentración de COT y la profundidad en el sedimento (Correlación Spearman  $R= 0.985$ ,  $p<0.05$ ). Finalmente, la estación 8 (E8) que es la más cercana a la Planicie Abisal Sigsbee y se ubica a 3,526 m de profundidad, presentó correlación positiva con la profundidad de muestreo en el sedimento (Correlación Spearman  $R= 0.886$ ,  $p<0.05$ ). Estas tendencias se ilustran en la Figura 24, donde se muestran las medias de concentración de COT para cada estación por nivel, reconociendo concentraciones menores en los niveles inferiores.

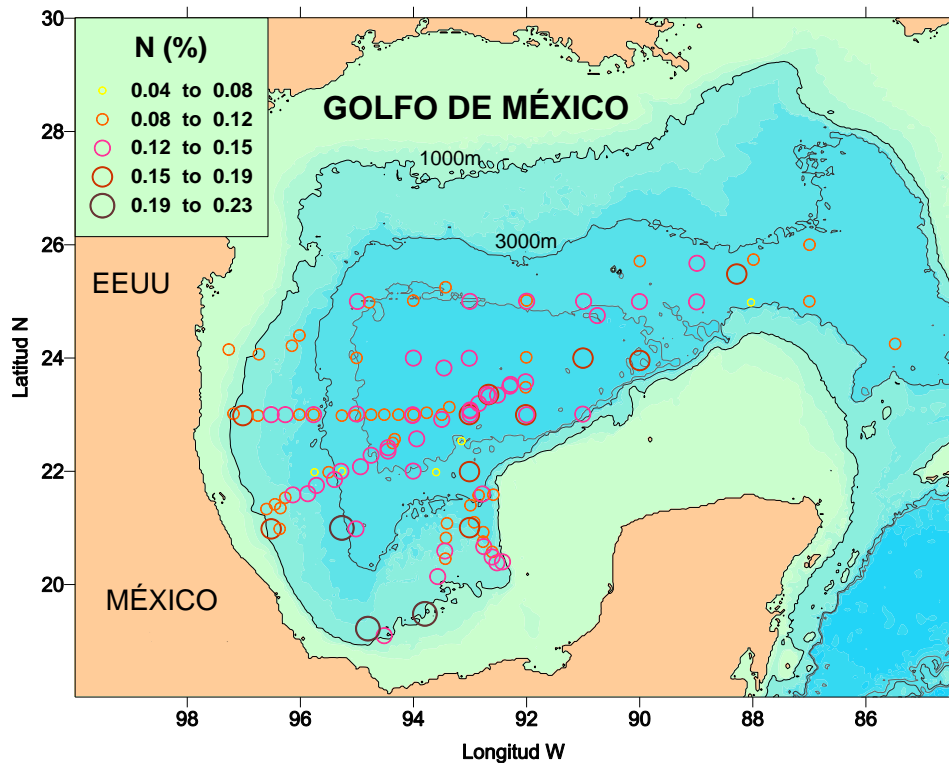


**Figura 24.** Concentración de COT hacia el interior de sedimento para estaciones a diferentes niveles de profundidad.

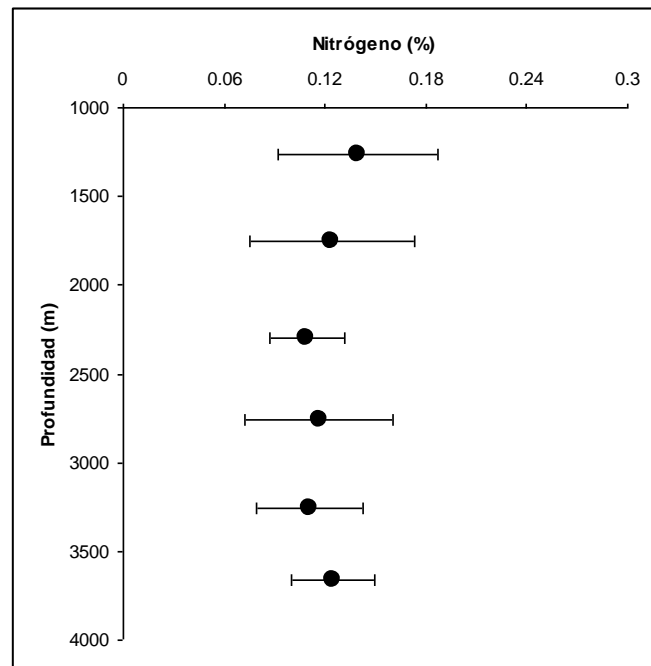
#### 8.4. NITRÓGENO

La concentración de Nitrógeno total (N) en los primeros cinco centímetros de los sedimentos abisales del Golfo de México (Tabla 9 y Figura 25) en las 115 estaciones muestreadas (n=115) presentó una media de 0.12% con una desviación estándar de 0.03% en un intervalo de profundidad que va de los 1,025 a los 3,975 m.

**8.4.1. Distribución de Nitrógeno con la profundidad en la columna de agua.** La concentración de Nitrógeno (N) en los sedimentos del Golfo de México no mostró una relación lineal con la profundidad (z), el comportamiento se ajustó a una curva de tipo polinomial (Figura 26, Tabla 17) cuyos valores máximos ( $N = 0.14\% \pm 0.05\%$ , n=7) se encontraron en el estrato más somero que va de los 1,025 a los 1,500 m, característicos de la zona conocida como Talud continental. Los valores mínimos ( $N = 0.11\% \pm 0.02\%$ , n=15) se detectaron entre los 2,100m y los 2,500m, sobre el Talud continental Inferior para finalmente aumentar en la zona más profunda de 3,550m a 3,795m conocida como la Planicie Abisal Sigsbee con valores de  $N = 0.13\% \pm 0.02\%$ , n=52.



**Figura 25.** Distribución de nitrógeno total (N) en sedimento superficial del Golfo de México.



**Figura 26:** Distribución de la concentración de Nitrógeno en el sedimento superficial y su variación por estrato de profundidad (media  $\pm$  desviación estándar).

**Tabla 17.** Concentración de Nitrógeno para sedimentos del Golfo de México por estrato de profundidad en diversas estaciones (n) [media ( $\bar{x}$ ), desviación estándar (s), valores máximo (*máx*) y mínimo (*mín*)].

Estrato Profundidad (m)	Estadístico	N (%)	n	Campañas
1,025 a 1,500	$\bar{x}$ s máx mín	0.139 0.048 0.250 0.090	7	PRO2, S1, S2, S3, S4
1,510 a 2,000	$\bar{x}$ s máx mín	0.124 0.049 0.240 0.080	10	PRO1, PRO2, S1, S2, S3, S5
2,100 a 2,500	$\bar{x}$ s máx mín	0.109 0.023 0.150 0.070	15	PRO1, PRO3, S1, S2, S3, S4, S5
2,520 a 3,000	$\bar{x}$ s máx mín	0.116 0.044 0.230 0.080	12	PRO1, PRO2, S1, S2, S3, S4, S5
3,020 a 3,500	$\bar{x}$ s máx mín	0.111 0.032 0.164 0.040	19	PRO1, DGoMB, S2, S3, S4, S5, S6, S8
3,520 a 3,795	$\bar{x}$ s máx mín	0.125 0.025 0.179 0.070	52	DGoMB, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8

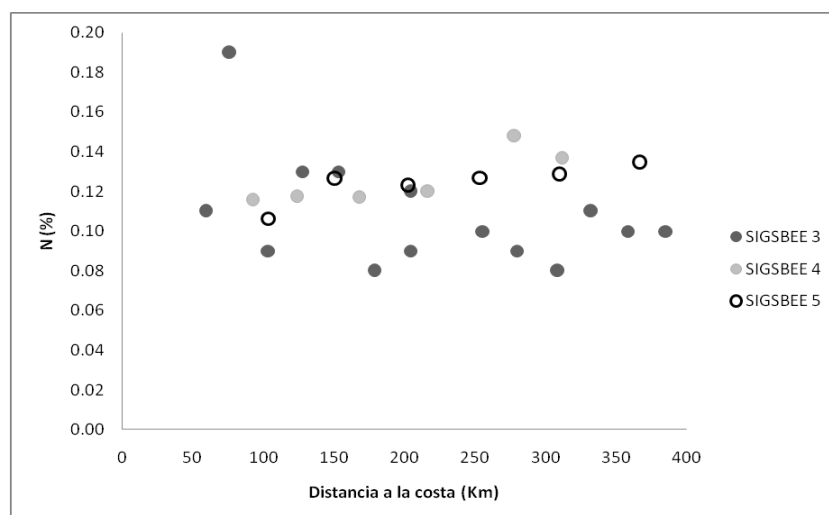
**8.4.2. Distribución de nitrógeno por zona batimétrica.** Al analizar las variaciones de la concentración de nitrógeno por cada zona batimétrica (Tabla 18), se encontró que el N presenta una concentración baja, es similar en los sedimentos del Talud continental del Golfo de México ( $N= 0.12\% \pm 0.04\%$ ,  $n=39$ ) y de la Elevación (eminencia) continental ( $N= 0.12\% \pm 0.03\%$ ,  $n=32$ ). Los valores en la Planicie Abisal son un poco más elevados ( $N= 0.13\% \pm 0.03\%$ ,  $n=44$ ). La diferencia entre las dos zonas más someras y la Planicie Abisal no fueron significativas (ANOVA Kruskal-Wallis  $H=3.93$ ,  $p=0.14$ ;  $X^2=4.47$ ,  $p=0.11$ ).

**Tabla 17.** Concentración de nitrógeno (N) para sedimentos del Golfo de México por zona batimétrica en diversas estaciones (n) [media ( $\bar{x}$ ), desviación estándar (s), valores máximo (máx) y mínimo (mín)].

Zona batimétrica	Profundidad (m)	Estadístico	N (%)	n	Campañas
Talud continental	1,025 a 2,750	$\bar{x}$	0.118	39	PRO1,

Zona batimétrica	Profundidad (m)	Estadístico	N (%)	n	Campañas
		s	0.038		PRO2, S1, S2, S3, S4, S5
		máx	0.230		
		min	0.070		
Elevación (eminencia) continental	2,840 a 3,578	$\bar{x}$	0.117	32	DGoMB, PRO1, S2, S3, S4, S5, S6, S8
		s	0.034		
		máx	0.230		
		min	0.040		
Planicie Abisal	3,600 a 3,795	$\bar{x}$	0.125	44	DGoMB, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8
		s	0.027		
		máx	0.178		
		min	0.075		

**8.4.3. Variación de la concentración de nitrógeno con la distancia a la costa.** La concentración de N con respecto a la distancia a la costa para las estaciones de las campañas oceanográficas Sigsbee 3, 4 y 5 (Figura 27) mostró una ausencia en la correlación en el caso de la campaña S3 (Spearman:  $R=-0.36$ ,  $p=0.20$ ) con variaciones significativas de acuerdo a la Prueba Wald-Wolfovits ( $Z_{1.94}=-2.22$ ,  $p=0.02$ ). La correlación entre la distancia a la costa y la concentración de N (Spearman:  $R=0.88$ ,  $p=0.01$ ) explicó el 71% de los casos ( $r^2=0.71$ ) para las campaña S4 y para la campaña S5 (Spearman:  $R=0.94$ ,  $p=0.04$ ) explicó el 70% de los casos ( $r^2=0.70$ ). Incorporando los datos de las tres campañas el N no presentó relación directa con la distancia a la costa (Spearman:  $R=-0.04$ ,  $p=0.81$ ), reconociéndose fluctuaciones significativas del sistema (Wald-Wolfgovits:  $Z_{3.79}=-3.99$ ,  $p=0.01$ ).



**Figura 27.** Variación de la concentración de Nitrógeno (N) con la distancia a la costa.

**8.4.4. Variación de la concentración de nitrógeno por regiones fisiográficas.**

Los valores de N variaron en las nueve regiones fisiográficas (Figura 15, Tabla 19). Se reconoció que la concentración de  $N=0.11\% \pm 0.03\%$  para 22 estaciones ( $n=22$ ) en el Talud continental del sector occidental del Golfo de México sostuvo valores



similares al Cañón de Campeche ( $N= 0.11\% \pm 0.04\%$ ,  $n=10$ ). Los valores de N fueron elevados para el Abanico del Mississippi ( $N= 0.12\% \pm 0.03\%$ ,  $n=10$ ) y la Elevación (eminencia) continental del suroeste del Golfo ( $N= 0.12\% \pm 0.03\%$ ,  $n=12$ ). Los valores más altos de N se registraron en la Planicie Abisal Sigsbee ( $N= 0.13\% \pm 0.03\%$ ,  $n=44$ ) y en el Talud continental y Colinas de Campeche ( $N= 0.123\% \pm 0.04\%$ ,  $n=11$ ). Tres estaciones más en la zona del Talud de Veracruz (Boca de Veracruz) registraron valores elevados ( $N= 0.19 \pm 0.03\%$ ) al igual que otras 2 que se ubicaron sobre el Escarpe de Campeche ( $N= 0.14\%$  y  $0.08\%$ ), y una más en la región fisiográfica de la Planicie de Florida ( $N= 0.11\%$ ).

Entre las regiones fisiográficas descritas no existen diferencias significativas (ANOVA Kruskal-Wallis  $H=3.93$ ,  $p=0.14$ ;  $X^2=4.47$ ,  $p=0.11$ ), la prueba U de Mann-Whitney entre regiones (Anexo 2) mostró la existencia de diferencias significativas entre el Talud del sector occidental del Golfo de México y las regiones Boca de Veracruz y Planicie Abisal Sigsbee a un límite de confianza  $<95\%$ , de igual manera con el Talud de Campeche y la Elevación Continental al límite de confianza de  $90\%$ .

**Tabla 19.** Concentración de nitrógeno (N) para sedimentos del Golfo de México por regiones fisiográficas en diversas estaciones (n) colectadas durante las campañas Sigsbee (S), PROMEBIO (PRO) y DGoMB [media ( $\bar{x}$ ), desviación estándar (s), valores máximo (*máx*) y mínimo (*mín*)].

Región fisiográfica	Estrato Profundidad (m)	Estadístico	N (%)	n	Campañas
Talud del sector occidental del Golfo de México	1,157 a 2,750	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	0.109 0.032 0.190 0.070	22	S1, S2, S3, S4, S5
Boca de Veracruz	1,758 a 3,360	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	0.193 0.064 0.230 0.120	3	PRO2, S2
Talud y Colinas de Campeche	1,025 a 2,480	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	0.125 0.036 0.220 0.095	11	PRO1, PRO2, PRO3
Cañón de Campeche	2,520 a 3,564	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	0.113 0.036 0.165 0.060	10	PRO1, PRO3, S2, S6
Escarpe de Campeche	1,600 a 2,500	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	0.140 0.080	2	PRO1
Elevación	3,000 a 3,578	$\bar{x}$	0.116	12	DGoMB, S2,

Región fisiográfica	Estrato Profundidad (m)	Estadístico	N (%)	n	Campañas
Continental del Suroeste del Golfo		s <i>máx</i> <i>min</i>	0.028 0.150 0.040		S3, S4, S5, S6
Abanico del Mississippi	3,165 a 3,542	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>min</i>	0.116 0.026 0.164 0.063	10	DGoMB, S6, S8
Planicie de Florida	3,405	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>min</i>	0.1066	1	DGoMB
Planicie Abisal Sigsbee	3,600 a 3,795	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>min</i>	0.125 0.027 0.178 0.075	44	DGoMB, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8

**8.4.5. Variación de la concentración de nitrógeno entre sectores Norte y Sur.** La concentración de N en el sedimento superficial de mar profundo es más alta en el sector Sur (N= 0.12% ± 0.03%; n=55) con respecto a los valores reconocidos en el sector Norte (N= 0.11% ± 0.02%; n=21) (Tabla 20). Esta diferencia no es significativa entre ambos sectores del mar profundo del Golfo de México (ANOVA Kruskal-Wallis H=2.33, p=0.12;  $\chi^2=3.22$ , p=0.07).

**Tabla 20.** Concentración de nitrógeno (N) para sedimentos del Golfo de México por sectores Norte y Sur en diversas estaciones (n) [media ( $\bar{x}$ ), desviación estándar (s), valores máximo (*máx*) y mínimo (*mín*)].

Sector	Latitud (°)	Profundidad (m)	Estadístico	N (%)	n	Campañas
Norte	24.00 a 26.00	3,165 a 3,700	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>min</i>	0.114 0.023 0.164 0.063	21	DGoMB, S1, S6, S8
Sur	20.98 a 23.99	2,840 a 3,795	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>min</i>	0.124 0.032 0.230 0.040	55	PRO1, PRO2, PRO3, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8

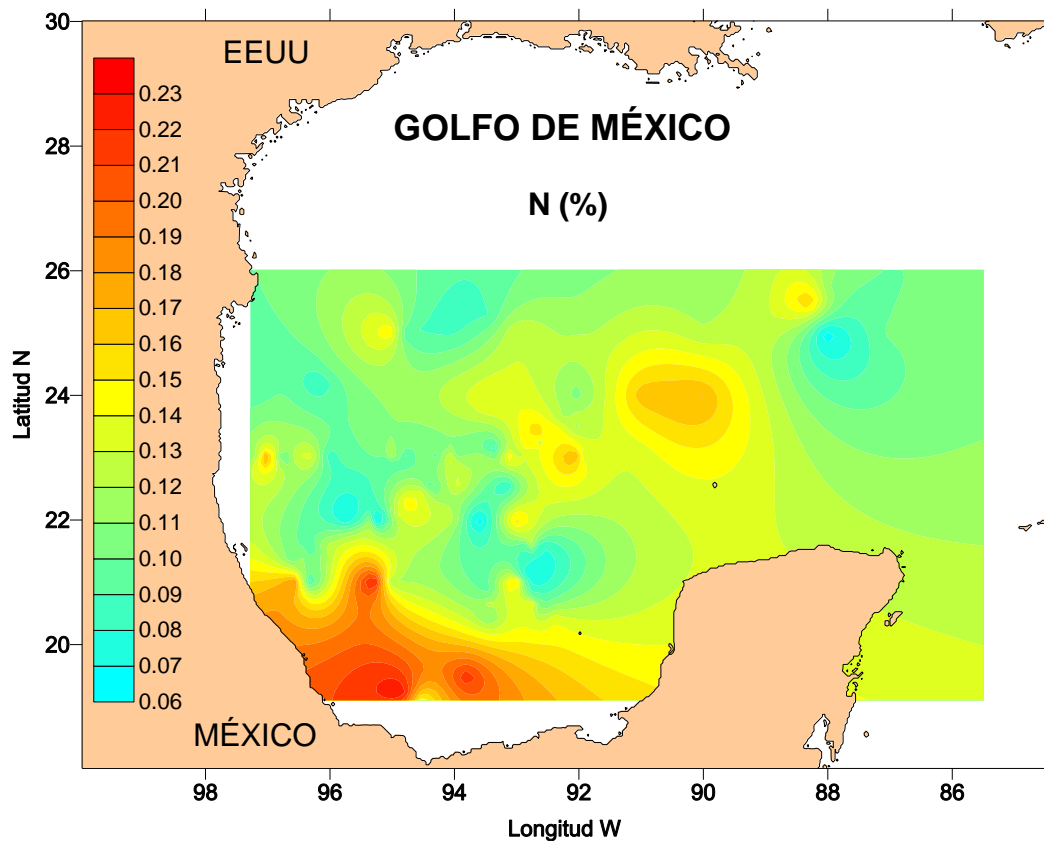
**8.4.6. Variación de la concentración de nitrógeno entre sectores Este y Oeste.** El nitrógeno presentó una concentración mayor en el sector oriental de la cuenca (N= 0.13% ± 0.03%, n=18) con respecto al sector occidental (Tabla 21) donde se agruparon la mayoría de las estaciones (N= 0.12% ± 0.03%; n=58). La diferencia entre ambos sectores no fue significativa (ANOVA Kruskal-Wallis: H=0.26, p=0.60;  $\chi^2=0$ , p=1).

**Tabla 21.** Concentración de nitrógeno (N) para sedimentos del Golfo de México por sectores Norte y Sur en diversas estaciones (n) realizadas en la región [media ( $\bar{x}$ ), desviación estándar (s), valores máximo (*máx*) y mínimo (*mín*)].

Sector	Longitud W (°)	Profundidad (m)	Estadístico	N (%)	n	Campañas
Oeste	95.76 a 92.01	2,840 a 3,795	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	0.121 0.031 0.230 0.040	97	PRO1-3, DGoMB, S1-8
Este	92.00 a 85.48	3,166 a 3,737	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	0.125 0.026 0.171 0.063	18	DGoMB, S6, S8

#### 8.4.7. Variación espacial de la concentración de nitrógeno en el Golfo de México.

La variación espacial de N en sedimento superficial permite reconocer una concentración mayor de N asociada a la región SW sobre el Talud continental del Golfo de México, en las regiones fisiográficas del Talud del sector occidental del Golfo de México, el Talud de Veracruz (Boca de Veracruz) y el Talud y Colinas de Campeche (Figura 28). La concentración de N disminuye sobre el talud hacia el sector Norte, presentando una localidad con valores más elevados a los 23°N. En dirección al Cañón de Campeche los valores de N son menores hasta alcanzar profundidades mayores a los 3,000 m. En el mismo intervalo de profundidad, la Elevación (eminencia) continental presenta de los valores más bajos, similares a los del Norte del Talud continental en el sector occidental del Golfo de México, mismos que aumentan en el Talud del Río Grande. Los valores similares a la Elevación (eminencia) continental se registran en el Cono del Mississippi, con una localidad al norte, cerca del Cañón del Mississippi con valores más elevados que son similares a los reconocidos al noroeste de la Planicie Abisal Sigsbee y localidades en los Montes de Sigsbee.



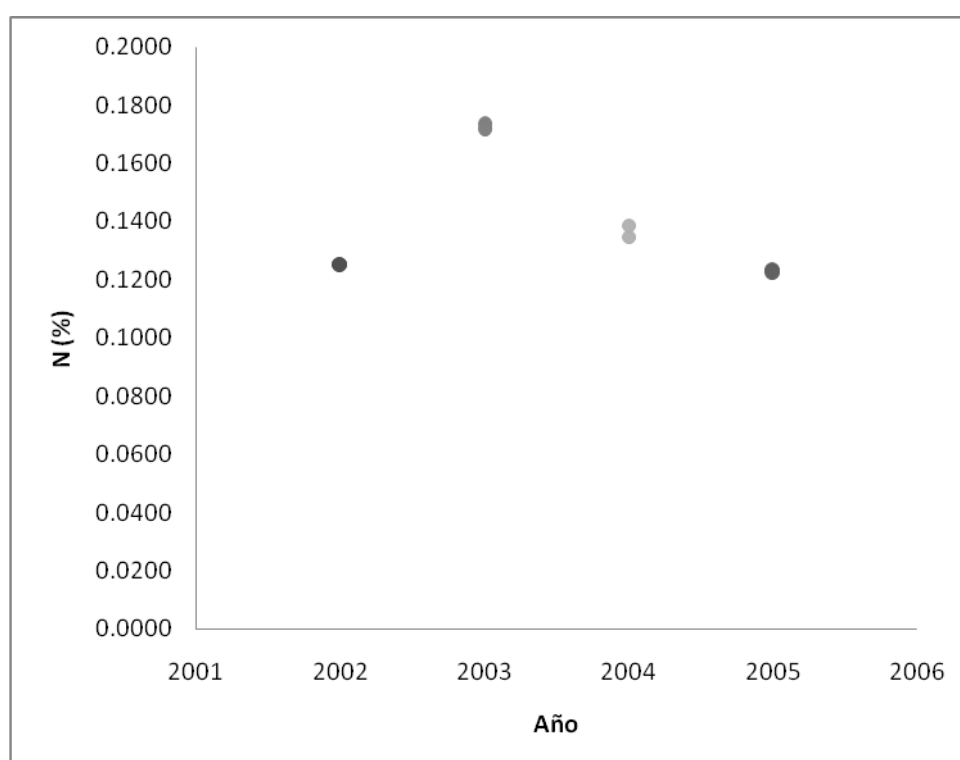
**Figura 28.** Distribución de la concentración de Nitrógeno en el Golfo de México, por isolíneas de concentración en porcentaje.

**8.4.8. Variación temporal de la concentración de nitrógeno en la estación permanente en la Planicie Abisal Sigsbee.** Analizando la concentración de N en su variación anual en la estación permanente en la Planicie Abisal Sigsbee (Tabla 22), se observó que los valores de N en el sedimento superficial del mar profundo en el Golfo de México presentaron una variación con el tiempo. Los valores más elevados (N= 0.17%) se registraron en 2003 y los más bajos (N= 0.12%) en el año 2005 para las determinaciones por duplicado. Las variaciones en el tiempo no fueron significativas (ANOVA Kruskal-Wallis  $H=6.66$ ,  $p<0.08$ ;  $\chi^2=8.00$ ,  $p<0.05$ ); tampoco se reconoció una variación de la concentración de N de manera lineal con el tiempo (Correlación Spearman;  $R= -0.40$ ,  $p=0.60$ , Figura 29).

**Tabla 22.** Valores anuales de la concentración de nitrógeno (N) para la estación permanente de la Planicie Abisal Sigsbee durante las campañas Sigsbee (S).

Año	Profundidad (m)	N (%)	Campañas / Estación
2002	3,720	0.1255 0.1249	S5 E4

Año	Profundidad (m)	N (%)	Campañas / Estación
2003	3,744	0.1732 0.1716	S6 E9
2004	3,740	0.1387 0.1348	S7 E1
2005	3,740	0.1231 0.1222	S8 E11



**Figura 29.** Distribución anual de las concentraciones de Nitrógeno en la estación permanente en la Planicie Abisal Sigsbee.

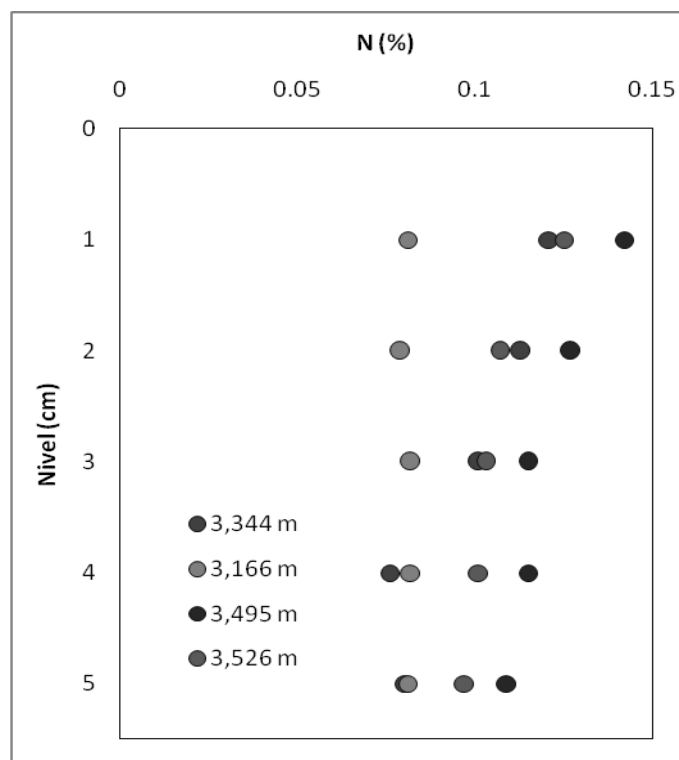
**8.4.9. Variación de la concentración de nitrógeno en función de su sedimentación.** La concentración de N está relacionada con la profundidad hacia el interior del sedimento en tres (E1, E5 y E8) de las cuatro estaciones muestreadas durante la campaña S8 (Tabla 23). La concentración de N en el sedimento en la estación 1 (E1), ubicada en el sector oriente, a una profundidad de 3,344 m, mostró una correlación positiva (Correlación Spearman  $R= 0.886$ ,  $p<0.05$ ). En al estación 3 (E3), ubicada al norte y con menor profundidad (3,166m), la concentración de N no se correlacionó con la profundidad en el sedimento (Correlación Spearman  $R= -$

0.5908  $p < 0.05$ ). La prueba Wald-Wolfowitz permitió reconocer que las fluctuaciones del sistema tampoco fueron significativas ( $Z(0.98) = -1.52$ ,  $p = 0.32$ ).

**Tabla 23.** Concentración media de N por nivel para cada una de las estaciones muestreadas (E1-8), identificadas con su profundidad, latitud y longitud.

Nivel (Intervalo en cm):	N (%)			
	E1	E3	E5	E8
0-1	0.121	0.081	0.142	0.125
1-2	0.113	0.079	0.127	0.107
2-3	0.101	0.082	0.115	0.103
3-4	0.076	0.082	0.115	0.101
4-5	0.080	0.081	0.109	0.097
Profundidad (m)	3,344	3,166	3,495	3,526
Latitud (°)	25.00	25.44	24.59	24.59
Longitud (°)	87.00	87.59	88.59	90.00

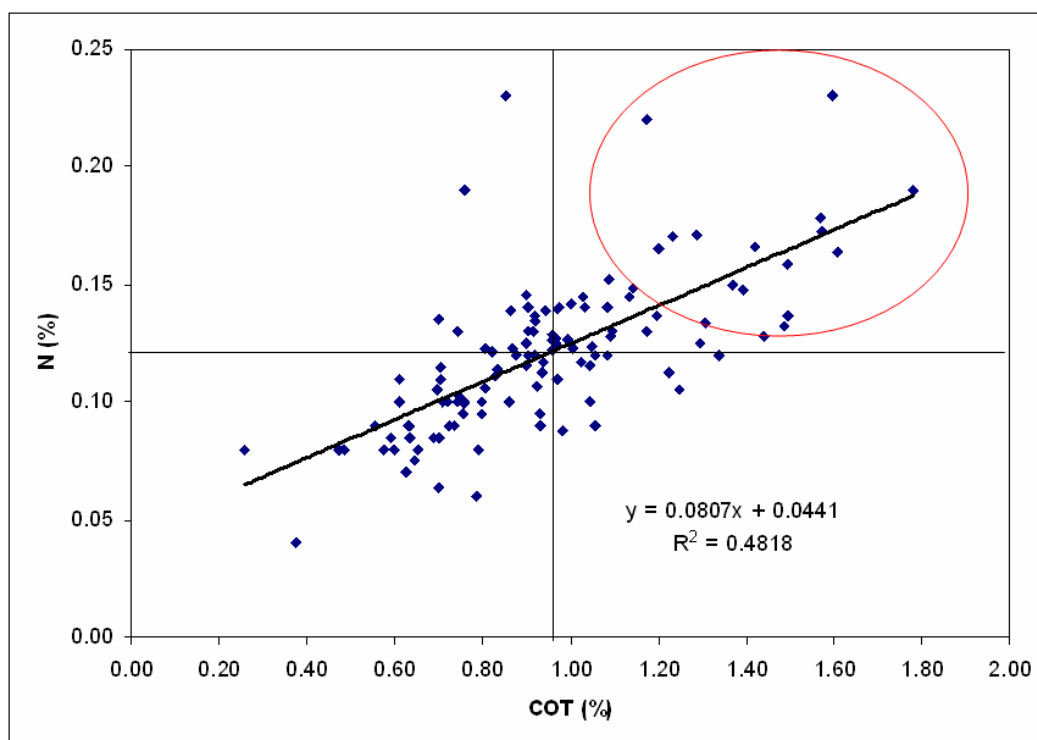
La estación 5 (E5), con una profundidad de 3,495m, presentó una correlación entre la concentración de N y la profundidad en el sedimento (Correlación Spearman  $R = 0.9354$ ,  $p < 0.05$ ). Finalmente, la estación 8 (E8), localizada hacia el oeste y se ubica a 3,526 m de profundidad, presentó correlación con la profundidad de muestreo en el sedimento (Correlación Spearman  $R = 0.9847$ ,  $p < 0.05$ ). Estas tendencias mostradas en la Figura 30, permiten reconocer que la concentración de N es menor en los niveles superiores para las estaciones a más de 3,000 m de profundidad.



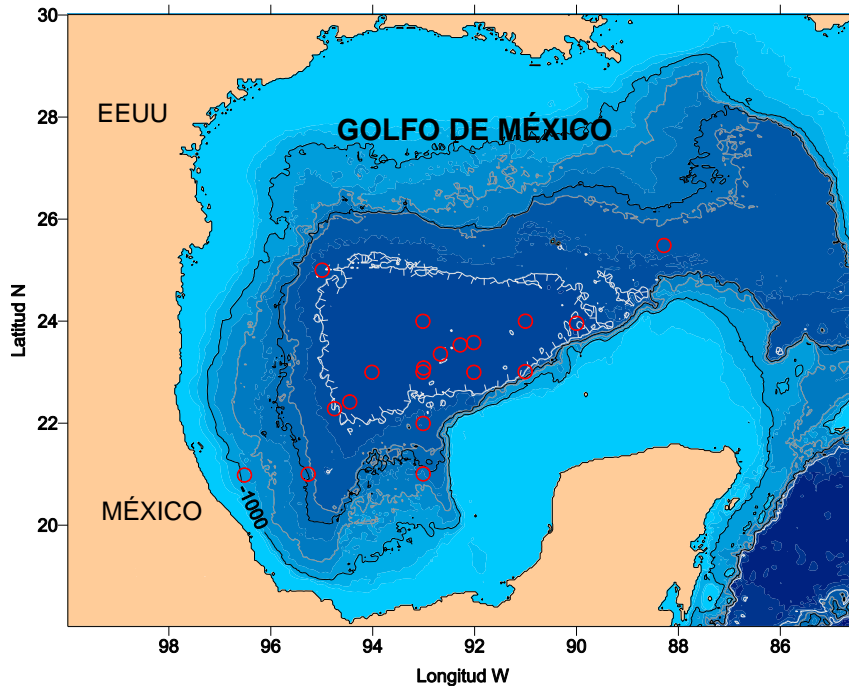
**Figura 30.** Concentración de N hacia el interior de sedimento para estaciones a diferente profundidad en la Planicie Abisal.

## 8.5. TASA CARBONO-NITRÓGENO (C/N)

La concentración de COT y N en los sedimentos superficiales del Golfo de México mostraron una relación directa (ANOVA,  $F_{1,224}=204$ ;  $p<0.001$ ), ajustándose a una regresión lineal con un coeficiente de correlación que explica el 48% de los casos ( $r^2=0.48$ , Figura 31). Las muestras con los valores más elevados, que están por arriba de los valores medios de COT y N (Figura 32), provienen del Cañón de Campeche y de Montes de Sigsbee de la Planicie Abisal Sigsbee, una estación más se encuentra cerca del cañón del Mississippi, otra sobre el Talud continental del sector occidental del Golfo de México y una más sobre la Elevación (eminencia) continental.

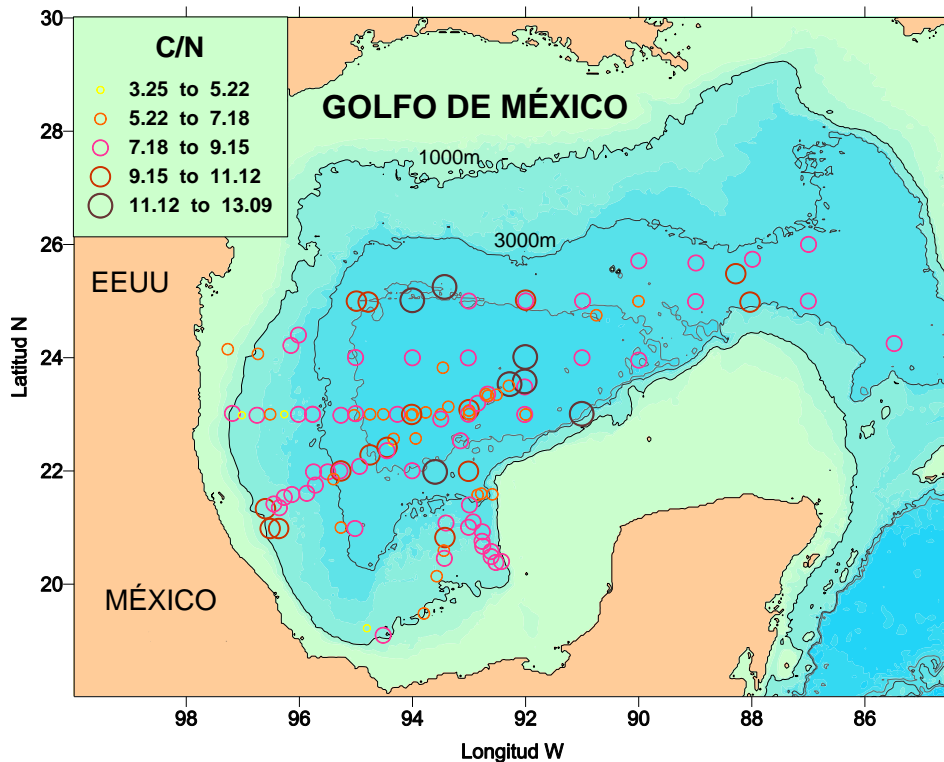


**Figura 31.** Relación entre las concentraciones de COT y N para los sedimentos superficiales del Golfo de México, con líneas que representan las medias para las concentraciones. El círculo muestra las estaciones con concentración elevada de COT y N.



**Figura 32.** Ubicación de las estaciones identificadas con valores de COT y N por arriba de la media para el Golfo de México.

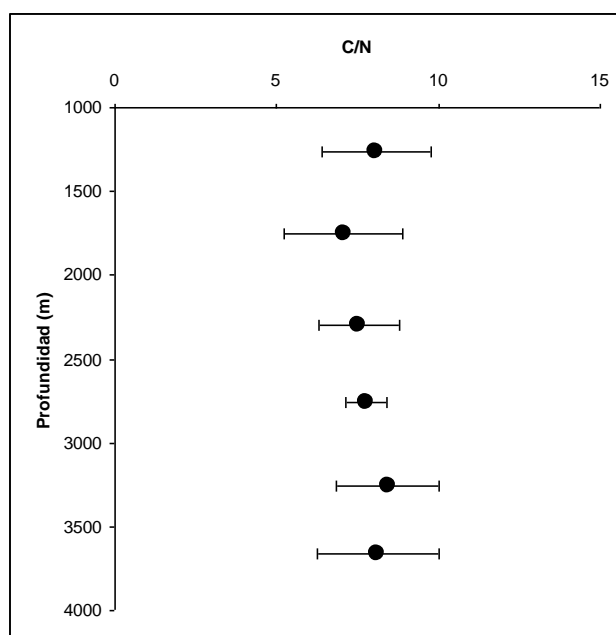
La tasa carbono-nitrógeno (C/N) en los primeros cinco centímetros de los sedimentos abisales del Golfo de México (Figura 33) en las 115 estaciones muestreadas (n=115) presentó una media de 7.9 con una desviación estándar de 1.7 en un intervalo de profundidad que va de los 1,025m a los 3,975m.



**Figura 33.** Distribución de la tasa C/N en sedimento superficial del Golfo de México.



**8.5.1. Distribución de la tasa C/N con la profundidad.** La tasa C/N en los sedimentos de mar profundo del Golfo de México no mostró una relación lineal con el incremento de la profundidad (z), presentó una tendencia de tipo sigmoïdal (Figura 34, Tabla 24). El estrato más somero, de 1,025 a 1,500 m presentó valores elevados (C/N=  $8.1 \pm 1.7$ , n=7), que se redujeron en el estrato inmediato inferior (1,510m a 2,000m) con valores de C/N=  $7.1 \pm 1.8$ , n=10, incrementando gradualmente con la profundidad con valores a 3,020 y 3,500 m de C/N=  $8.4 \pm 1.6$ , n=19, y disminuyendo de nuevo hasta 3,550 m a 3,795 m con C/N=  $8.1 \pm 1.8$ , n=52.



**Figura 34.** Distribución de la tasa C/N por estrato de profundidad (media  $\pm$  s).

**Tabla 24.** Tasa C/N para sedimentos del Golfo de México por estrato de profundidad en diversas estaciones (n) [media ( $\bar{x}$ ), desviación estándar (s), valores máximo (*máx*) y mínimo (*mín*)].

Estrato Profundidad (m)	Estadístico	C/N	n	Campañas
1,025 a 1,500	$\bar{x}$	8.071	7	PRO2, S1, S2, S3, S4
	s	1.694		
	<i>Máx</i>	11.444		
	<i>Min</i>	4.720		
1,510 a 2,000	$\bar{x}$	7.062	10	PRO1, PRO2, S1, S2, S3, S5
	s	1.832		
	<i>Máx</i>	10.375		
	<i>Min</i>	3.500		
2,100 a 2,500	$\bar{x}$	7.549	15	PRO1, PRO3, S1, S2, S3, S4, S5
	s	1.230		
	<i>Máx</i>	10.000		
	<i>Min</i>	5.000		
2,520 a 3,000	$\bar{x}$	7.781	12	PRO1, PRO2, S1,
	s	0.646		

Estrato Profundidad (m)	Estadístico	C/N	n	Campañas
	<i>Máx</i>	9.167		S2, S3, S4, S5
	<i>Min</i>	6.913		
3,020 a 3,500	$\bar{x}$	8.428	19	PRO1, DGoMB, S2, S3, S4, S5, S6, S8
	s	1.598		
	<i>Máx</i>	13.167		
	<i>Min</i>	6.923		
3,520 a 3,795	$\bar{x}$	8.123	52	DGoMB, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8
	s	1.881		
	<i>Máx</i>	11.889		
	<i>Min</i>	3.250		

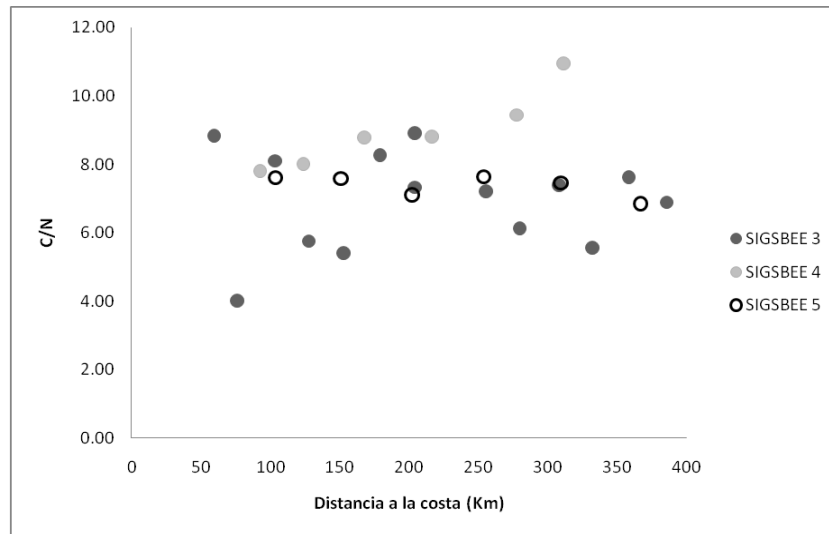
**8.5.2. Distribución de la tasa C/N por zona batimétrica.** La tasa C/N por zona batimétrica (Tabla 25) presentó los valores bajos en los sedimentos del Talud continental (C/N= 7.6 ± 1.4, n=39) y los más altos en la Elevación (eminencia) continental (C/N= 8.4 ± 1.4, n=32), que a su vez disminuyen hacia la Planicie Abisal con C/N= 8.0 ± 2.0, n=44. Las diferencias no fueron significativas (ANOVA Kruskal-Wallis: H=3.42, p=0.18;  $\chi^2=2.99$ , p=0.22).

**Tabla 25.** Tasa C/N para sedimentos del Golfo de México por zona batimétrica en diversas estaciones (n) [media ( $\bar{x}$ ), desviación estándar (s), valores máximo (*máx*) y mínimo (*mín*)].

Zona batimétrica	Profundidad (m)	Estadístico	C/N	N	Campañas
Talud continental	1,025 a 2,750	$\bar{x}$	7.557	39	PRO1, PRO2, S1, S2, S3, S4, S5
		s	1.406		
		<i>máx</i>	10.540		
		<i>mín</i>	3.727		
Elevación (eminencia) continental	2,840 a 3,578	$\bar{x}$	8.370	32	DGoMB, PRO1, S2, S3, S4, S5, S6, S8
		s	1.399		
		<i>máx</i>	13.083		
		<i>mín</i>	6.793		
Planicie Abisal	3,600 a 3,795	$\bar{x}$	8.039	44	DGoMB, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8
		s	1.978		
		<i>máx</i>	11.883		
		<i>mín</i>	3.250		

**8.5.3. Variación de la tasa C/N con la distancia a la costa.** La tasa C/N con respecto a la distancia a la costa (Figura 35) fue inexistente para las localidades de la campaña S3 (Spearman: R=-0.06, p=0.82); las fluctuaciones fueron significativas con la Prueba Wald-Wolfowitz ( $Z_{1.78}=-2.09$ , p=0.03). La correlación fue positiva entre la distancia a la costa y la tasa C/N para las localidades de la campaña S4 (Spearman: R=1, p=0.01) y explican el 93% de los casos ( $r^2=0.93$ ). La correlación es inexistente para las localidades de la campaña S5 (Spearman: R=-0.54, p=0.26), las fluctuaciones del sistema tampoco fueron significativas (Wald-Wolfowitz:  $Z_{0.35}=-0.70$ ,

p=0.47). De manera general, la relación de la tasa C/N con la distancia a la costa fue directa (Spearman:  $R=1$ ,  $p=0.01$ ;  $r^2=0.91$ ) y explicó el 91% de los casos.



**Figura 35.** Variación de la tasa C/N con la distancia a la costa.

**8.5.4. Variación de la tasa C/N por regiones fisiográficas.** La tasa C/N en las nueve regiones fisiográficas (Tabla 26) permitió reconocer los valores bajos para el Talud continental y Colinas de Campeche ( $C/N= 7.6 \pm 1.1$ ,  $n=11$ ), seguida por el Talud continental del sector occidental del Golfo de México ( $C/N= 7.8 \pm 1.5$ ,  $n=22$ ). Los valores más elevados fueron registrados para la Elevación (eminencia) continental del Suroeste del Golfo ( $C/N= 8.4 \pm 1.1$ ,  $n=12$ ), seguidos por los del Cañón de Campeche ( $C/N= 8.3 \pm 1.8$ ,  $n=10$ ). El Abanico del Mississippi presentó valores menores a los del Cañón de Campeche ( $C/N= 8.2 \pm 1.3$ ,  $n=10$ ). La Planicie Abisal Sigsbee presentó una media menor ( $C/N= 8.0 \pm 2.0$ ,  $n=44$ ). Tres estaciones más en la región fisiográfica de la Boca de Veracruz presentaron valores de  $C/N= 6.1 \pm 2.1$ , dos localidades más se ubicaron sobre el Escarpe de Campeche ( $C/N = 6.1$  y  $7.7$ ) y la tasa C/N en la estación en la Planicie de Florida fue de C/N de 8.7. Las diferencias no fueron significativas entre las regiones fisiográficas descritas (ANOVA Kruskal-Wallis  $H=7.27$ ,  $p=0.50$ ;  $\chi^2=5.87$ ,  $p=0.66$ ). Las diferencias individuales se reconocieron entre la Boca de Veracruz y las regiones Elevación (eminencia) continental del Suroeste del Golfo de México, Talud continental del sector Occidental del Golfo de México y Cañón de Campeche; así como entre la Elevación (eminencia) continental del suroeste del Golfo que mostró diferencias con el Talud continental y Colinas de Campeche (Pruebas U de Mann-Whitney en un nivel de confianza del 90%; Anexo 2).

**Tabla 26.** Tasa C/N por regiones fisiográficas en diversas estaciones (n) [media ( $\bar{x}$ ), desviación estándar (s), valores máximo (*máx*) y mínimo (*mín*)].

Región	Profundidad (m)	Estadístico	C/N	n	Campañas
Talud del sector occidental del Golfo de México	1,157 a 2,750	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	7.802 1.467 10.540 4.000	22	S1, S2, S3, S4, S5
Boca de Veracruz	1,758 a 3,360	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	6.127 2.115 7.720 3.727	3	PRO2, S2
Talud y Colinas de Campeche	1,025 a 2,480	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	7.568 1.068 9.800 5.439	11	PRO1, PRO2, PRO3
Cañón de Campeche	2,520 a 3,564	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	8.353 1.829 13.083 6.962	10	PRO1, PRO3, S2, S6
Escarpe de Campeche	1,600 a 2,500	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	6.906 1.193 7.750 6.063	2	PRO1
Elevación Continental del Suroeste del Golfo	3,000 a 3,578	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	8.437 1.143 10.902 7.088	12	DGoMB, S2, S3, S4, S5, S6
Abanico del Mississippi	3,165 a 3,542	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	8.206 1.342 11.078 6.793	10	DGoMB, S6, S8
Planicie de Florida	3,405	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	8.662	1	DGoMB
Planicie Abisal Sigsbee	3,600 a 3,795	$\bar{x}$ s <i>máx</i> <i>mín</i>	8.039 1.978 11.883 3.250	44	DGoMB, S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8

**8.5.5. Variación de la tasa C/N entre sectores Norte y Sur.** La tasa C/N para las muestras de sedimento superficial procedentes del sector Norte fue C/N=  $8.9 \pm 1.6$ , n=21 y para el sector Sur de C/N=  $7.9 \pm 1.7$ , n=55 (Tabla 27). Las diferencias entre los sectores fueron significativas para la tasa C/N (ANOVA Kruskal-Wallis H=5.86, p=0.01;  $\chi^2=3.22$ , p=0.07).

**Tabla 27.** Tasa C/N para sedimentos del Golfo de México por sectores Norte y Sur en diversas estaciones (n) [media ( $\bar{x}$ ), desviación estándar (s), valores máximo (*máx*) y mínimo (*mín*)].

Sector	Latitud (°)	Profundidad (m)	Estadístico	C/N	n	Campañas
Norte	24.00 a 26.00	3,165 a 3,700	$\bar{x}$	8.925	21	DGoMB, S1, S6, S8
			s	1.657		
			<i>máx</i>	11.883		
			<i>mín</i>	6.793		
Sur	20.98 a 23.99	2,840 a 3,795	$\bar{x}$	7.894	55	PRO1, PRO2, PRO3, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8
			s	1.720		
			<i>máx</i>	13.083		
			<i>mín</i>	3.250		

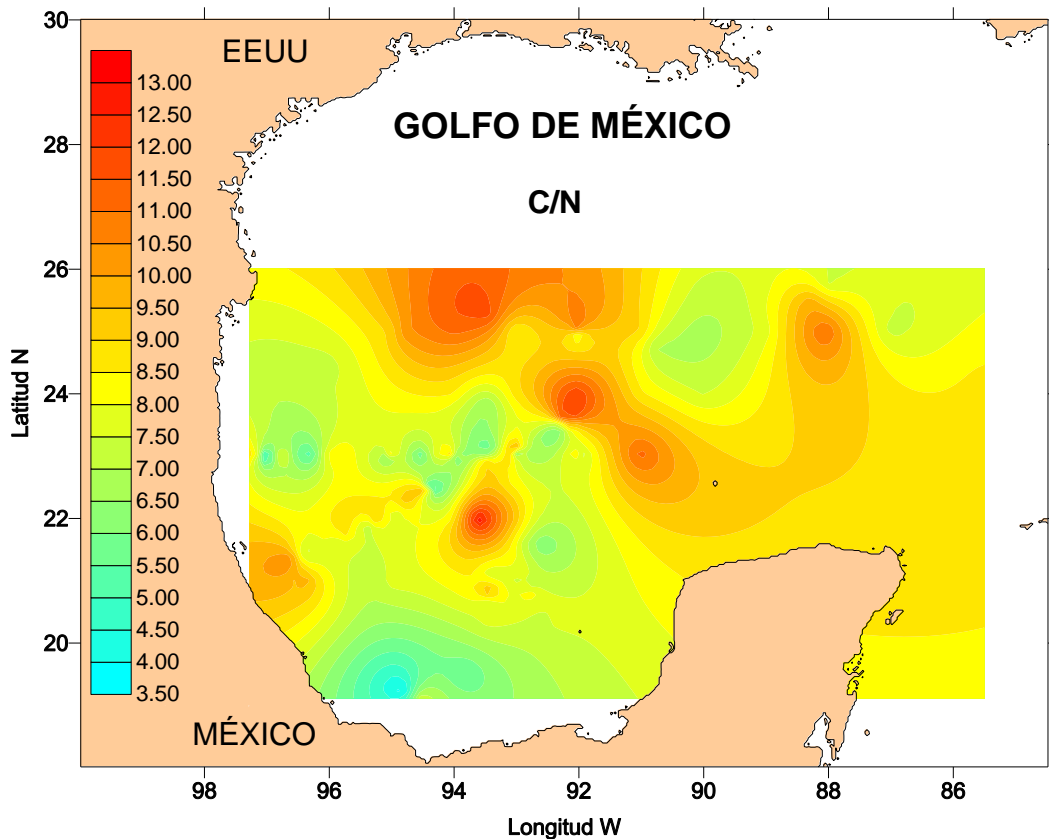
**8.5.6. Variación de la tasa C/N entre sectores Este y Oeste.** Los valores de C/N en sedimento superficial de mar profundo para el sector oriental del Golfo de México fueron C/N= 8.4 ± 1.46, n= 18, y para el sector occidental fueron de C/N= 8.1 ± 1.8, n=58 (Tabla 28). Las diferencias no fueron significativas para la tasa C/N entre ambos sectores (ANOVA Kruskal-Wallis: H=0.55, p=0.45;  $\chi^2=0.0$ , p=1).

**Tabla 28.** Tasa C/N para sedimentos del Golfo de México por sectores Norte y Sur en diversas estaciones (n) [media ( $\bar{x}$ ), desviación estándar (s), valores máximo (*máx*) y mínimo (*mín*)].

Sector	Longitud W (°)	Profundidad (m)	Estadístico	C/N	n	Campañas
Oeste	95.76 a 92.01	2,840 a 3,795	$\bar{x}$	8.118	58	PRO1-3, DGoMB, S1-8
			s	1.843		
			<i>máx</i>	13.083		
			<i>Min</i>	3.250		
Este	92.00 a 85.48	3,166 a 3,737	$\bar{x}$	8.373	18	DGoMB, S6, S8
			s	1.464		
			<i>máx</i>	11.262		
			<i>Min</i>	6.793		

**8.5.7. Variación espacial de la tasa C/N en el Golfo de México.** La tasa C/N es mayor en las regiones Norte y Occidental de la Planicie Abisal Sigsbee, en los montes de Sigsbee y en la zona del Abanico del Mississippi (Figura 36). En la Elevación (eminencia) continental dos localidades muestran valores mayores de C/N en el sector Norte cerca del Escarpe de Sigsbee y el Talud continental del Río Grande, así como a 22°N en un área que se extiende hasta el Talud continental del sector occidental del Golfo de México, cerca de las Cordilleras Mexicanas. En la región Sur del Talud continental se encontraron los valores más bajos de C/N, ubicados en localidades del Norte del Talud del sector occidental del Golfo de México y del Sur del Talud continental de Veracruz, presentando una zona intermedia entre ellos con valores más elevados de C/N. Las colinas de Campeche

muestran valores similares a los de región fisiográfica Boca de Veracruz, mostrando un aumento en el Cañón de Campeche.



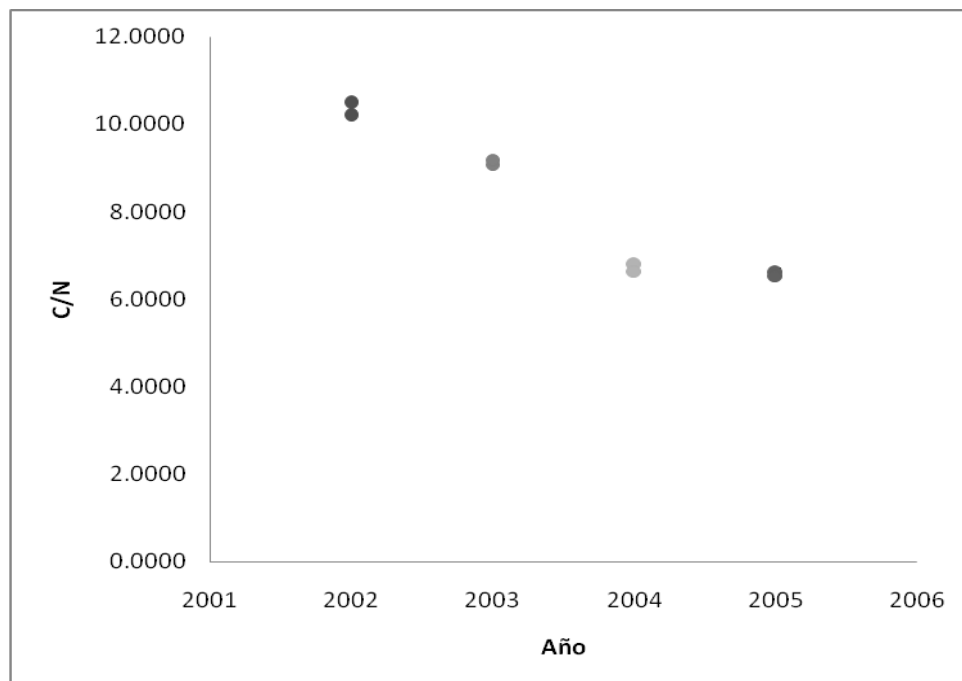
**Figura 36.** Distribución de la tasa C/N en el Golfo de México, por isolíneas de concentración.

**8.5.8. Variación temporal de la tasa C/N en la estación permanente en la Planicie Abisal Sigsbee.** Los valores más elevados de C/N del sedimento superficial se encontraron en los sedimentos recolectados en el año 2002 (C/N= 10.3) mientras que los valores más bajos se registraron el año 2005 (C/N= 6.6), reconociéndose una disminución en la tasa C/N con el paso del tiempo (Tabla 29). La tendencia de la tasa C/N con el tiempo siguió una distribución lineal con un coeficiente de correlación  $r^2=0.91$  (Correlación Spearman  $R= 1$ ,  $p=0.01$ , Figura 37).

**Tabla 29.** Valores anuales de la tasa carbono-nitrógeno (C/N) para la estación permanente de la Planicie Abisal Sigsbee durante las campañas Sigsbee (S).

Año	Profundidad (m)	C/N	Campañas / Estación
2002	3,720	10.488 10.199	S5 E4

Año	Profundidad (m)	C/N	Campañas / Estación
2003	3,744	9.192 9.131	S6 E9
2004	3,740	6.787 6.648	S7 E1
2005	3,740	6.599 6.537	S8 E11

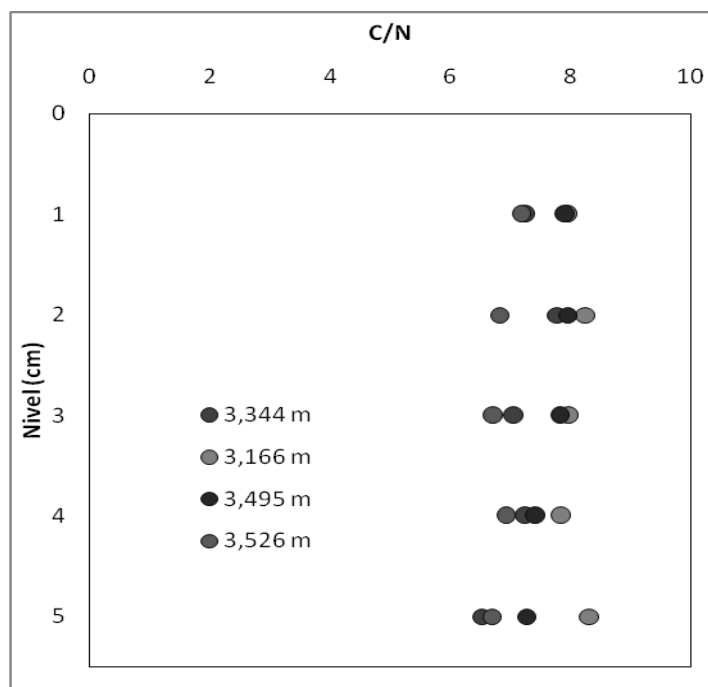


**Figura 37.** Variación anual en la concentración de la tasa C/N en la Planicie Abisal Sigsbee.

**8.5.9. Variación de la tasa C/N en función de su sedimentación.** La tasa C/N hacia el interior del sedimento en una (E5) de las cuatro estaciones muestreadas durante la campaña S8 (Tabla 30) está directamente relacionada con la profundidad en el núcleo. Para el caso de la estación 1 (E1), localizada a una profundidad de 3,344m, no se encontró correlación significativa (Correlación Spearman  $R= 0.6893$ ,  $p<0.05$ ) así como en la estación 3 (E3), ubicada al norte a 3,166m) la tasa C/N tampoco no se correlacionó con la profundidad en el sedimento (Correlación Spearman  $R= -0.0984$ ,  $p<0.05$ ). Las fluctuaciones del sistema tampoco fueron significativas (Wald-Wolfowits  $Z(0.10)= 0.65$ ,  $p=0.91$ ).

**Tabla 30.** Medias de C/N por nivel para cada una de las estaciones muestreadas (E1-8), identificadas con su profundidad, latitud y longitud.

Nivel (Intervalo en cm):	C/N			
	E1	E3	E5	E8
0-1	7.252	7.953	7.916	7.186
1-2	7.792	8.268	7.950	6.823
2-3	7.067	7.979	7.829	6.720
3-4	7.261	7.860	7.433	6.929
4-5	6.520	8.327	7.265	6.696
Profundidad (m)	3,344	3,166	3,495	3,526
Latitud (°)	25.00	25.44	24.59	24.59
Longitud (°)	87.00	87.59	88.59	90.00



**Figura 38.** Tasa C/ N hacia el interior de sedimento para estaciones a diferente profundidad en la Planicie Abisal.

La estación 5 (E5), ubicada a 3,495 m de profundidad, presentó una correlación entre la tasa C/N y la profundidad en el sedimento (Correlación Spearman  $R=0.8862$ ,  $p<0.05$ ). La estación 8 (E8) con ubicación más occidental a 3,526 m de profundidad, no presentó correlación con la profundidad en el sedimento (Correlación Spearman  $R=0.5908$ ,  $p<0.05$  Figura 42) Las fluctuaciones del sistema tampoco fueron significativas (Wald-Wolfowitz  $Z(-0.20)=0.81$ ,  $p=0.83$ ). Los valores de la tasa C/N fueron constantes en la profundidad hacia el interior del sedimento (Figura 38).

### 8.6. Análisis de Agrupamiento Jerárquico

El análisis de agrupamiento jerárquico permitió reconocer 3 grupos que se establecieron con base en la profundidad del muestreo en la cuenca (Figura 39). El

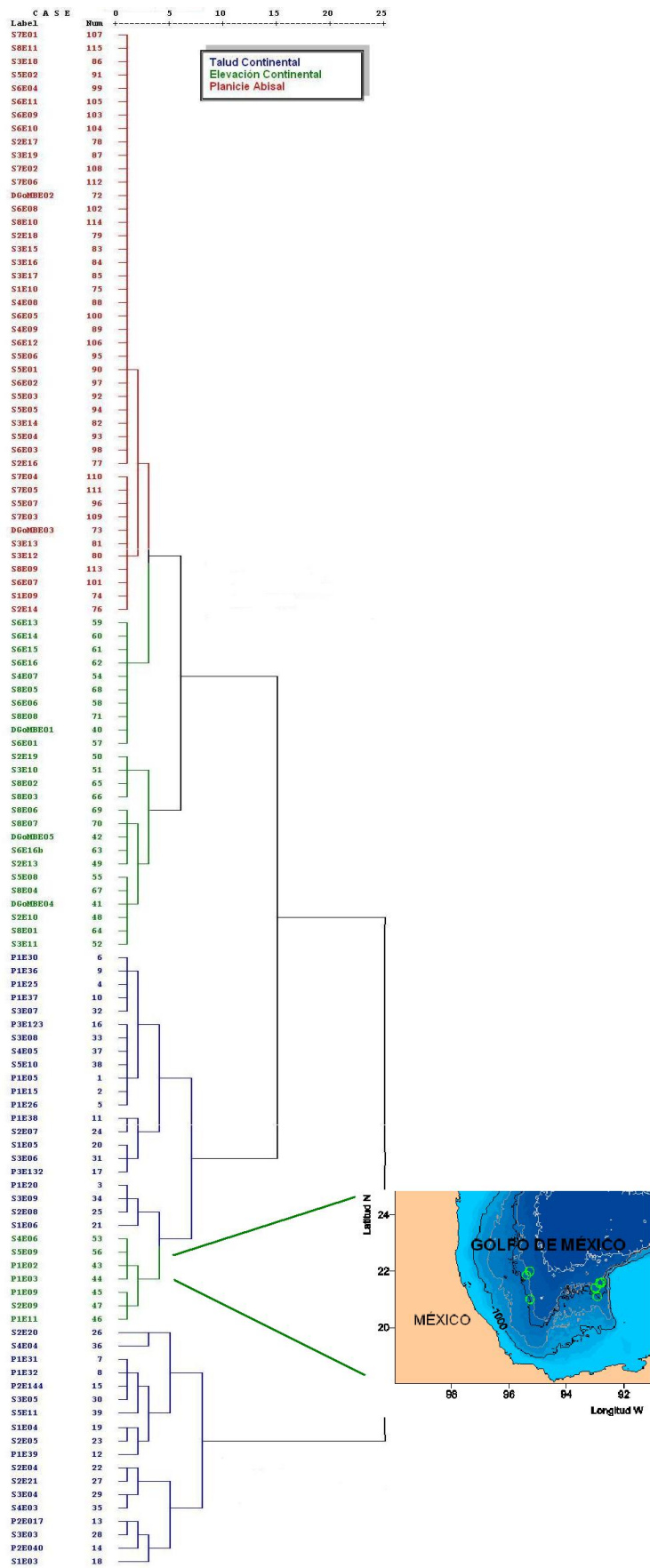


primer grupo (en color rojo), correspondió a las estaciones ubicadas sobre la Planicie Abisal y se separó de las demás regiones fisiográficas.

Las estaciones de la Elevación (eminencia) continental estuvieron conformadas por dos grupos (en color verde), uno de ellos con estaciones correspondientes al Cañón de Campeche con profundidades entre 2,840 m y 3,050 m, que incluye las estaciones E2, E3, E9 y E11 de la campaña PROMEBIO 1 por una parte, además de las estaciones del oeste del Golfo que ocurren entre los 2,900 y 3,000 m de profundidad, que corresponden a las estaciones E6 de la campaña Sigsbee 4, E9 de Sigsbee 5 y E9 de Sigsbee 2. Finalmente se muestran en azul las estaciones del Talud continental.

#### **8.7. Regionalización de los valores de COT, N y tasa C/N en el Golfo de México.**

Las concentración de COT, N y la tasa C/N no presentaron en este estudio diferencias significativas entre las regiones en su totalidad. Sin embargo, se reconocieron diferencias tres regiones fisiográficas, el Talud del sector occidental del Golfo de México, el Talud y Colinas de Campeche y la Elevación Continental del Suroeste del Golfo (Tabla 31), que presentaron valores característicos de estos parámetros.



**Figura 39.** Análisis jerárquico de clúster para las estaciones muestreadas en el Golfo de México empleando las variables COT, N y C/N.

**Tabla 31.** Composición elemental de las zonas fisiográficas del Golfo de México (media y desviación estándar).

Región Fisiográfica	N	Profundidad (m)	COT (%)	N (%)	C/N <sub>a</sub>
Talud del Sector Occidental	22	1,157 a 2,750	<b>0.829 ± 0.251</b>	<b>0.109 ± 0.032</b>	<b>9.102 ± 1.710</b>
Boca de Veracruz	3	1,758 a 3,360	1.123 ± 0.410	<b>0.193 ± 0.064</b>	<b>7.198 ± 2.960</b>
Talud y Colinas de Campeche	11	1,025 a 2,480	<b>0.914 ± 0.128</b>	<b>0.125 ± 0.036</b>	<b>8.829 ± 1.246</b>
Cañón de Campeche	10	2,520 a 3,564	0.919 ± 0.295	0.113 ± 0.036	<b>9.741 ± 2.133</b>
Escarpe de Campeche	2	1,600 y 2,500	1.085 y 0.485	0.140 y 0.080	9.041 y 7.073
Elevación continental del Suroeste	12	3,000 a 3,578	<b>0.979 ± 0.278</b>	<b>0.116 ± 0.028</b>	<b>9.843 ± 1.333</b>
Abanico del Mississippi	10	3,165 a 3,542	0.944 ± 0.273	0.116 ± 0.026	9.573 ± 1.342
Planicie de Florida	1	3,405	0.923	0.106	10.105
Planicie Abisal Sigsbee	44	3,600 a 3,725	<b>1.004 ± 0.312</b>	<b>0.125 ± 0.027</b>	9.378 ± 2.307

**8.7.1. Talud del sector occidental del Golfo de México.** Esta región fisiográfica presentó los contenidos de COT, N más bajo para las regiones, mientras que el C/N tiene un valor intermedio. Con esto tenemos un aporte de materia orgánica bajo en la zona, que es una mezcla de materia terrígena y marina. Al observar los mapas de contornos para COT, N y C/N (Figuras 21, 28 y 36, respectivamente), podemos percatarnos de que existen variabilidades en la composición elemental entre la parte norte y sur del Talud.

Por un lado, la parte norte del talud refleja concentraciones bajas de COT, pero niveles altos de N que originan un C/N bajo, característico de materia orgánica de origen marino. En 1994, Biggs y Müller-Karger observaron que existía una asociación de un par de giros en la superficie de agua girando uno de manera ciclónica y otro de forma anticiclónica en la sección NW del Golfo de México, una región oligotrófica, que sin embargo, con la presencia de estos fenómenos de circulación, provocan un incremento estacional en la productividad de la zona. Este incremento en la producción puede significar un aporte mayor de materia orgánica biogénica al sedimento, lo que indica el valor de C/N menor a otras regiones.

El sur del Talud muestra concentraciones de COT, N y una tasa C/N mayores, que pueden expresar un aporte menor de materia orgánica marina y por lo tanto dominancia de la fracción terrígena entre las regiones más productivas del NW y del sur del Golfo de México. Esta zona, también es dominada por los conocidas

Cordilleras Mexicanas, que han sido caracterizadas como unas efectivas trampas de sedimentos (Bryant et al., 1991) por lo que es posible que los sedimentos pelágicos ahí atrapados se encuentren más remineralizados que en las zonas donde su flujo es libre.

**8.7.2. Boca de Veracruz.** Esta región registró los valores más altos de COT y N, pero el tasa C/N fue la menor encontrada en toda la cuenca, con un promedio de  $C/N_a$  de 7.2 se acerca mucho al radio Redfield, esto consecuencia de una alta productividad biológica del Sur del Golfo de México debido a diversos factores hidrográficos, entre los que se encuentran la circulación y la presencia del sistema Grijalva-Usumacinta en la Bahía de Campeche que provoca una alta productividad (Signoret et al, 2006). El material particulado es transportado hacia el oeste siguiendo el esquema de circulación (Monreal y Salas, 1997). Además, esta región es una zona de drenaje, en la que se concentran sedimentos provenientes del oriente debido a la presencia de las colinas de Campeche y que no siguen su recorrido provocando un efecto de embudo por las Cordilleras Mexicanas al oeste (Bryant et al., 1991).

**8.7.3. Talud y Colinas de Campeche.** Al igual que la Boca de Veracruz, esta región se encuentra ubicada en la Bahía de Campeche y aunque presenta concentraciones de COT y N menores y una tasa C/N mayor sigue reflejando las tasas de productividad mayores en la plataforma continental adyacente y que descienden hasta el talud (Signoret et al., 2006), pero a diferencia de la Boca de Veracruz, es posible que el influjo elevado de material terrígeno por parte de los ríos Grijalva-Usumacinta (Carranza-Edwards et al., 1993), mayor al del Coatzacoalcos (Rosales-Hoz et al., 2003), sea por ejemplo, un factor de importancia provocando una dilución en la concentración de la materia orgánica marina y aumentando la tasa C/N. La abundancia de diapiros salinos (Bryan et al., 1991) pueda funcionar como una trampa de sedimento modificando las características de la materia orgánica en el mismo.

**8.7.4. Cañón de Campeche.** El Cañón de Campeche registró contenidos de COT similares a los del Talud continental, pero las concentraciones de N fueron claramente menores ocasionando un incremento de los valores de C/N de los más altos del Golfo ( $C/N_a= 9.7$ ).

De manera general las concentraciones de COT son mayores en la parte baja del Cañón de Campeche, van desde alrededor del 1% a profundidades de 1,600 m, pasando con valores mínimos de 0.6% a 2700 m hasta los máximos cercanos a 1.5 a 3,300 m. Este comportamiento es similar a los que se han encontrado en otros cañones, por ejemplo, para el Cañón de Alaminos al norte del Golfo de México, en donde Morse y Beazley (2007) encontraron concentraciones de COT que van de los 0.63% a 0.95% con las concentraciones más altas en la base del cañón. En el cañón Cap-Ferret de la Bahía de Vizcaya las concentraciones de COT oscilan entre 1.30% y 1.85% en un intervalo de profundidad de 2,300 m a 3,000 m (Etcheber et al., 1999), mostrando valores de COT mayores que los encontrados en el Cañón de Campeche en un intervalo de profundidad similar.

Las relaciones C/N fueron también más altas en la base del cañón, sugiriendo material remineralizado y rico en componentes terrígenos que han descendido a través del cañón, como en el Cañón Nazaré, al NE del Atlántico (Epping et al., 2002). En el Cañón de Nazaré las concentraciones de COT fueron de 3% a 4.5% mientras que para el Talud continental y la Elevación continental, los valores fueron entre 0.5% y 2%, los ratios C/N se encontraron entre 6.9 y 15.6 para el cañón y 6.6 a 8.9 para el talud y elevación continentales (Epping et al., 2002). Mostrando que la concentración de material es mayor en la parte baja y que éste, al igual que en el Cañón del Golfo de México.

**8.7.5. Escarpe de Campeche.** Sólo dos estaciones fueron ubicadas sobre el escarpe de Campeche, una con valores más altos de COT, N y una tasa C/N claramente mayor, es posible que al tener una profundidad de 2,500m y que presenta características más cercanas a las del cañón de Campeche no esté precisamente sobre el Escarpe. La otra estación con COT, N y C/N bajos es claramente típica de este tipo de topografía, como lo describen Morse y Beazley (2007) para el Escarpe de Florida. En el Escarpe de Florida se han registrado valores de COT de 0.37% (Morse y Beazly, 2007), inferior a los 0.48% del que identificó este estudio para el Escarpe de Campeche. Esta diferencia puede deberse a que la región del cañón del Campeche ha sido reconocida como un área de alta productividad debido a la presencia de giros ciclónicos - anticiclónico sobre el Cañón que generan el ascenso de agua rica en nutrientes (Salas de León et al., 2004).

**8.7.6. Elevación Continental del Suroeste del Golfo de México.** La Elevación continental registró concentraciones de COT y N intermedias, pero los valores de C/N más elevados. Observando los mapas de contorno tenemos que la parte norte de la Elevación continental es la que contiene los C/N más elevados, que dan una idea del aporte de materia orgánica terrígena bien caracterizada para el Golfo de México (Goñi et al, 1997; 1998; Gordon y Goñi, 2004). Los valores intermedios de COT y N representan una transición entre los valores bajos del Talud continental en el sector occidental y los más elevados de la Planicie Abisal, en donde la Elevación Continental es un medio de transporte de sedimento (Antoine, 1971).

**8.7.7. Abanico del Mississippi y Planicie de Florida.** Estas dos regiones presentan un comportamiento muy similar al de la Elevación Continental y reflejan el flujo de material orgánico terrígeno desde el río Mississippi hasta las regiones más profundas del Golfo de México (Bouma, 1972, Balsam y Beeson, 2003). Una sola estación fue localizada en la Planicie de Florida y tiene valores de composición elemental similares a los del Abanico del Mississippi.

**8.7.8. Planicie Abisal Sigsbee.** Con los valores de COT y N más altos a excepción de los de la Boca de Veracruz y con un radio intermedio de  $C/N_a$  de 9.4, representa la región fisiográfica más profunda de la cuenca y la zona donde el efecto del material proveniente del continente es menor, en razón de la C/N menor que las de la Elevación Continental y el Cañón de Mississippi, sin embargo este aporte del continente puede llegar en forma de corrientes de turbidez desde el Cañón del Mississippi (Bouma, 1972, Balsam y Beeson, 2003). En los mapas de contorno se nota la presencia de COT y tasa C/N mayores en la sección NE más cercana a las influencias del Mississippi y otros puntos de concentración en la región de los montes Sigsbee que con anterioridad han sido foco de estudio por su contenido de materia orgánica alto y cuyo COT ha sido relacionado con la presencia de metales pesados como el uranio (Mo et al., 1973).

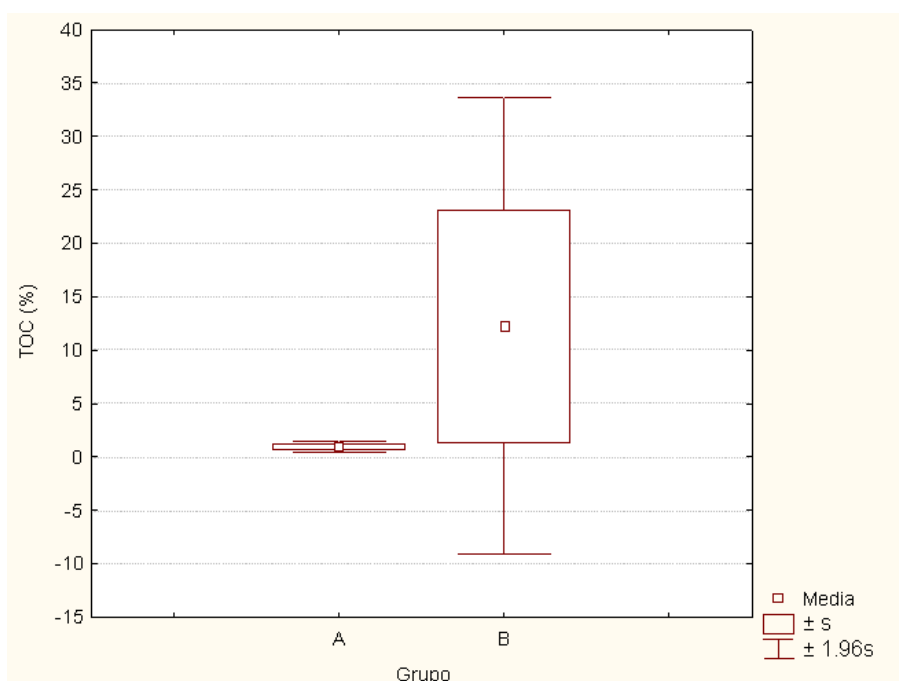
En el análisis jerárquico, la Planicie Abisal Sigsbee fue la una región fisiográfica que pudo aislarse evidenciando su relativa homogeneidad en el contenido elemental de la materia orgánica que es reflejo del origen común de los sedimentos: por corrientes de turbidez y un aporte de materia depositada pelágicamente (Bouma, 1971).

### 8.8. Comparación de la composición elemental de los sedimentos del Golfo de México con los de la localidad Chapopote

Los sedimentos superficiales abisales muestran diferencias significativas con los procedentes de las inmediaciones de la localidad Chapopote ubicada en el Talud de Campeche en la región sur del Golfo del México (Tabla 32). Los valores de la concentración de COT fueron diez veces más elevados en la región del Volcán de Asfalto (COT= 12.3% ± 10.9%, n=23) que en los sedimentos superficiales de la Planicie Abisal con aportes fotoautotróficos (COT= 0.9% ± 0.3% n=115). La diferencia fue significativa (U Mann-Whitney,  $Z_{-11.44}=-11.44$ ,  $p=0.01$ ; Figura 40).

**Tabla 32.** Concentraciones de COT, N, S y tasa C/N para sedimentos del Golfo de México y de la Localidad Chapopote [media ( $\bar{x}$ ), desviación estándar (s), valores máximo (máx) y mínimo (mín)].

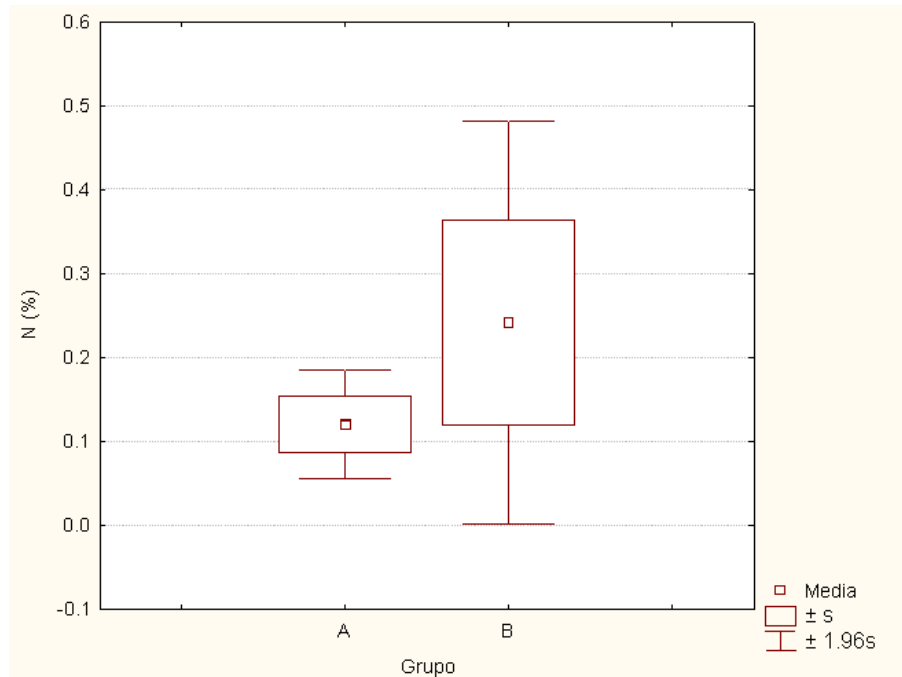
Sedimentos	Estadístico	N	COT (%)	N (%)	C/N	S (%)
Golfo de México	$\bar{x}$	115	0.945	0.120	7.967	0
	s		0.282	0.033	1.680	0
	Máx		1.800	0.250	13.166	0
	Min		0.260	0.040	3.250	0
Localidad Chapopote	$\bar{x}$	23	12.278	0.242	44.483	1.853
	s		10.884	0.122	32.159	1.885
	Máx		34.477	0.585	120.881	6.379
	Min		1.452	0.104	8.687	0.029



**Figura 40.** Comparación en la concentración de COT entre sedimentos del Golfo de México (A) y de la localidad Chapopote (B) con media y desviación estándar (s).

La concentración de N fue mayor también en la localidad Chapopote, con una relación de 3:1 en comparación de los sedimentos comunes del Golfo de México. La

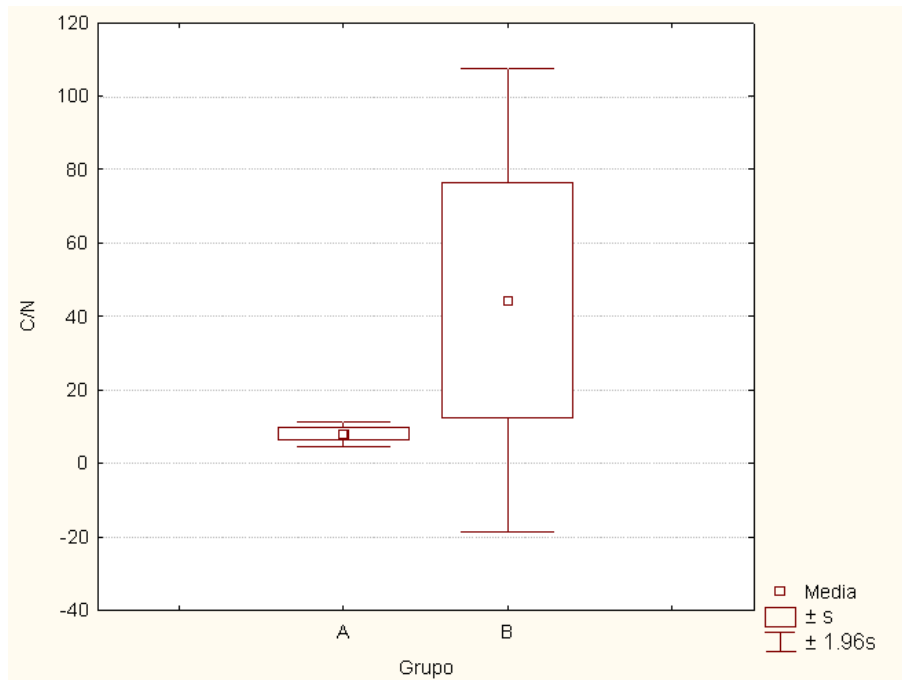
localidad de Chapopote mostró valores de  $N = 0.2\% \pm 0.1\%$ ,  $n=23$ ; mientras que el resto de los sedimentos presentó concentraciones de  $N = 0.12\% \pm 0.03\%$ ,  $n=115$ . La prueba U Mann-Witney: ( $Z_{8.70} = -8.70$ ,  $p=0.01$ , Figura 41) confirmó estas diferencias.



**Figura 41.** Comparación en la concentración de N en sedimentos del Golfo de México (A) y de la Localidad Chapopote (B) con media y desviación estándar (s).

La tasa C/N fue seis veces mayor en la localidad de Chapopote ( $C/N = 44.5 \pm 32.1$ ,  $n=23$ ) que en el resto del Golfo de México ( $C/N = 8.0 \pm 1.7$ ,  $n=115$ ), estas diferencias fueron confirmadas por una prueba U Mann-Whitney: ( $Z_{11.22} = -11.22$ ,  $p < 0.01$ , Figura 42). La concentración de azufre (S) estuvo presente solamente en los sedimentos de la localidad Chapopote con una media de  $S = 1.9 \pm 1.9$ ;  $n = 23$ .





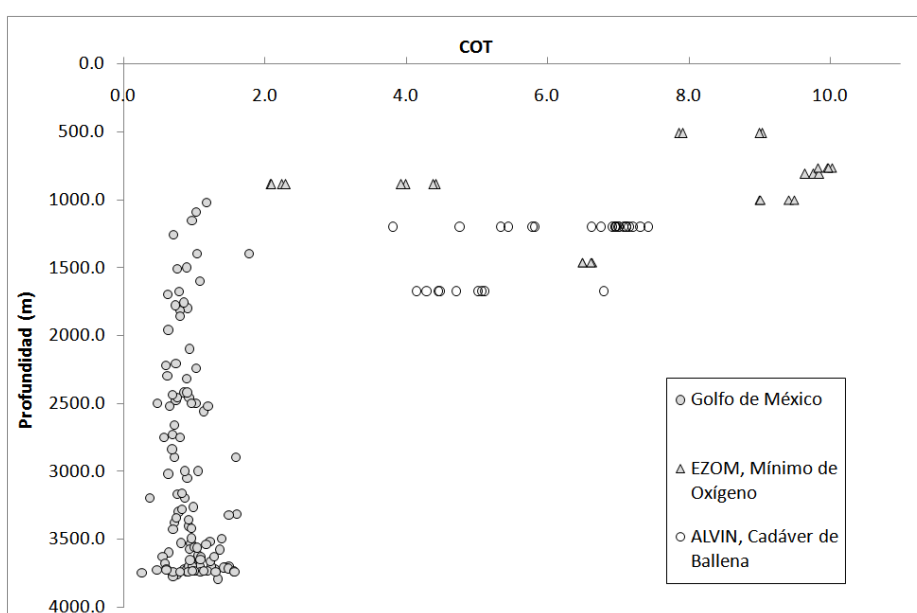
**Figura 42.** Comparación de la tasa C/N entre sedimentos del Golfo de México (A) y de la Localidad Chapopote (B) con media y desviación estándar (s).

### 8.9. Comparación de la composición elemental de los sedimentos del Golfo de México con otras regiones

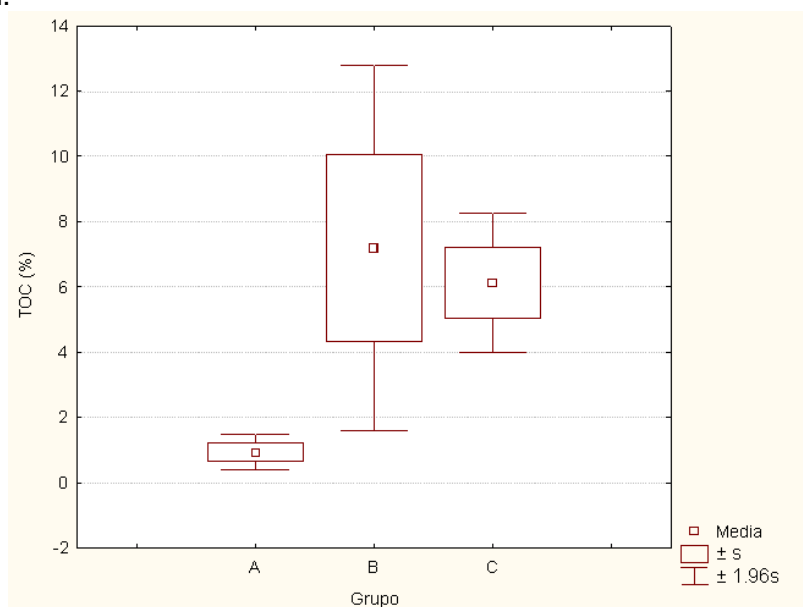
Los valores de COT, N, C/N y S en sedimentos superficiales de mar profundo del Golfo de México mostraron diferencias con los sedimentos de otras regiones en latitudes similares nacionales cuyo origen de la materia orgánica es también la exportación de la capa eufórica al fondo (Tabla 33). Los sedimentos del Golfo de México poseen un contenido menor de COT (COT= 0.9% ± 0.3%, n=115), las otras localidades tienen concentraciones mayores (Figura 43), en orden ascendente están los sedimentos inmediatos a un cadáver de ballena depositado en el fondo marino recolectados en la campaña ALVIN (COT= 6.1 % ± 1.1%, n=10) y los procedentes de la zona de oxígeno mínimo recolectados en la campaña EZOM con los valores más elevados (COT= 7.2% ± 2.9%, n=7). Los valores de COT en sedimentos de mar profundo de las dos regiones del Pacífico Oriental con materia orgánica exportada de origen fotoautotrófico mostraron diferencias significativas con los valores de mar profundo del Golfo de México (ANOVA Kruskal-Wallis: H=97, p<0.01;  $\chi^2=46$ , p<0.01, Figura 44).

**Tabla 33.** Concentraciones de COT, N, S y la tasa C/N para sedimentos del Golfo de México y de otras regiones [media ( $\bar{x}$ ), desviación estándar (s), valores máximo (*máx*) y mínimo (*mín*)].

Sedimentos	Estadístico	n	COT (%)	N (%)	C/N	S (%)
Golfo de México, muestras de la Planicie abisal sin influencia quimioautotrófica	$\bar{x}$	115	0.945	0.120	7.967	0
	s		0.282	0.033	1.680	0
	máx		1.800	0.250	13.166	0
	min		0.260	0.040	3.250	0
Pacífico Oriental, muestras procedentes de la zona de oxígeno mínimo, campaña EZOM	$\bar{x}$	7	7.189	0.871	8.163	0.302
	s		2.858	0.328	0.349	0.146
	máx		10.034	1.267	8.664	0.654
	min		2.079	0.265	7.571	0.181
Pacífico Oriental, muestras procedentes de sedimentos inmediatos a un cadáver de ballena; campaña ALVIN	$\bar{x}$	10	6.127	0.761	8.106	0.256
	s		1.091	0.157	0.452	0.123
	máx		7.430	0.970	8.678	0.460
	min		4.460	0.530	7.423	0.140



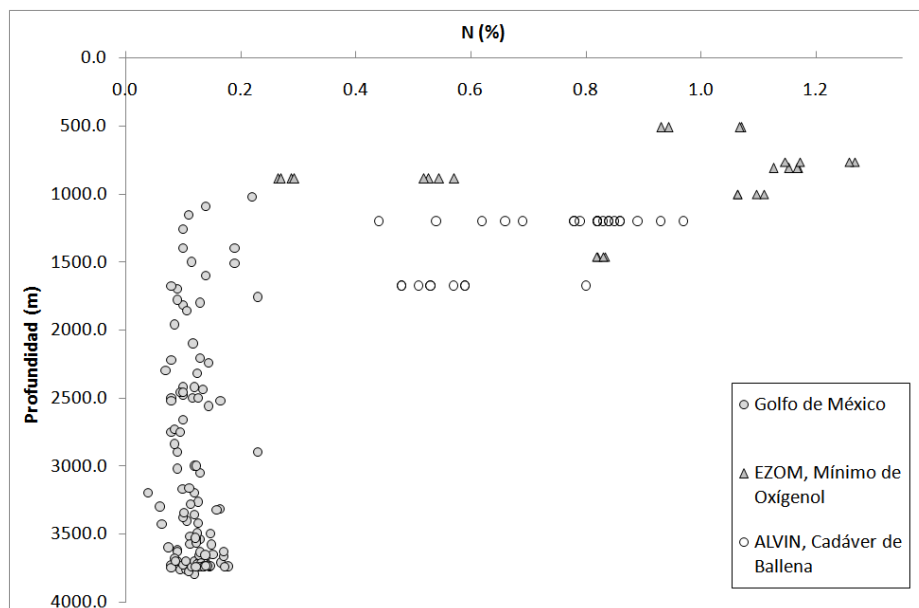
**Figura 43.** Concentración de COT en los sedimentos del Golfo de México y las campañas ALVIN y EZOM.



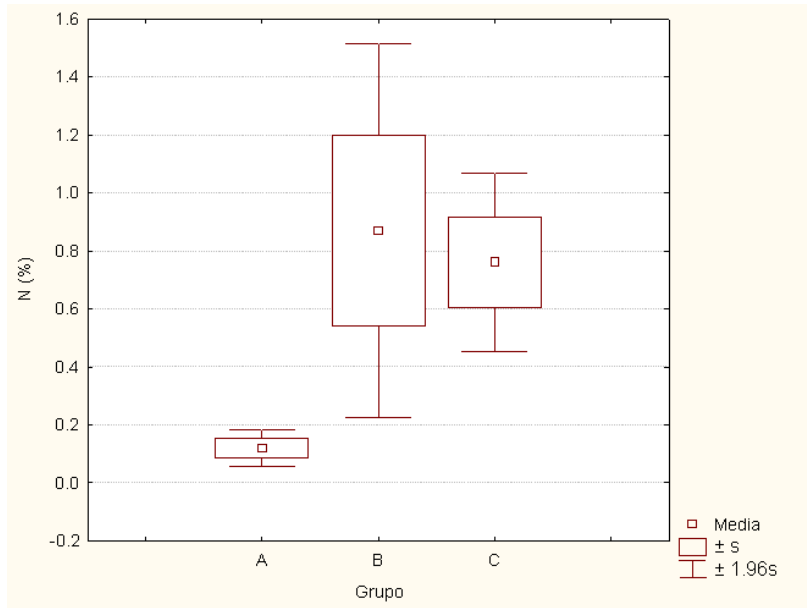
**Figura 44.** Comparación de la concentración de COT entre las campañas oceanográficas: EZOM (B) y ALVIN (C), con los sedimentos del Golfo de México (A).

Las diferencias en la concentración de N en sedimentos del mar profundo entre las localidades del Pacífico Oriental y el Golfo de México fueron significativas (ANOVA Kruskal-Wallis:  $H=98$ ,  $p<0.01$ ;  $X^2=46$ ,  $p<0.01$ , Figura 45). Los sedimentos del Golfo de México presentaron las concentraciones más bajas ( $N= 0.12\% \pm 0.03\%$ ,  $n=115$ , Figura 45). Las muestras de sedimentos de mar profundo de la zona de oxígeno mínimo y de las inmediaciones de un cadáver de ballena en el Pacífico Oriental presentaron concentraciones de N más elevadas con  $N= 0.9\% \pm 0.3\%$ ,  $n=7$  y  $N= 0.8\% \pm 0.2\%$ ,  $n=10$ , respectivamente.

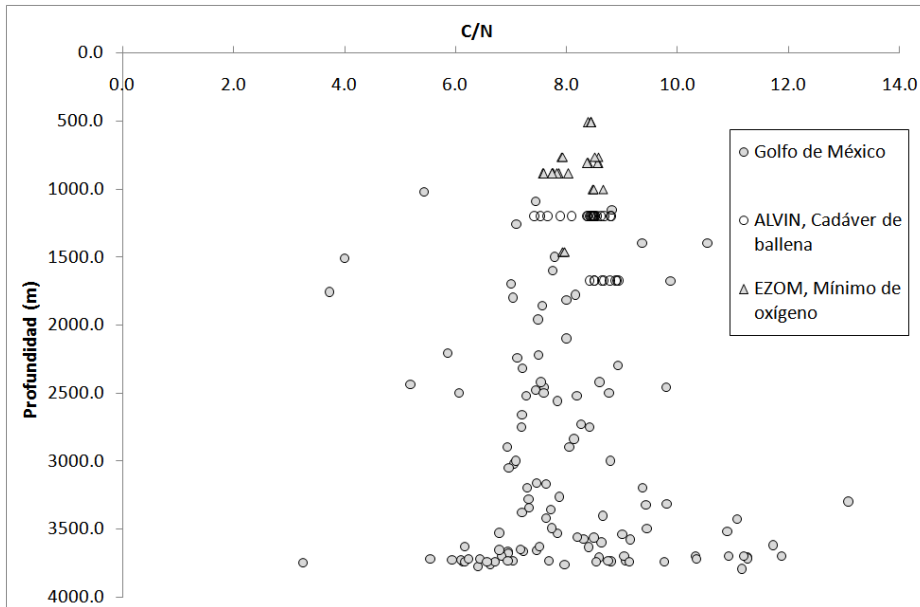
En cuanto a la tasa C/N, los valores de ésta fueron similares entre muestras de mar profundo del Pacífico Oriental para la zona de oxígeno mínimo ( $C/N= 8.2 \pm 0.3$ ,  $n=7$ ) y para sedimentos de las inmediaciones de un cadáver de ballenas ( $C/N= 8.1 \pm 0.4$ ,  $n=10$ ) y del Golfo de México ( $C/N= 8.0 \pm 1.7$ ,  $n=115$ , Figura 47). Las diferencias para la tasa C/N entre las muestras del Pacífico Oriental y el Golfo de México no fueron significativas (ANOVA Kruskal-Wallis:  $H=4.07$ ,  $p=0.13$ ;  $X^2=12.48$ ,  $p=0.01$ , Figura 48).



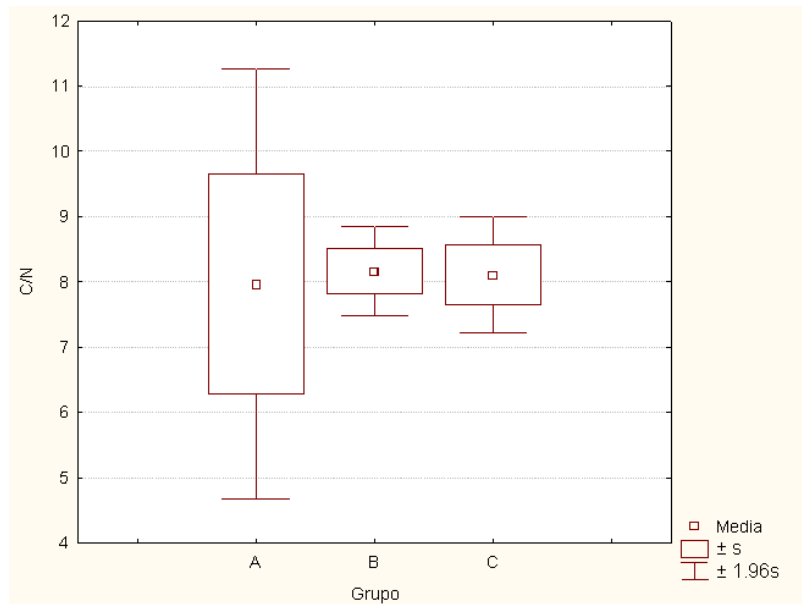
**Figura 45.** Concentración de N en los sedimentos del Golfo de México y las campañas ALVIN y EZOM.



**Figura 46.** Comparación de la concentración de N entre las campañas oceanográficas EZOM (B) y ALVIN (C), con los sedimentos del Golfo de México (A).



**Figura 47.** Concentración de C/N en los sedimentos del Golfo de México y las campañas ALVIN y EZOM.



**Figura 48.** Comparación de la tasa C/N entre las campañas oceanográficas EZOM (B) y ALVIN (C), con los sedimentos del Golfo de México (A).

A excepción de los sedimentos de mar profundo con influencia quimioautotrófica (p.ej. Localidad Chapopote  $S= 1.9\% \pm 1.9\%$ ,  $n= 23$ ) los sedimentos superficiales del Golfo de México no presentaron concentración de azufre. Los sedimentos colectados en la zona de oxígeno mínimo en el Pacífico Oriental presentaron un contenido elevado de  $S= 0.3\% \pm 0.1\%$ ,  $n=7$ , seguidos por los de sedimento superficial de las inmediaciones de un cadáver de ballena en el fondo marino ( $S= 0.3\% \pm 0.1\%$   $n=10$ ).

## 9. DISCUSIÓN

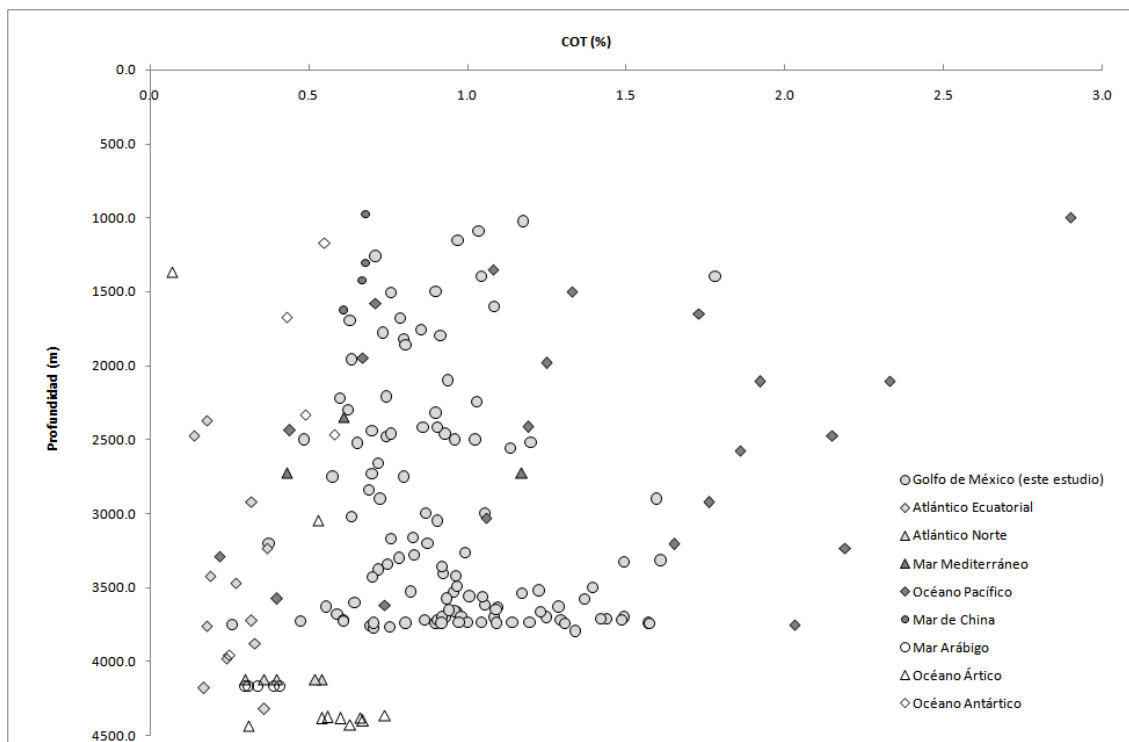
### 9.1. Carbono Orgánico Total.

La concentración media de carbono orgánico total para los sedimentos recolectados en este estudio fue de  $0.9 \pm 0.3\%$ ,  $n=115$ , encontrándose estos valores ligeramente elevados con respecto a los típicos del mar profundo (COT  $< 0.5\%$ , Seiter, *et al.*, 2004), pero por debajo de los encontrados en los márgenes continentales (COT  $> 1.5\%$ , Seiter, *et al.*, 2004; COT= 4% a 16%, margen continental de Perú, Arthur 1998) y en mares fríos (COT= 0.5% a 2%, Océano Ártico, Stein *et al.*, 1994). Los valores obtenidos en este estudio caen en los valores de COT característicos de sedimentos con presencia de condiciones óxicas (Stein 1990) y tasas bajas de sedimentación (Suess, 1980).

El intervalo de valores de COT= 0.26% a 1.80% encontrado en este estudio para los sedimentos del Golfo de México es similar a los valores reconocidos por diferentes autores en otras cuencas oceánicas a profundidades similares como los procedentes de la cuenca de Argentina con valores entre 0.26% y 1.72% (Stevenson y Cheng, 1972) o de 0.04% a 1.5% para el Mar Arábigo (Grandel *et al.*, 2000). De la misma manera, los valores tienen un intervalo similar a los reportados para el Norte del Golfo de México: COT= 0.37% a 1.3% (Morse y Beazley, 2007) COT= 0.34% a 1.59% (Goñi *et al.*, 1997; Goñi *et al.*, 1998; Gordon y Goñi, 2004). Algunas de estas tendencias son mostradas en la figura 49. Otros valores son mencionados en el Anexo 3, con una compilación de datos obtenidos de la base de datos PANGAEA (<http://www.pangaea.de>) y otras fuentes, que se resumen en la Tabla 34.

El valor máximo de 1.80 es similar al observado en mares tropicales como el Pacífico Occidental Tropical o el Margen continental del Poniente de África y a mares profundos como el Pacífico Noroccidental o el Atlántico Sur de acuerdo a las provincias descritas por Seiter *et al.* (2004, Tabla 3). El valor promedio de COT por su parte es similar al registrado para el Margen continental del Noreste de América en el mismo estudio y ligeramente superior a los medidos frente al Río de Plata, en el Pacífico tropical, en mares fríos como el margen continental al Norte de Europa y el Océano Pacífico profundo (sector suroeste).

Los valores bajos de COT de este estudio permiten reconocer un ambiente de productividad baja y aguas bien oxigenadas, que por consiguiente generan una disminución en el flujo y preservación de la materia orgánica en los sedimentos (Stein et al., 1990).



**Figura 49.** Concentraciones de COT con respecto a la profundidad para el Golfo de México y otras regiones.

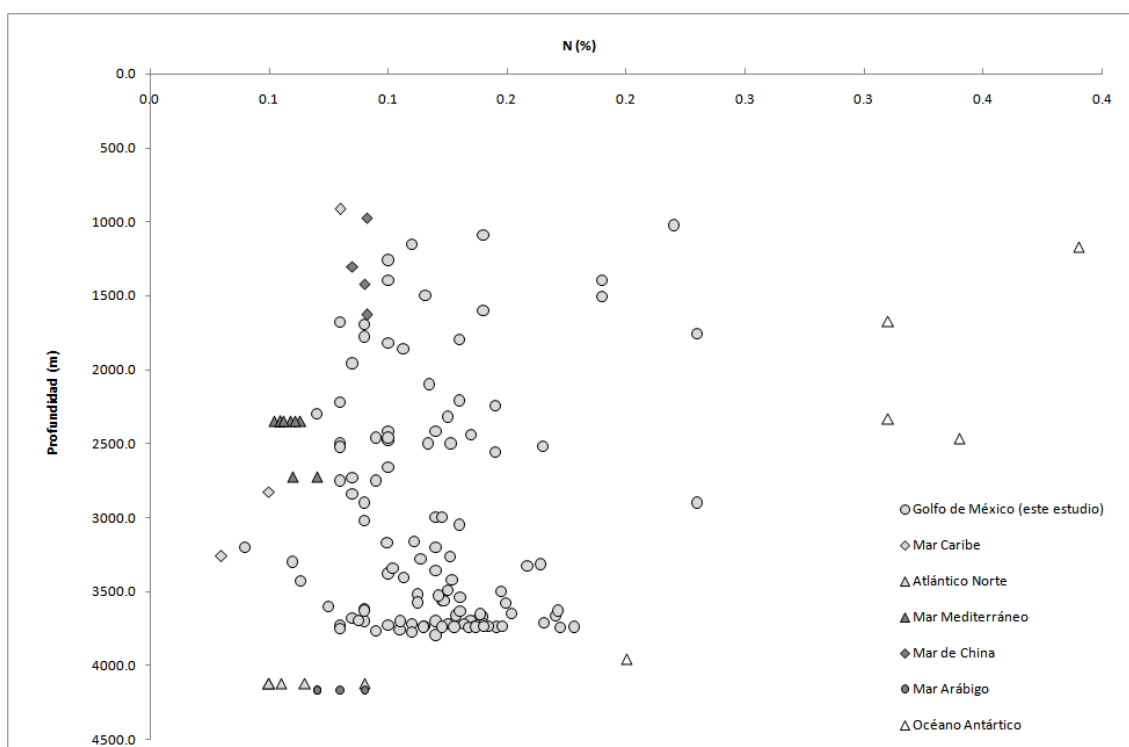
**Tabla 34.** Promedio y desviación estándar de los valores de COT para otras localidades del océano mundial (tomado de García-Villalobos y Escobar-Briones, 2007).

LOCALIDAD		Carbono Orgánico Total (%)
Océano Pacífico	1,000-2,000m	1.38±0.76
	2,000-3,000m	1.66±0.64
	>3,000m	1.18±0.78
Mar Mediterráneo	2,000-3,000m	0.59±0.05
Océano Atlántico	2,000-3,000m	0.21±0.09
	>3,000m	0.29±0.09
Mar de China	1,000-2,000m	0.66±0.03
Mar Caribe	1,000-2,000m	0.40±0.31
	>2,000m	0.15±0.12
Océano Índico	1,000-2,000m	1.84±0.81
	>2,000m	1.21±0.60

## 9.2. Nitrógeno.

Los sedimentos de mar profundo del Golfo de México presentaron concentraciones de nitrógeno en un intervalo de 0.04% a 0.25%, con una media de:  $N = 0.12\% \pm 0.03\%$   $n=115$ . Estos valores presentan un intervalo más amplio con respecto a los valores reportados para el Norte del Golfo de México  $N = 0.08\% - 0.17\%$  (Goñi et al., 1998; Gordon y Goñi, 2004), debido quizá a la mayor área geográfica que representan.

A su vez, los valores de N del Golfo de México son menores comparados a los del margen continental en el Mar Arábigo (0.1% a 0.4%, Shuthhof et al., 2000) y mayores a los del Mar de China (0.02% a 0.19%, Kao et al., 2003, Figura 50), sin embargo, presentan valores similares a los reportados para mar profundo, como los del Océano Pacífico en la Cuenca de Argentina con  $N = 0.031\%$  a 0.167% (Stevenson y Cheng, 1972).



**Figura 50.** Concentraciones de N con respecto a la profundidad para el Golfo de México y otras regiones.

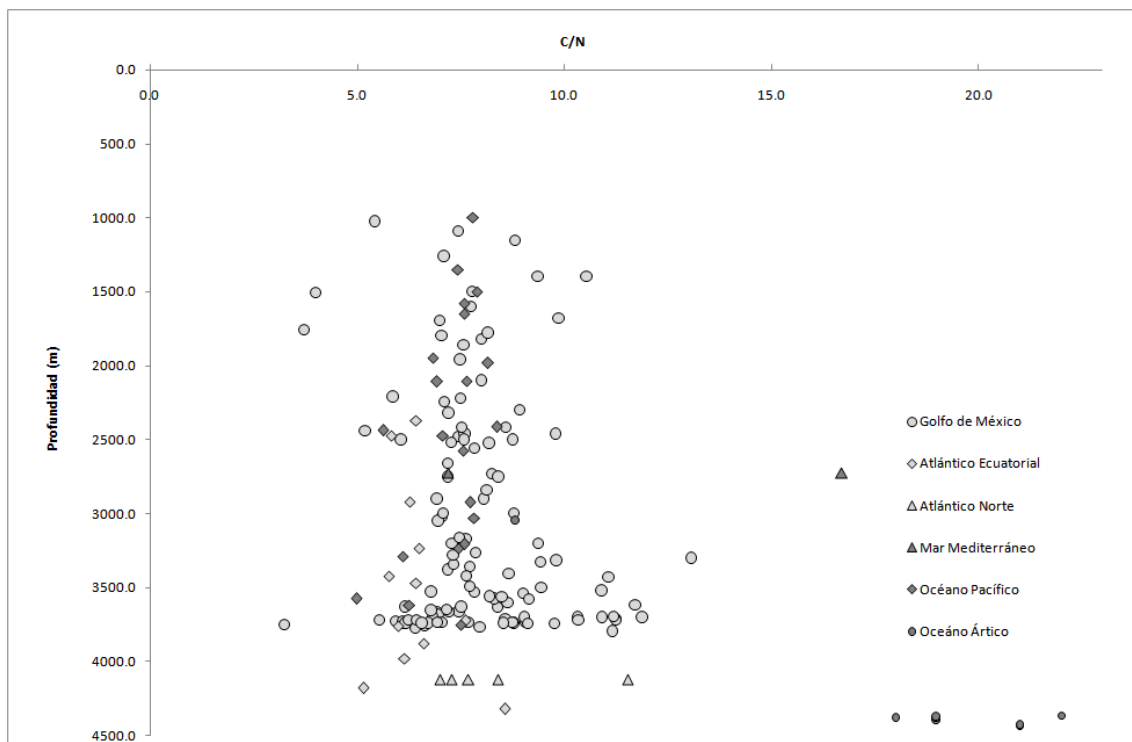
El Nitrógeno total presentó una correlación directa con el Carbono orgánico total ( $R^2=0.48$ ) que indica que la mayor parte del Nitrógeno presente en el sedimento es de tipo orgánico (Hedges et al., 1998). Sin embargo, el intercepto positivo de la gráfica (COT= 0%;  $N = 0.044\%$ ) indica que los sedimentos tienen una proporción de Nitrógeno que es inorgánica (Meyers, 1993). Este Nitrógeno



inorgánico puede estar en forma de Amonio atrapado en las arcillas del sedimento (Stevenson y Cheng, 1972).

### 9.3. Tasa C/N.

La tasa Carbono orgánico total – Nitrógeno total para los sedimentos de mar profundo del Golfo de México presentó una media de  $C/N=8.0 \pm 1.7$ , que equivale a una tasa atómica de  $C/N_a= 9.3$ . Este radio C/N es similar al reportado en otras cuencas oceánicas con similar intervalo de profundidad (Figura 51).



**Figura 51.** Tasa C/N con respecto a la profundidad para el Golfo de México y otras regiones.

En este estudio se encontró que el valor promedio de C/N para el Golfo de México está por arriba del Radio de Redfield  $C/N= 5.7$  y  $C/N_a= 6.65$  (Gordon y Goñi, 2004; Joye, *et al*, 2004 Kao, *et al.*, 2003). El intervalo C/N fue amplio, de 3.25 a 13.16 ( $C/N_a= 3.79$  a 15.35) englobando el intervalo típico de tasa  $C/N_a$  para algas que va de 4 a 10 (Meyers, 1994). Valores intermedios ( $C/N_a \approx 8$ ) son un indicativo de material orgánico detrítico relativamente fresco o recién depositado en contraste a los valores mayores (Tahley *et al*, 1994).

Los valores más altos de  $C/N_a$  son similares a los registrados para los afluentes del Mississippi en los sedimentos del Norte del Golfo de México con valores

entre 10 y 13 (Gordon y Goñi, 2004). Esto obedece a una mezcla de material orgánico marino (proveniente de fitoplancton) con materia orgánica terrígena que puede ser transportado por turbiditas (Epping et al, 2002; Gordon y Goñi, 2004; Kao et al, 2003; Mari et al, 2001; Schuthhof et al., 2000). Los valores de  $C/N_a > 15$  pueden sugerir un aporte de material orgánico derivado de plantas vasculares (Meyers 1994) y también es un indicativo de condiciones limitantes de nitrato (Mari et al., 2001). Para determinar con mayor certeza el origen de la materia orgánica en los sedimentos se podrían emplear algunas otras herramientas como el índice de hidrógeno, observación microscópica e isotopía estable de carbono (Stein et al., 1994). González-Ocampo (2005) reconoció valores de abundancias relativas de carbono trece en material particulado en agua de fondo del Golfo de México, los cuales muestran su procedencia del fitoplancton, ligeramente empobrecido durante su exportación al fondo (valores de  $-25.39\text{‰}$  y  $-22.70\text{‰}$  para la Planicie Abisal y valores de  $-24.11\text{‰}$  y  $-22.12\text{‰}$  para el Talud continental), cambio que se atribuyó al tiempo de residencia de las partículas y a la resuspensión de material refractario.

Los valores menores de  $C/N_a (<5)$  caracterizan las zonas de mar abierto (Scirocco et al., 2002) debido a que parte del N escapa de la remineralización en la columna de agua adsorbiéndose en las superficies de arcillas minerales y volviendo el  $C/N_a$  cuantitativamente más pequeño (Shuthhof et al., 2004; Stevenson y Cheng, 1972). En este estudio, esta contribución de Nitrógeno inorgánico fue registrada por el intercepto positivo de la gráfica COT vs N. Otra explicación para valores bajos de C/N la presentó Meyers (1994) y consiste en la degradación selectiva de algunos compuestos orgánicos durante la diagénesis temprana. Para el caso de sedimentos ricos en actividad bacteriana es posible que los microorganismos inmovilicen el Nitrógeno mientras el Carbono orgánico es remineralizado provocando un descenso en los valores de C/N (Meyers, 1994).

#### **9.4. Distribución de contenido elemental con la profundidad en la columna de agua.**

El COT en este estudio no presentó la disminución lineal con la profundidad reconocida por otros autores (Suess 1980). A profundidades de 1,000 y 2,000 m el COT sigue un patrón de disminución en su concentración que se debe al

proceso de remineralización de la materia orgánica durante su trayecto de la superficie al fondo (Suess 1980). Este patrón se citó para el sector Norte del Golfo por Morse y Beazley (2007) en un intervalo de profundidad similar. Sin embargo, de los 2,000 a los 3,750 m la concentración de COT se incrementó gradualmente en dicho estudio. Los resultados son congruentes con lo descrito por Balsam y Beeson (2003) para el centro del Golfo de México, donde existe una proporción mayor de materia orgánica en los sedimentos que en aquellos de las regiones más someras cercanas a la costa debido a un influjo de sedimento terrígeno de tipo inorgánico que produce un efecto de dilución sobre la materia orgánica en las áreas menos profundas. Morse y Beazley (2007) describieron que el COT tiene una correlación mejor (inversamente proporcional) con la profundidad de la columna de agua cuando éste se expresa en forma de la fracción libre de Carbonatos, lo que indica un efecto de dilución de la materia orgánica por el Carbonato de calcio. Un señalamiento similar lo realizaron Müller y Suess (1979), en el que describen que existe un efecto de dilución de la materia orgánica por los aportes de Carbonato de Calcio y por Cuarzo.

La presencia de valores elevados en las zonas somera y profunda ha sido descrita por estudios en distintas cuencas, como en el Océano Ártico (Stein et al. 1994) y en el Mar Árabe (Suthof et al. 2000). En este último se explica que el incremento en las concentraciones de COT con la profundidad de la columna de agua se interpreta como un efecto de la bioturbación en el sedimento. Este efecto es menor en las zonas más profundas promoviendo los sedimentos laminados con menor oxigenación y por lo tanto mayor preservación de la materia orgánica (Suthof et al. 2000). Emerson et al. (1985) proponen que aparte de la bioturbación, las concentraciones de COT en los sedimentos son controladas por la tasa de degradación de la materia orgánica y el flujo de carbono orgánico particulado.

El nitrógeno total presentó una distribución similar a la del COT en la profundidad de la columna de agua, con una disminución en la concentración de N desde los 1,000 hasta los 2,500 m. Esta disminución es un reflejo de la remineralización progresiva que sufre el N durante su viaje en la columna de agua (Schulz y Zabel, 2000). El N registra un incremento desde los 2,500 a los

3,750 m de profundidad que puede atribuirse a adsorción en las arcillas minerales que lo protegen de la remineralización (Shuthhof et al., 2004; Stevenson y Cheng, 1972). Esta teoría se fundamenta en el patrón similar que sigue la materia orgánica de mar abierto a la distribución de arcillas en el Golfo de México (Balsam y Beeson, 2003).

La tasa C/N presentó una distribución polinomial (sigmoideal) con la profundidad en la columna de agua, a diferencia de lo que se ha descrito para sedimentos del mar profundo en los océanos Atlántico y Pacífico (Honjo et al., 1982), en donde se ha encontrado que la tasa C/N incrementa con la profundidad (C/N<sub>a</sub> desde 8 hasta 10). Nosotros encontramos una distribución con puntos máximos y mínimos alternados en el mismo intervalo de los valores con C/N<sub>a</sub> entre 8.2 y 9.5. Esta distribución relativamente constante de C/N es un reflejo de los comportamientos similares para N y COT, que indican que la materia orgánica en los sedimentos del Golfo de México en el intervalo de profundidad analizado parece tener el mismo origen sin importar el intervalo de profundidad. Suthhof et al. (2004) sugieren que las variaciones de COT y N con un C/N constante reflejan que la materia orgánica se encuentra controlada por las tasas de sedimentación y preservación más que por la fuente de la materia orgánica.

#### **9.5. Variación de la composición elemental por zonas batimétricas.**

Las concentraciones de COT fueron más elevadas en la Planicie Abisal y en la Elevación (eminencia) continental que en el Talud continental. Este comportamiento concuerda con el incremento en las concentraciones de COT en el intervalo de profundidad superior a los 2,800 m. Sin embargo, contrasta con los inferidos por los mecanismos que controlan el flujo de materia orgánica al fondo de los sedimentos: tasa de productividad, tasa de preservación, influjo de materia orgánica terrígena (Stein, 1991) que debieran originar un decremento en la concentración de COT con la profundidad.

En cuanto a la concentración de N no se detectaron diferencias significativas, lo cual indica una distribución relativamente homogénea y que el incremento en los valores de N en el estrato más profundo a más de 3,600 m de profundidad no es significativo. La tasa C/N tampoco mostró ser significativamente diferente

y las proporciones atómicas C/N<sub>a</sub> van de 8.8 a 9.8, con el valor máximo en la Elevación (eminencia) continental y el mínimo en el Talud continental.

Las zonas batimétricas en este estudio (Tabla 35) muestran la Planicie Abisal con las concentraciones más elevadas de COT y N; el Talud continental presenta las concentraciones más bajas; la Elevación (eminencia) continental presentó una proporción C/N más elevada que en las otras dos zonas.

**Tabla 35.** Caracterización elemental de los sedimentos del Golfo de México por zonas batimétricas representada por media y desviación estándar.

Zona batimétrica	COT (%)	N (%)	C/N <sub>a</sub>
Talud continental	0.862 ± 0.230	0.118 ± 0.038	8.808 ± 1.164
Elevación continental	0.966 ± 0.284	0.117 ± 0.034	9.765 ± 1.632
Planicie Abisal	1.004 ± 0.310	0.125 ± 0.027	9.378 ± 2.307

El análisis de agrupamiento jerárquico permitió diferenciar las tres zonas batimétricas (Figura 39). La zona que aisló este análisis fue la Planicie Abisal, con el 100% de las estaciones clasificadas. Estos resultados presentan a la Planicie Abisal como la zona batimétrica más homogénea en cuanto al contenido elemental, Antoine (1971) también describió a la Planicie Abisal de Sigsbee como una de las regiones fisiográfica excepcionalmente homogénea con una inclinación de 1:8000, en la que la única irregularidad la constituyen la presencia de los montes de Sigsbee. Esta homogeneidad geológica se ve reflejada en los valores de este estudio.

La Elevación Continental presentó mayor relación con la planicie que con el talud y sólo 7 estaciones con profundidades entre 2800 y 3000 m fueron clasificadas junto con al talud, debido quizá a que se encuentran en la zona de transición y a que los valores de N son muy similares entre el talud y la elevación continentales. Cuatro de éstas estaciones ubicadas en el cañón y escarpe de Campeche, localidades que poseen características de Talud continental (Roberts et al., 1999).

Comparado los resultados de este estudio con otras cuencas se puede reconocer que la materia orgánica en un estudio realizado en el Mar Mediterráneo no presentó variaciones importantes con respecto a la batimetría de la región en profundidades de hasta los 2,700 m de profundidad (Tahley et al., 1994). En el norte del Golfo de México, Morse y Baezley (2007) observaron

un decremento en la concentración de COT desde los sedimentos ubicados a menos de 2,000 m con una media de 1.1% y los de 3,500 m con valores medios de COT 0.52%.

#### **9.6. Variación de la composición elemental con la distancia a la costa.**

El COT no presentó relación significativa con la distancia a la costa y no sigue el esquema general que se ha descrito para mar profundo, en el que se ha encontrado una relación inversa entre la concentración de COT y la distancia a la costa (Stevenson y Cheng, 1972). Este comportamiento diferente puede deberse a que se trata de un mar marginal que presenta un mayor efecto costero, que refleja un aporte de materia orgánica terrígena en las zonas cercanas al continente (Craston, 1997). El nitrógeno, que tampoco se correlacionó con la distancia a la costa en este estudio, ha presentado un comportamiento inverso en otras regiones (Stevenson y Cheng, 1972). Esta homogeneidad en el aporte de N a los sedimentos indica un aporte similar de materia orgánica en la cuenca.

Sin embargo, la tasa C/N presentó un comportamiento directo con la distancia a la costa, lo que sugiere un aporte mayor de material terrígeno al centro de la cuenca, con un aporte constante de materia orgánica que se ve diluida por el material terrígeno conforme se acerca al centro de la cuenta, aumentando su proporción cerca de la costa, donde la productividad es mayor (Cranston, 1997; Stevenson y Cheng, 1972). Además, los transectos fueron realizados de Oeste a Este, ubicando las estaciones más alejadas de la costa en la zona profunda de la cuenca, con mayor efecto de aporte de terrígenos provenientes del río Mississippi (Bouma, 1972; Balsam y Beeson, 2003).

Las diferencias entre los comportamientos de los diversos transectos S3, S4 y S5 pueden deberse a un cambio en el contenido de proteínas (organismos vivos) en los sedimentos superficiales (Stevenson y Cheng, 1972), porque dos de ellos están en la misma zona. Dicha variabilidad local indica que la composición química de la materia orgánica depositada en cada localidad difiere en una escala pequeña en parches que generan mosaicos, o bien a que la alteración de la materia orgánica luego de que ha sido depositada presenta variaciones en los procesos físicos o químicos que se llevan a cabo en cada sitio por la fauna del sedimento (Stevenson y Cheng, 1972).

### **9.7. Variación espacial de la composición elemental en el Golfo de México.**

La composición y distribución de Carbono orgánico en los sedimentos puede proporcionar información importante acerca del ambiente de depósito, la circulación oceánica y la productividad en la superficie (Stein, 1991; Stein et al., 1994). En 2003, Balsam y Beeson describieron que la materia orgánica en los sedimentos del Golfo de México sigue un patrón de distribución similar al observado en imágenes satelitales, sin embargo, las abundancias fueron diferentes debido al aporte de material terrígeno.

En el Golfo de México, las concentraciones de COT y N no mostraron diferencias entre los sectores N-S y E-W en la región más profunda. Sin embargo, la tasa C/N presentó una diferencia entre los sectores N-S, no así entre las zonas E-W. De esta manera tenemos al Golfo de México como una cuenca que es homogénea en la composición elemental de la materia orgánica de forma longitudinal. Las principales diferencias entre estas regiones incluyen un dominio en la proporción de carbonatos hacia la región oriental con concentraciones de más del 75%, mientras que al Oeste las concentraciones de carbonato son menores del 50% (Balsam y Beeson, 2003) donde la isolínea de transición entre las provincias carbonatada y terrígena está en el 75% de Carbonato de Calcio (Hernández et al., 2005). A pesar de que se ha reconocido perfectamente que existe una asociación entre la materia orgánica y el Carbonato desde la depositación del material (Suess, 1970) y en la interfase sedimento-agua, tanto para el carbono orgánico (Suess, 1973) como para el nitrógeno orgánico (Müller y Suess, 1977), los resultados de nuestro estudio no son contundentes en cuanto a la distribución de los elementos en el Golfo de México.

Las diferencias entre los sectores Norte-Sur se pueden explicar a partir de diversos estudios que muestran que el aporte de material terrígeno del río Mississippi es uno de los más importantes a nivel mundial que llega a los 210 millones de toneladas anuales (MacKee et al., 2004) y que tiene un efecto claro no sólo en la Plataforma de Mississippi-Alabama y el cañón del Mississippi, sino hasta el Abanico del Mississippi y hasta la Planicie Abisal (Bouma, 1972, Balsam y Beeson, 2003) y cuyo aporte terrígeno ha sido trazado en los sedimentos (Goñi et al., 1997; 1998; Gordon y Goñi, 2004).

Los valores de C/N más bajos en el Sur se vinculan con un origen marino de la materia orgánica en la Bahía de Campeche, caracterizada por condiciones eutróficas o mesotróficas que difieren de las oligotróficas del centro del Golfo de México y que se deben a la presencia del sistema Grijalva-Usumacinta (Signoret et al., 2000) provocando que parte de esta biomasa producida pueda viajar a las zonas profundas. A pesar de que este sistema es el segundo más importante después del Mississippi y que es el principal aporte de material terrígeno al sur del Golfo (Carranza-Edwards et al., 1993), el efecto de la materia orgánica terrígena es menor que en el Norte y eso se nota en el tasa  $C/N_a$  de 9.2 con respecto al  $C/N_a$  de 13.8 del Norte.

#### **9.8. Variación temporal de la composición elemental en la estación permanente en la Planicie Abisal Sigsbee.**

En el Golfo de México la productividad primaria está controlada por distintas escalas temporales (Wiseman y Sturges, 1999): los nutrientes son llevados a la zona eufótica a través de afloramientos asociados a la corriente de Lazo y sus giros (Biggs y Muller-Karger, 1994, Lohrenz et al, 1999) y a la descarga continental, principalmente por los ríos Mississippi y Atchafalaya al norte (Wiseman y Sturges, 1999) y al sistema Grijalva-Usumacinta al sur (Signoret et al, 2006). Por un lado la corriente de Lazo presenta una variabilidad en el orden de meses, pero no concuerda con el ciclo de radiación solar anual (Biggs y Muller-Karger, 1994; Wiseman y Sturges, 1999), mientras que la descarga de los ríos presenta una fuerte variación anual (Wiseman y Sturges, 1999). Por lo tanto, la escala de tiempo contemplada en este trabajo no permite observar la variación anual en estos fenómenos. La inexistencia de diferencias en las concentraciones de COT y N refleja la estabilidad bien conocida en los trópicos, donde al parecer la proporción de la productividad primaria que llega al fondo no presenta variaciones importantes (Cosson et al., 1997, Jahnke, 1996).

La tasa C/N presentó una relación inversa con el tiempo ( $r^2= 0.91$ ). La proporción atómica  $C/N_a$  disminuyó desde 12.0 en 2002 hasta 7.7 en 2005. Este decremento en los valores de C/N abarca un amplio intervalo en el que, en 2002 representa la mezcla de materia orgánica terrígena con materia orgánica marina de origen marino, mientras que para el 2005 la materia orgánica representa un origen pelágico más claro por su valor más cercano a



Redfield (Gordon y Goñí, 2004). Es posible, que, conociendo que existen flujos específicos de material orgánico terrígeno desde el Mississippi, incluso a las profundidades de la planicie abisal (Bouma, 1972, Brian et al., 1991) y que estos son eventos específicos por corrientes de turbidez y flujos de gravedad (Morse et al., 2007; Normak et al., 1993) que pueden afectar la distribución de la materia orgánica en el mar profundo (Aller, 1997), uno de estos aportes haya ocurrido en el área de la estación permanente y que la disminución posterior de la tasa C/N implique el efecto de dilución ocasionado por el aporte gradual de materia orgánica pelágica sobre la terrígena hasta el dominio de la primera.

Reconociendo a la fauna béntica como un reflejo de las concentraciones de la materia orgánica en el sedimento (Escobar-Briones y Soto, 1997), ésta presentó un comportamiento diferente de acuerdo al estudio de Rabiela-Alonso (2006) en el que se reconoció que la densidad de la macrofauna béntica en las mismas estaciones de la Planicie Abisal Sigsbee presentó variación entre los años 2003 a 2004 en el que observó un punto máximo en 2002 ( $3,819 \text{ ind m}^{-2}$ ), con un decremento hacia 2004 ( $1,305 \text{ ind m}^{-2}$ ). Esta disminución en la densidad de la macrofauna no concuerda con la disminución en las concentraciones de COT y N, pero si con la tasa C/N, es posible que el uso de la materia orgánica por parte de los organismos provocara proporciones C/N más altas en el año 2002, cuando la actividad béntica fue mayor. De acuerdo a Rabiela-Alonso (2006) esta variación en la densidad de la macrofauna es debida a la variabilidad estacional acentuada en los años Niño por efecto del aporte de materia orgánica (Escobar, 2003) y a los cambios temporales en el hundimiento de la materia orgánica hacia el fondo (Smith et al., 1998).

#### **9.9. Variación de la composición elemental en función de su sedimentación.**

En tres de los cuatro núcleos analizados la concentración de COT se relacionó de manera inversamente proporcional a la profundidad al interior del sedimento, todos estos con profundidades en la columna de agua mayores a los 3,300 m. De manera general se ha descrito que las concentraciones de COT disminuyen con la profundidad en el núcleo debido a la remineralización de carbono orgánico en sedimentos cuya agua de fondo se encuentra oxigenada y presenta bioturbación en los primeros centímetros del núcleo

(Wakeham, 2002; Canfield 1994). El proceso de degradación aeróbica se lleva a cabo por un gran número de organismos que incluyen bacterias, hongos y macro y microfauna, los que proveen la energía necesaria para llevar a cabo este proceso y que en muchos de los casos puede llegar a una metabolización completa de la materia orgánica produciendo agua, dióxido de carbono y biomasa (Canfield, 1994).

El nitrógeno contenido en los núcleos de sedimento presentó un comportamiento similar al del COT con un claro decremento de las concentraciones de N hacia el interior del sedimento en tres de los cuatro núcleos analizados, los mismos que el COT. Wakeham (2002) señala que éste es el comportamiento esperado para sedimentos cuya interfase sedimento-agua se encuentra bien oxigenada y que el decremento de N con la profundidad en el núcleo se debe a la remineralización que se lleva a cabo.

El núcleo de la estación E3, ubicado cerca del cañón del Mississippi sobre el Abanico del Mississippi, con una profundidad en la columna de agua menor (3,166 m) no presentó variación en las concentraciones COT y N con la profundidad en el sedimento. La cercanía a la fuente de sedimento es un factor de importancia en la distribución del COT con la profundidad en el núcleo, en general se muestran concentraciones uniformes cuando el aporte de material orgánico es continuo (Stevenson y Cheng, 1972). Grandel et al. (2000) relacionaron este comportamiento con la presencia de turbiditas. Las turbiditas son los sedimentos depositados por corrientes desde los márgenes continentales que incluso pueden llegar a las planicies abisales, en el Golfo de México han sido registradas en el Abanico del Mississippi que descienden a través del Cañón del Mississippi (Morse et al., 2007; Normak et al., 1993) donde esta estación se encuentra localizada.

La tasa C/N varió de manera directamente proporcional a la profundidad hacia el interior del sedimento en dos de los cuatro núcleos analizados. Se ha definido de manera general que la tasa C/N incrementa con la profundidad debido a que las especies que contienen nitrógeno son remineralizadas de manera preferencial a las del carbono (Wakeham, 2002).

Los núcleos que mantuvieron una tasa C/N constante con la profundidad fueron los de la estación E3 y de la estación E8, que es la más cercana a la Planicie

Abisal y con mayor profundidad (3,526 m). El comportamiento diferente en el núcleo de la estación E3 para COT, N y C/N y para C/N en la estación E8 se puede deber a que la composición química de la materia orgánica depositada en cada localidad fue diferente, como se ha sugerido, o bien a que la alteración de la materia orgánica luego de que ha sido depositada presenta variaciones en los procesos físicos o químicos que se llevan a cabo en cada localidad de acuerdo a Stevenson y Cheng (1972). Estos mismos autores señalaron diversos factores en la variabilidad entre núcleos que pueden ser: la granulometría de los núcleos, la actividad de los organismos que habitan el sedimento, las variaciones en la biomasa bentónica y las condiciones ambientales para la actividad bioquímica en el sedimento. La macrofauna puede tener diferentes efectos sobre la descomposición de la materia orgánica, Aller (1994) menciona que las principales actividades de la macrofauna que modifican la descomposición de la materia orgánica son: la manipulación de las partículas, la excreción y secreción de sustancias, la construcción de estructuras específicas, la irrigación, el transporte de partículas y sus hábitos alimenticios.

Los comportamientos distintos entre núcleos y con la variabilidad existente en las concentraciones de COT y N hacia el interior del sedimento destacan la importancia de la toma de muestra en la definición del grosor de la muestra de sedimentos superficiales, ya la composición varía aún en los primeros centímetros. Sin embargo, estas variaciones encontradas deben ser consideradas de manera cualitativa, ya que se desconocen las tasas de sedimentación de la materia orgánica para las localidades muestreadas, que permitirían una estimación específica sobre la consideración de que profundidad debe ser considerada como sedimento que ha sido depositado recientemente.

#### **9.10. Comparación de la composición elemental entre sedimentos del Golfo de México y de la localidad Chapopote.**

Las concentraciones de COT superiores en los sedimentos de la localidad Chapopote ubicada en la zona de montes de Campeche (McDonald et al., 2004) permiten reconocer la presencia de una mayor cantidad de carbono generado de la biomasa, petróleo u otros compuestos hidrocarbonados con

respecto a la planicie abisal común (Ardvison et al., 2004). Valores similares se han registrado en el Golfo de México en el Talud continental del sector Norte, entre 500 y 1,000 m de profundidad y que están ligados a infiltraciones frías (Canet et al., 2006; Ardvison et al., 2004). La materia orgánica en los sedimentos del volcán de asfalto tiene evidentemente un origen diferente a la de los sedimentos blandos comunes del Golfo de México ya que se presentan la infiltración de compuestos sulfurados y metano en un gradiente de distancia de la fuente principal y en ella se llevan a cabo procesos distintos como quimiosíntesis, infiltraciones de hidrocarburos, producción de carbonato autigénico, anoxia local, además de una comunidad biológica más extensa y diversa (Canet et al., 2006; MacDonald et al., 2004).

La concentración de N en los sedimentos blandos del Golfo de México es menor que en los sedimentos de la localidad Chapopote y a diferencia de los sedimentos blandos, en los de Chapopote el nitrógeno no mostró correlación con el COT ( $r^2 = 0.15$ ), esto indica un predominio de nitrógeno inorgánico (intercepto N = 0.19%). La tasa C/N en los sedimentos del volcán de asfalto es considerablemente mayor que los de los sedimentos blandos (50 vs 7) que evidencia claramente el contenido de hidrocarburos elevado en el sitio (Canet et al., 2006; McDonald et al., 2005). A diferencia de las infiltraciones frías al Norte del Golfo, que poseen también valores altos de COT (> 9.4%), los ratios C/N son considerablemente menores ( $\approx 6.1$ ) que los de los sedimentos circundantes (Paull et al., 1992).

Los sedimentos blandos abisales con aportes de materia orgánica de origen fotoautotrófica en el Golfo de México no presentaron contenido de Azufre en este estudio. En contraste los sedimentos de Chapopote registraron la concentración de S ( $S = 1.9\% \pm 1.9\%$ ,  $n=23$ ). La presencia de este elemento, junto con los altos niveles de COT sugieren tasas de sulforreducción elevadas (Ardvison et al., 2004) y actividad quimiosintética (MacDonald et al., 2004).

## **9.11. Comparación de la composición elemental entre sedimentos del Golfo de México y otras regiones.**

**9.11.1. Pacífico Oriental Mexicano.** Los sedimentos del Pacífico Oriental contienen las concentraciones de COT más elevadas que el Golfo de México, con concentraciones que van de 2% a 10%. Estos valores altos son el reflejo

de una productividad en el margen del Pacífico Oriental de  $100 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  y de una zona deficiente de oxígeno (Kristensen et al., 1999). Hartnett et al. (1998) encontraron valores similares de COT entre 3% y 13% asociados también a la zona de oxígeno mínimo del Pacífico Mexicano.

Los registros de concentración de N fueron más altos en el Pacífico Oriental pero la tasa C/N fue muy similar para los sedimentos del Golfo de México y para el Pacífico Oriental, con una proporción atómica  $C/N_a$  entre 9.2 y 9.6. Sin embargo, los valores máximos para el Golfo de México son claramente mayores ( $C/N_a > 15$ ) que las localidades del Pacífico ( $C/N_a = 10.1$ ), lo que indica el origen predominantemente pelágico de la materia orgánica en el Pacífico (Kristensen et al., 1999), contra los influjos altos de material de origen terrígeno en el Golfo de México.

Los sedimentos del Pacífico Oriental contienen alrededor del 0.3% de azufre, signo de la ausencia de oxígeno, donde el azufre se vuelve el aceptor de electrones para la degradación de la materia orgánica (Zophie et al., 2004).

Esta comparación en la composición elemental evidencia las diferencias entre un margen activo, con bajo contenido de carbonatos en sus sedimentos y con una zona mínima de oxígeno que promueve la preservación de la materia orgánica (Carranza-Edwards, 2005; Harnet et al., 1998).

**9.11.2. Inmediación del cadáver de una ballena.** Los sedimentos recolectados en la inmediación del cadáver de una ballena poseen concentraciones mayores de COT que los sedimentos del Golfo de México, lo que refleja la exportación masiva de materia orgánica al fondo con sedimentos ricos en una fracción lipídica y que se caracterizan por poseer comunidades biológicas más densas con características de quimioautotróficas que se ven influenciadas por los pulsos intensos de enriquecimiento de material orgánico (Escobar-Briones y Cruz, 2004; Smith et al., 1998).

Además de la concentración de COT alta, estos sedimentos de la campaña ALVIN tienen concentraciones de N claramente mayores que las del Golfo de México. Las concentraciones de COT y N están correlacionadas ( $r^2 = 0.93$ ) indicando que el N presente en el sedimento es de tipo orgánico, el intercepto cercano a cero indica la ausencia de nitrógeno de tipo inorgánico puesto que la

materia orgánica proviene del cadáver de ballena (Hedges et al., 1988). Las relaciones C/N fueron muy similares para los sedimentos del Golfo de México y para las muestras alrededor del cadáver de ballena, sin embargo presentan un intervalo más cerrado para estos últimos (de C/N<sub>a</sub> entre 8.66 y 10.12), reflejando el enriquecimiento orgánico en los sedimentos por parte de los tejidos blandos de la ballena y por los lípidos asociados (Smith et al., 1998).

Los sedimentos alrededor del cadáver de ballena presentaron una concentración media de S= 0.256% frente a la ausencia de S en los sedimentos del Golfo de México. Este contenido de azufre está relacionado con la oxidación anaeróbica del tejido y la presencia de bacterias quimioautotróficas (Smith et al., 1998).

Estos resultados permiten reconocer que la composición elemental del sedimento en los sitios donde ha ocurrido un exporte masivo de materia orgánica es mayor a los Golfo de México, que depende del descenso de materia orgánica biogénica desde la superficie (Ardvison et al, 2004).

## 10. CONCLUSIONES

Se obtuvieron las concentraciones de COT y N para 115 localidades del Golfo de México con un intervalo de profundidad entre 1,025 m y 3,795 m. El método empleado fue análisis elemental previa separación de la fracción inorgánica por acidulación, con una exactitud del 97% y una precisión con un recobro similar al 100%.

La concentración de COT presentó una media de  $COT = 0.9\% \pm 0.3\%$ , valores típicos para mar profundo y presentó una correlación directa con el Nitrógeno, lo que permitió reconocer que el N en los sedimentos es predominantemente de tipo orgánico. A su vez, la proporción atómica  $C/N_a = 9.3 \pm 2.0$  evidenció una mezcla de materia orgánica de procedencia pelágica con material orgánico de procedencia terrígena en el Golfo de México.

El COT y el N siguen una distribución polinomial (parabólico) con respecto a la profundidad de la columna de agua con máximos en la zona somera y en la parte profunda sugiriendo una dilución de la materia orgánica por la fracción inorgánica terrígena. Por su parte, la proporción C/N no presenta variación significativa con la profundidad, permitiendo reconocer un origen similar de la materia orgánica en la cuenca.

Las diferencias por zonas batimétricas sólo se encontraron en las concentraciones de COT, teniendo la Elevación continental y la Planicie Abisal valores más altos que el Talud continental. A su vez, las concentraciones de COT y de N no presentaron variación con la distancia a la costa, pero presentaron un incremento en la tasa C/N que indica la dilución de la materia orgánica pelágica por material terrígeno conforme aumenta la distancia al continente.

En cuanto a la distribución espacial, las diferencias entre zonas fisiográficas permitieron reconocer distribuciones específicas en las concentraciones de C y N. La zona profunda del Golfo de México sólo presentó variabilidad entre las regiones Norte y Sur, con dominio de material terrígeno proveniente del Mississippi y pelágico en mayor proporción para la Bahía de Campeche.

Respecto a la variabilidad temporal, las concentraciones de COT y N no mostraron una variación en el periodo de cuatro años analizado, la tasa C/N disminuyó entre los años 2002 y 2005 únicamente.

El análisis de la variación de COT, N y C/N hacia el interior del sedimento permitió resaltar la importancia de la toma de muestra de sedimentos superficiales (1 a 5 cm), con resultados cualitativos que deberán validarse posteriormente con análisis cuantitativos a partir de las tasas de sedimentación de las diferentes localidades.

Se reconoció la composición elemental de los sedimentos de la localidad Chapopote con los valores extremos altos para localidades abisales del SW del Golfo de México. Otras cuencas presentaron diferencias en la composición elemental de los sedimentos con respecto al Golfo de México, reconociendo una similitud con sitios con aportes fotoautotróficos en condiciones oligotróficas de mar profundo y diferencias con sitios zonas de aportes elevados de materia orgánica como son las zonas de oxígeno mínimo y aquellas con exportación masiva de carbono.

#### **10.1. Perspectivas del presente trabajo.**

Con la finalidad de enriquecer los resultados de la presente investigación se propone realizar estudios de isotopía estable de carbono a las muestras de sedimento, que permitan un mejor reconocimiento del origen de la materia orgánica.

Para reconocer la influencia de la tasa de sedimentación sobre la distribución de la materia orgánica se sugiere llevar a cabo un estudio de distribución elemental en función de la sedimentación en estaciones muestreadas con trampas de sedimento.

Se sugiere también realizar muestreos en la parte profunda del norte del Golfo de México que permitan una integración entre lo conocido para el talud del Norte del Golfo de México con los resultados de este estudio.



## REFERENCIAS

Formato seguido *Deep-Sea Research*

- Aller, R.C., 1994. Bioturbation and remineralization of sedimentary organic matter: effects of redox oscillation. *Chemical Geology* 114, 331-345.
- Aller, J.Y., 1997. Benthic community response to temporal and spatial gradients in physical disturbance within a deep-sea western boundary region. *Deep-Sea Research* 44, 39 – 69.
- Arthur, M.A., Dear, W., Laarkamp, K. Organic carbon accumulation and preservation in surface sediments on the Peru margin. *Chemical Geology* 152, 273 – 286.
- Arvidson, R., Morse, J., 2004. The sulfur biogeochemistry of chemosynthetic cold seep communities, Gulf of Mexico. *Marine Chemistry* 87, 97-119
- Balsam, W., Beeson, J., 2003. Sea-floor sediment distribution in the Gulf of Mexico. *Deep-sea Research Part I* 50, 1421-1444
- Berger, W.H., 1974. Deep-sea sedimentation. En: Burk, C.A. y Drake, C.L. (eds). *The geology of continental margins*. Springer Verlag, Berlin, N.Y., pp 213-241.
- Biggs D., Müller-Karger F., 1994. Ship and satellite observations of chlorophyll stocks in interacting cyclone-anticyclone eddy pairs in the western Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research* 99, 7371-7384.
- Bisutti, I., Hilke, I., Raessler, M., 2004. Determination of total organic carbon – an overview of current methods, *Trends of Analytical Chemistry*, 23, 716-726
- Bordovskiy O.K., 1965a. Accumulation and transformation of organic substances in marine sediment. *Marine Geology* 3, 33-82.
- Bordovskiy O.K., 1965b. Transformation of organic matter in bottom sediments and its early diagenesis. *Marine Geology* 3, 83-114.
- Bouma, A.H., 1972. Distribution of sediments and sedimentary structures in the Gulf of Mexico. En: Rezak, R., Henry, V.J. (eds). *Contribution on geological and geophysical oceanography of the Gulf of Mexico*. Texas A&M University Oceanography Studies 3, 35 – 62.
- Bryant WB., Lugo J., Córdova C., Salvador, A., 1991. Physiography and bathymetry. En: Salvador A. *The Gulf of Mexico Basin*. The Geological Society of America, 13-30.

- Canet C., Prol-Ledesma, R.M., Escobar-Briones, E., Mortera-Gutiérrez, C., Lozano-Santa Cruz, R., Linares, C., Cienfuegos, E., Morales-Puente, P., 2006. Mineralogical and geochemical characterization of the hydrocarbon seep sediments from the Gulf of Mexico. *Marine and Petroleum Geology* 23, 605 – 619.
- Canfield D.E., 1994. Factors influencing organic carbon preservation in marine sediments. *Chemical Geology* 114, 315-329.
- Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L., Monreal-Gómez, A., 1993. Suspended sediments in the southeastern Gulf of Mexico. *Marine Geology* 112, 257 – 269.
- Carranza-Edwards, A., Rosales-Hoz, L., Urrutia-Fucugauchi, J., Sandoval-Fortanel, A., Morales de la Garza, E., Santa Cruz, R., 2005. Geochemical distribution pattern of sediments in an active continental shelf in Southern Mexico. *Continental Shelf Research* 25, 521 – 537.
- Chang, C.W., You, C.F., Huang, C.Y., Lee, T.Q., 2005. Rapid determination of chemical and physical properties in marine sediments using a near-infrared reflectance spectroscopic technique. *Applied Geochemistry* 20, 1637-1647.
- Chow, C.C., Lam H., Lee Y.C., Zhang X., 2004. Analytical Method Validation and instrument performance verification. Wiley-Interscience. Canada. 303 pp.
- Chester, R., 2000. *Marine Geochemistry*. Blackwell Science, Londres, pp. 341-441.
- Coleman J.M., Roberts H.H., Bryant W., 1991. Late Quaternary Sedimentation. En: Salvador A. *The Gulf of Mexico Basin*. The Geological Society of America, 13-30.
- Cosson, N., Sibuet, M., Galeron, J., 1997. Community structure and spatial heterogeneity of the deep-sea macrofauna at three contrasting stations in the tropical northeast Atlantic. *Deep-Sea Research* 44, 247 – 269.
- Cranston, R.E., 1997. Organic carbon burial rates across the Arctic Ocean from the 1994 Arctic Ocean Section expedition. *Deep-Sea Research II* 44, 1705 – 1723.
- Cwienk, D.S., 1986. Recent and Glacial age organic carbon and biogenic silica

- accumulation in marine sediments. Tesis de maestría en Oceanografía. Universidad de Rhode Island, 237pp.
- Deming, J.W., Baross J.A. 1993. The Early Diagenesis of Organic Matter: Bacterial Activity. En: Engel M.H., Macko S.A. (eds). Organic Geochemistry – principles and applications. Plenum Press, New York, 119-144.
- Denton, E.J., 1990. Light and vision at depths greater than 200 meters. En: Herring, P.J., Campbell A.K., Whitfield, M. and Maddock, L. Light and life in the sea. Cambridge University Press. 127-148.
- Douglas, R., Gonzalez-Yajimovich, O., Ledesma-Vazquez, J., Staines-Urias, F., 2007. Climate forcing, primary production and the distribution of Holocene biogenic sediments in the Gulf of California. Quaternary Science Reviews 26, 115 – 129.
- Edwards, K.J., 2004. Formation and degradation of seafloor hydrothermal sulfide deposits. En: Amend J.P., Edwards K.J., Lyons T.W. (eds). Sulfur Biogeochemistry. The Geological Society of America 379, 81 - 96.
- Einsele, G., 2000. Sedimentary Basins. Evolution, facies and sediment budget. Springer, 2da ed., New York, pp. 182-239
- Emelyanov, E.M., 2005. The barrier Zones in the Ocean. Springer. 636pp.
- Emerson, S., Fischer, K., Reimers, C., Heggie, D., 1985. Deep-Sea Research 32, 1 – 21.
- Epping, E., Zee, C., Soetaert, K., Helder, W., 2002. On the oxidations and burial of organic carbon in sediments of the Iberian margin and Mazaré Canyon (NE Atlantic). Progress in oceanography 52, 399 – 431.
- Escobar-Briones, E.G., Soto, L.A., 1997. Continental shelf benthic biomass in the western Gulf of Mexico. Continental Shelf Research 17, 585 – 604.
- Escobar, E., 2003. The effect of the 1997 – 1998 ENSO on the benthic macrofaunal biomass in the southern Gulf of Mexico. Geofísica internacional 42, 517 – 522.
- Escobar-Briones E., Tamez S., 2004. El papel de la Exportación de carbono biogénico sobre los patrones de distribución de crustáceos meiofaunales batiales: cuenca de Santa Cruz y depresión de San Diego. En: Hendrickx, M.E. (ed). Contribuciones al estudio de crustáceos del

- Pacífico Este. UNAM, ICMyl. 99-116.
- Etchever H., Relexans, J.C., Beliard, M., Weber, O., Buscaly, R., Heussner, S., 1999. Distribution and quality of sedimentary organic matter on the Aquitanian Margin (Bay of Biscay). *Deep-Sea Research II* 46, 2249 – 2288.
- Froelich, P.N., 1980. Analysis of organic carbon in marine sediments. *Limnology and Oceanography* 25, 564-572.
- Fütterer, D.K., 2000. The solid phase of marine sediments. En: Schulz, H.D., Zabel, M. (eds), *Marine Geochemistry*. Springer, Berlin, pp. 1-26.
- Gage, J.D. y Tyler, P.A., 1991. *Deep-Sea Biology. A natural history of organism at the deep-sea floor*. Cambridge University Press, Great Britain, pp. 9-29.
- García-Villalobos, F.J. y Escobar-Briones, E., 2007. Distribución espacial de carbono orgánico total en el sedimento superficial de la Planicie Abisal del Golfo de México. En: Gaxiola, C.G. y Hernández B. Carbono en ecosistemas acuáticos de México. Instituto Nacional de Ecología, *En prensa*.
- González-Ocampo M., 2005. Composición y caracterización isotópica  $\delta^{13}\text{C}$  de partículas de carbono orgánico en estratos batimétricos de aguas oceánicas del suroeste del Golfo de México, Tesis de Maestría. UNAM. 76p.
- Goñi, M.A., Ruttenger, K.C., Eglinton, T.I., 1997. Sources and contribution of terrigenous organic carbon to surface sediments in the Gulf of Mexico. *Nature* 389, 275 – 278.
- Goñi, M.A., Ruttenger, K.C., Eglinton, T.I., 1998. A reassessment of the sources and importance of land derived organic matter in surface sediments from the Gulf of Mexico. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 62, 3055 – 3075.
- Grandel, S., Rickert, D., Schlüter, M., Wallmann, K., 2000. Pore-water distribution and quantification of diffusive benthic fluxes of silic acid, nitrate and phosphate in surface sediments of the deep Arabian Sea. *Deep-Sea Research II* 47, 2707 – 2734.
- Griffin, J., Windom, H., Goldberg, E., 1968. The distribution of clay minerals in

- te world ocean. *Deep-Sea Research and Oceanographic Abstracts* 15, 433-459.
- Gordon, E.S., Goñi, M.A., 2004. Controls on the distribution and accumulation of terrigenous organic matter in sediments from the Mississippi and Atchafalaya river margin. *Marine Chemistry* 92, 331 – 352.
- Hartnett, H.E., Keil, R.G., Hedges, J.I., Devol, A.H., 1998. Influence of oxygen exposure time on organic carbon preservation in continental margin sediments. *Nature* 391, 572 – 574.
- Heat, G.R., Moore, T.C. y Dauphin, J.P., 1977. Organic Carbon in deep-sea sediments. En Anderson N.R. y Malahoff, A. (Eds), *The fate of fossil fuel CO<sub>2</sub> in the Oceans*. New York: Plenum, pp 605-625.
- Hedges, J.I., Clark, W.A., Cowie, G.L., 1988. Organic matter sources to the water column and surficial sediments of marine bay. *Limnology and Oceanography* 33, 1116-1136.
- Hedges, J.I., Keil, R.G., 1995. Sedimentary organic matter preservation: an assessment and speculative synthesis. *Marine Chemistry* 49, 81-115.
- Hernández, H.A., Attrill, M.J., Hartley, R., Gold, G., 2005. Transitional carbonate-terrigenous shelf sub-environments inferred from textural characteristics of surficial sediments in the Southern Gulf of Mexico. *Continental Shelf Research* 25, 1836 – 1852.
- Honjo, S., Manganini, S.J., Cole, J.J., 1982. Sedimentation of biogenic matter in the deep ocean. *Deep-Sea Research* 29, 609 – 625.
- Jahnke, R.A., 1996. The global ocean flux of particulate organic carbon: areal distribution and magnitude. *Global Biogeochemical Cycles* 10, 71–88.
- Jorgesen B.B. y Nelson D.C., 2004. Sulfide oxidation in marine sediments: geochemistry meets microbiology. En: Amend J.P., Edwards K.J., Lyons T.W. (eds). *Sulfur Biogeochemistry*. The Geological Society of America 379, 63 – 81.
- Kantha L., 2005. Barotropic Tidea in the Gulf of Mexico. En: Sturges W., Lugo-Fernandez A. (eds). *Circulation in the Gulf of Mexico: observations and models*. American Geophysical Union, 1-10.
- Kristensen, E., Devol, A.H., Hartnett, H.E., 1999. Organic matter diagenesis in sediments on the continental shelf and slope of the Eastern Tropical and

- temperate North Pacific. *Continental Shelf Research* 19, 1331 – 1351.
- King, P., Kennedy, H., Newton, P.P., Jickells T., 1998. Analysis of total and organic carbon and total nitrogen in settling ocean particles and a marine sediment: an interlaboratory comparison. *Marine Chemistry* 60, 203-216.
- De la Lanza Espino, G., Soto, L.A., 1999. Sedimentary geochemistry of hidrothermal vents in Guaymas Basin, Gulf of California, Mexico. *Applied Geochemistry* 14, 499 – 510.
- Lee, C., 1994. Controls on carbon preservation – New perspectives. *Chemical Geology* 114, 285-288.
- Lohrenz, S.E., Fahnenstiel, G.L., Redalje D.G., 1994. Spatial and temporal variations in photosynthesis parameters in relation to environmental condition in coastal waters oh the northern Gulf of Mexico. *Estuaries* 17, 779-795
- Lohrenz SE, Wisenbug DA, Arnone RA, Chen X., 1999. What controls Primary Production in the Gulf of Mexico? En: Kumpf H, Steidinger K, Sherman K. *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem*. Blackwell Science. Pp: 151-170.
- Longhurst, A., Sathyendranath, S., Platt, T., Caverhill, C.M., 1995. An estimate of global primary production in the ocean from satellite radiometer data. *Journal of Plankton Research* 17, 1245–1271.
- MacDonald, I.R., Bohrmann, G., Escobar, E., Abegg, F., Blanchon, P., Blinova, V., Brückman, W., Drews, M., Eisenhauer, A., Han, X., Heeschen, K., Meir, F., Mortera, C., Naehr, T., Orcutt, B., Bernard, B., Brooks, J., de Frago, M., 2004. Asphalt volcanism and chemosynthetic life in the Campeche Knolls, Gulf of Mexico. *Science* 304, 999 – 1002.
- MacKee, B.A., Aller, R.C., Allison, T.S., 2004. Transport and transformation of dissolved and particulate materials on continental margins influenced by major rivers: benthic boundary layer and seabed processes. *Continental Shelf Research* 24, 899 – 926.
- Mari, X., Beauvais, S., Lemée, R., Pedroti, M.L., 2001. Non-Redfield C:N Ratios of transparent exopolymeric particles in the northwestern Mediterranean Sea. *Limnology and Oceanography* 46, 1831 – 1836.
- Masqué, P., Isla, E., Sanchez-Cabeza, J.A., Palanques, A., Bruach, J.M., Puig,

- P., Guillen, J., 2002. Sediment accumulation rates and carbon fluxes to bottom sediments at the Wester Bransfield Strait (Antartica). *Deep-Sea Research II* 49, 921 – 933.
- Mayer, L., 1993. Organic Matter at the Sediment-Water Interface. En: Engel M.H., Macko S.A. (eds). *Organic Geochemistry – principles and applications*. Plenum Press, New York, 119-144.
- Mayer, L., 1994a. Relationships between mineral surfaces and organic carbon concentrations in soils and sediments. *Chemical Geology* 114, 347-363.
- Mayer, L., 1994b. Surface area of organic carbon accumulation in continental shelf sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 58, 1271-1284.
- Mayer, L., 1995. Sedimentary organic matter preservation: an assessment and speculative synthesis – a comment. *Marine Chemistry* 49, 123-126.
- Meyers, P.A., 1994. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chemical Geology* 114, 289-302.
- Mo, T., Suttle, A.D., Sackett, W.M. 1973. *Geochimica et cosmochimica Acta* 37, 35 – 51.
- Mollenhauer, G., Schneider, R.R, Müller, P.J., 2002. Glacial/interglacial variability in the Benguela upwelling system: spatial distribution and budgets of organic carbon accumulation. *Global Biogeochemical Cycles* 16, 1134.
- Monreal, M.A. y Salas, D.A., 1997. Circulación y estructura termohalina del Golfo de México. En: Lavin, M.F. (ed). *Contribuciones a la oceanografía física de México. Monografía 3. Unión Geofísica Mexicana*, 183 – 199.
- Morse, J.W. y Beazley, M.J., 2007. Organic matter in deep water sediments of the Northern Gulf of Mexico and its relationship to the distribution of benthic organisms. *Dees Sea Research. En prensa*.
- Müles P.J. y Suess, E, 1977. Interaction of organic compounds whit calcium carbonate – III. Amino aci composition of sorbed layers. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 41, 941 – 949.
- Müler, P.J. y Sues, E., 1979. Productivity, sedimentation rate and sedimentary organic matter in the oceans – I. Organic carbon preservation. *Deep-Sea Research* 26A, 1347 – 1362.
- Normak, W.R., Posamentier, H., Mutti, E., 1993. Turbidie systems: state of the

- art and future directions. *Reviews of Geophysics* 31, 91 – 116.
- Paull, C.K., Chanton, J.P., Neumann, A.C., Coston, J.A., Martens, C.S., 1992. Indicators of methane-derived carbonates and chemosynthetic organic carbon deposits: examples from the Florida Escarpment. *PALAIOS* 7, 361 – 375.
- Pequegnat W.E., 1970. Deep-water Brachuran Crabs. En: Pequegnat W.E. y Chase F.A. *Contributions on the biology of the Gulf of Mexico*. TAMU. Gulf Publishing, Texas. 171-204
- Pequegnat W.E., James B.M., Bouma A.H., Bryant W.R., Fredericks A.D., 1972. Photographic study of Deep-Sea environments of the Gulf of Mexico. En: Rezak R., Henry V.J. *Contributions on the geological and geophysical oceanography of the Gulf of Mexico*. TAMU. Gulf Publishing, Texas. 67 – 128.
- Rabiela-Alonso, D., 2006. Variación espacio – temporal de la densidad de la macrofauna béntica de la Planicie Abisal en el Golfo de México. Tesis de Licenciatura. UNAM, 52 p.
- Rogers, A.D., 2000. The role of the oceanic oxygen minima in generating biodiversity in the deep sea. *Deep-Sea Research II*, 47, 119-148.
- Roberts H., Mc Bride R., Coleman J., 1999. Outer Shelf and Slope Geology of the Gulf of Mexico: An Overview. En: Kumpf H, Steidinger K, Sherman K. *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem*. Blackwell Science. Pp: 151-170.
- Rosales-Hoz, L., Cundy, A.B., Bahena-Manjarrez, J.L. Heavy metals in sediment cores from a tropical estuary affected by anthropogenic discharges: Coatzacoalcos estuary, Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 58, 117 – 126.
- Ryba S.A., Burgess, R.M., 2002. Effects of sample preparation on the measurement of organic carbon, hydrogen, nitrogen, sulfur and oxygen concentrations in marine sediments. *Chemosphere* 48, 139 – 147.
- Salas, D.A. y Monreal, M.A., 1997. Mareas y circulación residual en el Golfo de México. En: Lavin, M.F. (ed). *Contribuciones a la oceanografía física de México*. Monografía 3. Unión Geofísica Mexicana, 201 – 223.
- Salas de León, D.A., Monreal-Gómez, M.A., 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. *Journal of Geophysical Research*, 109(C0,5012), doi :10.1029/2002JC001614.

- Seiter, K., Hensen, C., Schröter J., Zabel, M., 2004. Organic carbon in surface sediments –defining regional provinces. *Deep-sea Research Part I* 51, 2001 – 2026
- Schulz, H.D., Zabel, M., 2000. *Marine Geochemistry*. Springer, Berlin, pp. 1-26.
- Shiler AM. 1999, An Overview of the Marine Chemistry of the Gulf of Mexico. En: Kumpf H, Steidinger K, Sherman K. *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem*. Blackwell Science. Pp: 151 – 170.
- Signoret, M., Monreal-Gómez, M.A., Aldeco, J., Salas de Leon, D.A., 2006. Hydrography, oxygen saturation, suspended particulate matter and chlorophyll-a fluorescence in an oceanic region under freshwater influence. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 69, 153 – 164.
- Smith, K.L., Druffel, E.R., 1998. Long time – series monitoring of an abyssal site in the NE Pacific: an introduction. *Deep-Sea Research II* 45, 573 – 586.
- Stein, R., 1990. Organic carbon content/sedimentation rate relationship and its Paleoenvironmental significance for marine sediments. *Geo-Marine Letters* 10, 37 – 44.
- Stein, R., 1991. *Accumulation of organic carbon in marine sediments*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, Berlin, pp. 1-7
- Stevenson, F.J. y Cheng, C.N., 1972. Organic geochemistry of the Argentine Basin sediments: carbon-nitrogen relationships and Quaternary correlations. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 36, 653 – 671.
- Sturges W., Lugo-Fernandez A., Shargel M.D., 2005. Introduction to circulation in the Gulf of Mexico. En: Sturges W., Lugo-Fernandez A. (eds). *Circulation in the Gulf of Mexico: observations and models*. American Geophysical Union, 1-10.
- Suess, E., 1970. Interaction of organic compounds with calcium carbonate – I. Association phenomena and geochemical implications. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 34, 157 – 168.
- Suess, E., 1973. Interaction of organic compounds with calcium carbonate – II.

- Organo-carbonate association in recent sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 37, 2235 – 2447.
- Suess, E., 1980. Particulate organic carbon flux in the oceans – surface productivity and oxygen utilization. *Nature* 288, 260-263
- Suthhof, A., Jennerjahn, T.C., Schäfer, P., Ittekkot, V., 2000. Nature of organic matter in surface sediments from the Pakistan continental margin and the deep Arabian Sea: amino acids. *Deep-Sea Research II* 47, 319 – 351.
- Sverdrup, H.U., Johnson, M.J., Fleming, R.H., 1970. *The Oceans: Their physics, chemistry and general biology*. Prentice Hall, 1087 p.
- Tahley, T.M., Duineveld, G.C.A., Berghuis, E.M., Helder, W., 1994. Relation between sediment-water fluxes of oxygen and silicate and faunal abundance at continental shelf, slope and deep-water stations in the northwest Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series* 104, 119 – 130.
- Vetrov, A.A., Romankevitch, E.A. 1997. New charts of distributions of organic carbon and coefficients of its fossilization in the bottom sediments of the ocean. *Ocenology* 37, 769-775.
- Vetrov, A.A., Romankevitch, E.A., Benenson, M.A. 1997. Computer compilation of organic carbon distribution maps or bottom sediments. *Ocenology* 37, 651-656
- Visco G., Campanella L., Nobili V., 2005. Organic carbons and TOC in eaters: an overview of the international norms for its measurements. *Microchemical Journal* 79, 185 - 191.
- Wakeham S., 2002. Diagenesis of Organic Matter at the Water Interface. En: Gianguzza, A., Pelizzeti, E., Sammartano, S. (Eds.) *Chemistry of Marine Water and Sediments*. Springer, New York, 145-164
- Weston, N.B. y Joye, S.B., 2005. Temperature-driven decoupling of key phases of organic matter degradation in marine sediments. *PNAS* 102, 17036 – 17040.
- Wiseman WJ, Sturges W., 1999. Physical Oceanography of the Gulf of Mexico: Processes that Regulate its Biology. En: Kumpf H, Steidinger K, Sherman K. *The Gulf of Mexico Large Marine Ecosystem*. Blackwell Science. pp: 77-91.

- Wollast, R., 1998. Evaluation and comparison of the global carbon cycle in the coastal zone and in the open ocean. En: Brink, K.H., Robinson, A.R. (Eds.), *The Sea*. University of Brussels, pp. 213–252.
- Zabel, M., Dahmke, A., Schulz, H.D., 1998. Regional distribution of diffusive phosphate and silicate fluxes through the sediment–water interface: the eastern South Atlantic. *Deep-Sea Research I* 45, 277–300.
- Zopfi, J., Ferdelman, T.G., Fossing, H., 2004. Distribution and fate of sulfur intermediates –sulfite, tetrathionate, thiosulfate, and elemental sulfur- in marine sediments. En: Amend J.P., Edwards K.J., Lyons T.W. (eds). *Sulfur Biogeochemistry*. The Geological Society of America 379, 97 – 116.

## ANEXO 1. Pruebas estadísticas empleadas en esta investigación.

Nombre de la Prueba	Utilidad	Hipótesis nula	Hipótesis alternativa	Estadígrafo de prueba	Criterio de rechazo
t de student	Comparar la media de una muestra con un valor determinado.	La media de la muestra es igual al valor determinado.	La media de la muestra es estadísticamente diferente al valor considerado.	T	$ t  > t_{1-\alpha/2, n-1}$
Prueba ANOVA F	Comprobar la correlación lineal entre dos variables	Una de las variables (y) es dependiente de la otra (x)	No existe dependencia entre las variables	F	$F > F_{1-\alpha, N-1, n-2}$
ANOVA Kruskal-Wallis	Determinar diferencias entre las varianzas de dos ó más muestras independientes	Las diferencias entre las muestras no son significativas	Las diferencias entre las poblaciones son significativas	H	$H > \chi^2$ $p < 0.10$
U de Mann Whitney	Determinar diferencias entre las medias de dos muestras independientes	Las diferencias entre las muestras no son significativas	Las diferencias entre las poblaciones son significativas	Z	$Z \geq Z_{adj}$ $p < 0.10$
Wald Wolfowitz	Determinar si las fluctuaciones en un sistema de variación espacio temporal son significativas	Las fluctuaciones en el sistema no son significativas	Las fluctuaciones en el sistema son significativas	Z	$Z \geq Z_{adj}$ $p < 0.10$

## ANEXO 2. Pruebas estadísticas U Mann-Whitney para la comparación entre regiones fisiográficas

Matriz de Comparación individual por regiones fisiográficas para la concentración de COT. Estadígrafo Z y nivel de confianza p. Marcados las diferencias significativas al 95% ( $p < 0.05$ ). \* Diferencias significativas al 90% ( $p < 0.10$ ).

Regiones Fisiográficas	Talud de México	Boca de Veracruz	Talud y Colinas de Campeche	Cañón de Campeche	Escarpe de Campeche	Elevación Continental	Abanico del Mississippi
Boca de Veracruz	Z (-1.58)= -1.59 p=0.11						
Talud y Colinas de Campeche	<b>Z (-2.04)= 2.04 p=0.04</b>	Z (0.70)= 0.70 p=0.48					
Cañón de Campeche	Z (-0.79)= -0.79 p=0.42	Z (1.01)= 1.01 p=0.31	Z (0.38)= 0.38 p=0.69				
Escarpe de Campeche	Z (0.10)= 0.10 p=0.91	Z (0.57)= 0.57 p=0.56	Z (0.19)= 0.19 p=0.84	Z (0.64)= 0.64 p=0.51			
Elevación Continental	<b>Z (-2.18)= 2.18 p=0.03</b>	ND	Z (-1.04)= 1.04 p=0.29	Z (-0.72)= -0.72 p=0.46	Z (-0.36)= -0.36 p=0.7		
Abanico del Mississippi	Z (-1.78)= 1.78 p=0.07*	Z (1.01)= 1.01 p=0.31	Z (0.42)= 0.42 p=0.67	Z (-0.45)= -0.45 p=0.65	Z (-0.42)= -0.42 p=0.66	Z (0.92)= 0.92 p=0.35	
Planicie Abisal Sigsbee	<b>Z (-2.57)= -2.57 p=0.01</b>	Z (0.28)= 0.18 p=0.77	Z (-1.23)= -1.23 p=0.21	Z (-0.87)= 0.87 p=0.37	Z (-0.83)= -0.83 p=0.40	Z (-0.24)= -0.24 p=0.80	Z (-0.82)= -0.82 p=0.41

Matriz de Comparación individual por regiones fisiográficas para la concentración de N. Estadígrafo Z y nivel de confianza p. Marcados las diferencias significativas al 95% ( $p < 0.05$ ). \* Diferencias significativas al 90% ( $p < 0.10$ ).

Regiones Fisiográficas	Talud de México	Boca de Veracruz	Talud y Colinas de Campeche	Cañón de Campeche	Escarpe de Campeche	Elevación Continental	Abanico del Mississippi
Boca de Veracruz	<b>Z (-2.34)= -2.34 p=0.02</b>						
Talud y Colinas de Campeche	Z (-1.68)= 1.68 p=0.09*	Z (1.71)= 1.71 p=0.08*					
Cañón de Campeche	Z (-0.28)= -0.28 p=0.77	Z (1.69)= 1.69 p=0.09*	Z (0.84)= 0.84 p=0.39				
Escarpe de Campeche	Z (-0.05)= -0.05 p=0.95	Z (1.18)= 1.15 p=0.24	Z (0.50)= 0.49 p=0.62	Z (0.32)= 0.32 p=0.64			
Elevación Continental	Z (-1.78)= -1.78 p=0.07*	Z (1.59)= 1.58 p=0.11	Z (-0.18)= 0.18 p=0.85	Z (-0.13)= -0.13 p=0.89	Z (-0.18)= -0.18 p=0.8		
Abanico del Mississippi	Z (-1.18)= -1.79 p=0.23	Z (1.69)= 1.69 p=0.09*	Z (0.10)= 0.10 p=0.91	Z (-0.30)= -0.30 p=0.8	Z (0)= 0 p= 1	Z (0.26)= 0.26 p=0.79	
Planicie Abisal Sigsbee	<b>Z (-2.58)= -2.58 p=0.01</b>	Z (1.69)= 1.69 p=0.09*	Z (-0.49)= -0.49 p=0.62	Z (-1.01)= -1.01 p=0.31	Z (-0.48)= -0.48 p=0.62	Z (-0.82)= -0.82 p=0.40	Z (-1.20)= -1.20 p=0.22

Matriz de Comparación individual por regiones fisiográficas para la tasa C/N. Estadígrafo Z y nivel de confianza p. Marcados las diferencias significativas al 95% ( $p < 0.05$ ). \* Diferencias significativas al 90% ( $p < 0.10$ ).

Regiones Fisiográficas	Talud de México	Boca de Veracruz	Talud y Colinas de Campeche	Cañón de Campeche	Escarpe de Campeche	Elevación Continental	Abanico del Mississippi
<b>Boca de Veracruz</b>	Z (1.67)= 1.67 p=0.09*						
<b>Talud y Colinas de Campeche</b>	Z (1.03)= 1.68 p=0.30	Z (-1.16)= -1.16 p=0.24					
<b>Cañón de Campeche</b>	Z (-0.04)= -0.04 p=0.96	Z (-1.85)= - 1.85 p=0.06*	Z (-0.77)= -0.77 p=0.43				
<b>Escarpe de Campeche</b>	Z (0.94)= 0.94 p=0.37	Z (-0.57)= -0.57 p=0.56	Z (0.39)= 0.39 p=0.69	Z (1.28)= 1.28 p=0.19			
<b>Elevación Continental</b>	Z (-1.13)= -1.13 p=0.25	<b>Z (-2.02)= -2.02 p=0.04</b>	Z (-1.7)= -1.7 p=0.08*	Z (-0.85)= -0.85 p=0.39	Z (-1.46)= -1.46 p=0.14		
<b>Abanico del Mississippi</b>	Z (-0.12)= -0.12 p=0.90	Z (-1.52)= -1.52 p=0.13	Z (-0.12)= -0.12 p=0.26	Z (-0.07)= -0.07 p=0.93	Z (-0.85)= -0.85 p=0.39	Z (0.52)= 0.52 p=0.59	
<b>Planicie Abisal Sigsbee</b>	Z (0.20)= 0.20 p=0.83	Z (-1.13)= -1.13 p=0.25	Z (-0.16)= -0.16 p=0.9	Z (0.80)= 0.80 p=0.42	Z (-0.91)= -0.91 p=0.4	Z (1.23)= - 1.23 p=0.21	Z (0.73)= 0.73 p=0.46

### ANEXO 3. COMPOSICIÓN ELEMENTAL DE SEDIMENTOS DE MAR PROFUNDO

LOCALIDAD	LATITUD	LONGITUD	PROF. [m]	C [%]	COT [%]	N [%]	C/N	Método	Referencia
<b>OCÉANO ATLÁNTICO</b>									
Golfo de México	20.8902	-95.1122	3,067	4.3	0.4	ND	ND	Element analyser CHN, LECO acid-base	Worzel, J.L., <i>et al.</i> , 2004
	23.7967	-94.7682	3,713	2.6	0.4	ND	ND	Element analyser CHN, LECO acid-base	Worzel, J.L., <i>et al.</i> , 2004
	21.3822	-94.0035	2,532	4.4	0.3	ND	ND	Element analyser CHN, LECO acid-base	Worzel, J.L., <i>et al.</i> , 2004
	23.7733	-93.3462	3,763	3.2	0.6	ND	ND	Element analyser CHN, LECO acid-base	Worzel, J.L., <i>et al.</i> , 2004
	25.8583	-92.1833	2,827	2.4	0.7	ND	ND	Element analyser CHN, LECO acid-base	Worzel, J.L., <i>et al.</i> , 2004
	25.8448	-91.8215	2,573	2.8	0.8	ND	ND	Element analyser CHN, LECO acid-base	Worzel, J.L., <i>et al.</i> , 2004
	23.0300	-92.0433	3,747	3.2	0.7	ND	ND	Element analyser CHN, LECO acid-base	Worzel, J.L., <i>et al.</i> , 2004
	23.0150	-92.0860	3,761	1.4	0.2	ND	ND	Element analyser CHN, LECO acid-base	Worzel, J.L., <i>et al.</i> , 2004
	23.0455	-92.0587	3,572	4.5	0.2	ND	ND	Element analyser CHN, LECO acid-base	Worzel, J.L., <i>et al.</i> , 2004
	22.8415	-91.4228	3,749	2.4	0.3	ND	ND	Element analyser CHN, LECO acid-base	Worzel, J.L., <i>et al.</i> , 2004
	22.8774	-90.9625	1,481	8.8	0.2	ND	ND	Element analyser CHN, LECO acid-base	Worzel, J.L., <i>et al.</i> , 2004
	24.5273	-88.4693	1,793	10.8	0.3	ND	ND	Element analyser CHN, LECO acid-base	Worzel, J.L., <i>et al.</i> , 2004
	24.1500	-86.3975	1,633	10.3	0.1	ND	ND	Element analyser CHN, LECO acid-base	Worzel, J.L., <i>et al.</i> , 2004
	23.7427	-85.7633	3,439	3.1	1.0	ND	ND	Element analyser CHN, LECO acid-base	Worzel, J.L., <i>et al.</i> , 2004
	23.4898	-85.2097	2,790	9.4	0.1	ND	ND	Element analyser CHN, LECO WR-12	Buffeler, R.T., <i>et al.</i> , 2004
	23.8492	-85.1655	2,742	10.6	0.1	ND	ND	Element analyser CHN, LECO WR-12	Buffeler, R.T., <i>et al.</i> , 2004
	23.7080	-84.5162	3,450	5.8	0.8	ND	ND	Element analyser CHN, LECO WR-12	Buffeler, R.T., <i>et al.</i> , 2004
	23.8288	-84.3708	2,926	10.5	0.1	ND	ND	Element analyser CHN, LECO WR-12	Buffeler, R.T., <i>et al.</i> , 2004
	23.8842	-84.4457	2,930	8.1	0.2	ND	ND	Element analyser CHN, LECO acid-base	Worzel, J.L., <i>et al.</i> , 2004
Mar Caribe	10.5167	-64.6500	1,378	ND	3.02	ND	ND	ND	Vetrov, A., <i>et al.</i> , 1998
	12.7440	-78.7393	2,828	4.6	0.07	0.05	ND	CHNS analyser and pyrolysis oven (rock eval)	Sigurdsson, H., <i>et al.</i> , 2005
	15.7571	-74.9105	3,260	6.9	0.04	0.03	ND	CHNS analyser and pyrolysis oven (rock eval)	Sigurdsson, H., <i>et al.</i> , 2005
	16.5537	-79.8674	916	9.95	0.03	0.08	ND	CHNS analyser and pyrolysis oven (rock eval)	Sigurdsson, H., <i>et al.</i> , 2005
Atlántico Ecuatorial	1.6633	-10.9767	4,567	ND	0.48	ND	7.74	Element analyser CHN, LECO	Wagner, T., <i>et al.</i> , 1999
	0.5150	-8.5883	4,779	ND	0.41	ND	8.04	Element analyser CHN, LECO	Wagner, T., <i>et al.</i> , 1999
	0.6017	-9.2633	4,321	ND	0.36	ND	8.57	Element analyser CHN, LECO	Wagner, T., <i>et al.</i> , 1999
	-1.1633	-10.7050	3,724	ND	0.32	ND	7.62	Element analyser CHN, LECO	Wagner, T., <i>et al.</i> , 1999
	-1.6650	-12.4283	3,231	ND	0.37	ND	6.49	Element analyser CHN, LECO	Wagner, T., <i>et al.</i> , 1999

LOCALIDAD	LATITUD	LONGITUD	PROF. [m]	C [%]	COT [%]	N [%]	C/N	Método	Referencia
	-1.7600	-12.5517	2,471	ND	0.14	ND	5.83	Element analyser CHN, LECO	Wagner, T., <i>et al.</i> , 1999
	-2.1717	-9.8633	3,875	ND	0.33	ND	6.60	Element analyser CHN, LECO	Wagner, T., <i>et al.</i> , 1999
	-6.0133	-7.7450	4,725	ND	0.22	ND	7.33	Element analyser CHN, LECO	Wagner, T., <i>et al.</i> , 1999
	-5.9417	-8.1400	4,180	ND	0.17	ND	5.15	Element analyser CHN, LECO	Wagner, T., <i>et al.</i> , 1999
	-5.8417	-8.6500	3,757	ND	0.18	ND	6.00	Element analyser CHN, LECO	Wagner, T., <i>et al.</i> , 1999
	-5.7450	-11.0350	2,373	ND	0.18	ND	6.43	Element analyser CHN, LECO	Wagner, T., <i>et al.</i> , 1999
	-5.2833	-10.2033	3,422	ND	0.19	ND	5.76	Element analyser CHN, LECO	Wagner, T., <i>et al.</i> , 1999
	-3.5583	-12.5800	2,921	ND	0.32	ND	6.27	Element analyser CHN, LECO	Wagner, T., <i>et al.</i> , 1999
	-3.6233	-13.1867	3,471	ND	0.27	ND	6.43	Element analyser CHN, LECO	Wagner, T., <i>et al.</i> , 1999
	-3.8167	-14.9033	3,977	ND	0.24	ND	6.15	Element analyser CHN, LECO	Wagner, T., <i>et al.</i> , 1999
Atlántico Norte	48.3878	-17.4410	4,121	ND	0.36	0.05	8.40	ND	Lowry, R.K., <i>et al.</i> , 2004
	48.3878	-17.4410	4,121	ND	0.40	0.07	7.28	ND	Lowry, R.K., <i>et al.</i> , 2004
	48.3878	-17.4410	4,121	ND	0.54	0.06	11.54	ND	Lowry, R.K., <i>et al.</i> , 2004
	48.3878	-17.4410	4,121	ND	0.30	0.05	7.00	ND	Lowry, R.K., <i>et al.</i> , 2004
	48.3878	-17.4410	4,121	ND	0.52	0.09	7.68	ND	Lowry, R.K., <i>et al.</i> , 2004
Mar Mediterráneo	40.6667	6.5000	2,725	ND	1.17	0.07	16.70	Element analyser CNS, Carlo Erba NA1500	Tahey, T M, 2002
	40.6667	6.5000	2,725	ND	0.43	0.06	7.20	Element analyser CNS, Carlo Erba NA1500	Tahey, T M, 2002
	43.4100	43.4100	2,347	ND	0.61	0.05	ND	Element analyser CHN, LECO	Guidi-Guilvard, L., 2004
	43.4097	43.4097	2,348	ND	0.01	0.06	ND	Element analyser CHN, LECO	Guidi-Guilvard, L., 2004
	43.4103	43.4103	2,347	ND	0.01	0.06	ND	Element analyser CHN, LECO	Guidi-Guilvard, L., 2004
	43.4107	43.4107	2,351	ND	0.01	0.05	ND	Element analyser CHN, LECO	Guidi-Guilvard, L., 2004
	43.4098	43.4098	2,347	ND	0.01	0.06	ND	Element analyser CHN, LECO	Guidi-Guilvard, L., 2004
	43.4103	43.4103	2,347	ND	0.01	0.06	ND	Element analyser CHN, LECO	Guidi-Guilvard, L., 2004
LOCALIDAD	LATITUD	LONGITUD	PROF. [m]	C [%]	COT [%]	N [%]	C/N	Método	Referencia
<b>OCÉANO PACÍFICO</b>	-35.2500	-73.5767	3,749	2.29	2.03	ND	7.51	Element analyser CHN	Klump, J., <i>et al.</i> , 1999
	-33.1317	-73.7483	3,620	25.67	0.74	ND	6.26	Element analyser CHN	Klump, J., <i>et al.</i> , 1999
	-27.4667	-71.5250	3,576	13.40	0.40	ND	4.98	Element analyser CHN	Klump, J., <i>et al.</i> , 1999
	-27.5000	-71.5000	3,288	67.55	0.22	ND	6.10	Element analyser CHN	Klump, J., <i>et al.</i> , 1999



LOCALIDAD	LATITUD	LONGITUD	PROF. [m]	C [%]	COT [%]	N [%]	C/N	Método	Referencia
	-35.2167	-73.4883	3,233	3.07	2.19	ND	7.45	Element analyser CHN	Klump, J., <i>et al.</i> , 1999
	-42.0383	-75.3217	3,207	5.82	1.65	ND	7.58	Element analyser CHN	Klump, J., <i>et al.</i> , 1999
	-32.8517	-72.4233	3,029	8.45	1.06	ND	7.83	Element analyser CHN	Klump, J., <i>et al.</i> , 1999
	-42.0133	-75.3017	2,923	6.56	1.76	ND	7.72	Element analyser CHN	Klump, J., <i>et al.</i> , 1999
	-41.9367	-75.2133	2,574	11.59	1.86	ND	7.56	Element analyser CHN	Klump, J., <i>et al.</i> , 1999
	-35.2517	-73.4200	2,471	5.34	2.15	ND	7.07	Element analyser CHN	Klump, J., <i>et al.</i> , 1999
	-27.4667	-71.3617	2,437	20.59	0.44	ND	5.63	Element analyser CHN	Klump, J., <i>et al.</i> , 1999
	-32.8900	-72.1917	2,413	9.26	1.19	ND	8.38	Element analyser CHN	Klump, J., <i>et al.</i> , 1999
	-35.2167	-73.3167	2,108	3.60	1.92	ND	6.93	Element analyser CHN	Klump, J., <i>et al.</i> , 1999
	-35.2833	-73.2200	2,103	3.15	2.33	ND	7.65	Element analyser CHN	Klump, J., <i>et al.</i> , 1999
	-33.2067	-72.1750	1,983	8.33	1.25	ND	8.16	Element analyser CHN	Klump, J., <i>et al.</i> , 1999
	-27.4667	-71.2517	1,948	14.78	0.67	ND	6.83	Element analyser CHN	Klump, J., <i>et al.</i> , 1999
	-41.6050	-74.9800	1,649	10.75	1.73	ND	7.58	Element analyser CHN	Klump, J., <i>et al.</i> , 1999
	-27.5017	-71.2067	1,580	13.63	0.71	ND	7.59	Element analyser CHN	Klump, J., <i>et al.</i> , 1999
	-33.2183	-72.0867	1,502	7.81	1.33	ND	7.89	Element analyser CHN	Klump, J., <i>et al.</i> , 1999
	-27.4733	-71.1717	1,352	13.85	1.08	ND	7.43	Element analyser CHN	Klump, J., <i>et al.</i> , 1999
	-36.3400	-73.7300	1,000	1.42	2.90	ND	7.80	Element analyser CHN	Klump, J., <i>et al.</i> , 1999
Mar de China	25.3700	122.3600	974	ND	0.68	0.09	ND	Element analyser CHN, LECO	Kao, S.J., <i>et al.</i> , 2003
	25.1700	122.5600	1,303	ND	0.68	0.09	ND	Element analyser CHN, LECO	Kao, S.J., <i>et al.</i> , 2003
	24.6600	123.0100	1,420	ND	0.67	0.09	ND	Element analyser CHN, LECO	Kao, S.J., <i>et al.</i> , 2003
	25.3500	123.0300	1,630	ND	0.61	0.09	ND	Element analyser CHN, LECO	Kao, S.J., <i>et al.</i> , 2003
Mar de Japón	39.2205	133.8669	2,085	1.20	1.09	0.10	10.90	Element analyser CHN, LECO	Stax, R., <i>et al.</i> , 2002
Mar de O Okhotsk	51.7148	150.9854	1,041	ND	1.12	ND	10.53	Element analyser CNS, Carlo Erba NA1500	Nürnberg, D., <i>et al.</i> , 2004
Pacífico Norte	39.2205	133.8669	2,085	1.20	1.09	0.10	10.90	Element analyser CHN, LECO	Stax, R., <i>et al.</i> , 2002
LOCALIDAD	LATITUD	LONGITUD	PROF. [m]	C [%]	COT [%]	N [%]	C/N	Método	Referencia
<b>OCÉANO ÍNDICO</b>	24.3983	58.0417	2,768	ND	2.05	0.26	ND	Element analyser CHN	Sirocko, F., 1997
	14.8803	60.7465	2,768	ND	2.05	0.07	ND	Element analyser CHN	Sirocko, F., 1997
	15.5143	68.7602	2,768	ND	2.05	0.08	ND	Element analyser CHN	Sirocko, F., 1997

LOCALIDAD	LATITUD	LONGITUD	PROF. [m]	C [%]	COT [%]	N [%]	C/N	Método	Referencia
	17.0748	69.0447	2,768	ND	2.05	0.05	ND	Element analyser CHN	Sirocko, F., 1997
	20.9653	65.5590	2,768	ND	2.05	0.10	ND	Element analyser CHN	Sirocko, F., 1997
	20.9078	63.1220	2,768	ND	2.05	0.16	ND	Element analyser CHN	Sirocko, F., 1997
Mar Árábigo	14.3210	57.3470	3,212	ND	ND	ND	7.90	Element analyser CHN	Sirocko, Frank, 1997
	13.0852	62.7498	4,168	8.93	0.41	0.07	ND	Element analyser CHN	Wallmann, K., 2001
	13.0852	62.7498	4,168	8.81	0.39	0.07	ND	Element analyser CHN	Wallmann, K., 2001
	13.0852	62.7498	4,168	9.90	0.34	0.08	ND	Element analyser CHN	Wallmann, K., 2001
	13.0852	62.7498	4,168	8.88	0.32	0.07	ND	Element analyser CHN	Wallmann, K., 2001
	13.0852	62.7498	4,168	8.89	0.31	0.09	ND	Element analyser CHN	Wallmann, K., 2001
Golfo de Carpentaria (Australia)	-12.3920	140.3380	ND	ND	0.39	0.03	17.00	ND	Chivas, Allan R, 2003
	-12.3920	140.3380	ND	ND	0.45	0.03	16.00	ND	Chivas, Allan R, 2003
	-12.3920	140.3380	ND	ND	0.45	0.02	23.00	ND	Chivas, Allan R, 2003
<b>OCÉANO ÁRTICO</b>	85.8300	-109.1533	1,365	ND	0.07	0.13	0.54	ND	Mudie, P.J., 2005
	86.9450	59.0150	4,434	ND	0.31	ND	21.00	Element analyser CHN	Stein, R., 2000
	87.4947	90.5002	4,427	ND	0.63	ND	21.00	Element analyser CHN	Stein, R., 2000
	87.5118	11.4753	4,399	ND	0.67	ND	19.00	Element analyser CHN	Stein, R., 2000
	87.5857	68.9772	4,384	ND	0.60	ND	19.00	Element analyser CHN	Stein, R., 2000
	87.2572	68.3767	4,384	ND	0.54	ND	18.00	Element analyser CHN	Stein, R., 2000
	87.5675	103.5660	4,378	ND	0.66	ND	27.00	Element analyser CHN	Stein, R., 2000
	88.2603	9.8565	4,375	ND	0.56	ND	19.00	Element analyser CHN	Stein, R., 2000
	87.7652	108.7490	4,361	ND	0.74	ND	22.00	Element analyser CHN	Stein, R., 2000
Mar Laptev	79.1517	119.7933	3,047	0.53	0.53	0.06	8.83	Element analyser CHN, LECO	Stein, R., 2004
LOCALIDAD	LATITUD	LONGITUD	PROF. [m]	C [%]	COT [%]	N [%]	C/N	Método	Referencia
<b>OCÉANO ANTÁRTICO</b>	-71.8690	-23.4620	3,957	ND	0.25	0.20	ND	Element analyser CHN, LECO	Schlüter, M., 1996
Mar de Weddell	-74.2550	-26.3320	2,467	ND	0.58	0.34	ND	Element analyser CHN, LECO	Schlüter, M., 1996
	-69.7250	-9.8597	2,333	ND	0.49	0.31	ND	Element analyser CHN, LECO	Schlüter, M., 1996
	-74.0590	-31.7800	1,671	ND	0.43	0.31	ND	Element analyser CHN, LECO	Schlüter, M., 1996

LOCALIDAD	LATITUD	LONGITUD	PROF. [m]	C [%]	COT [%]	N [%]	C/N	Método	Referencia
	-77.8420	-38.0480	1,170	ND	0.55	0.39	ND	Element analyser CHN, LECO	Schlüter, M., 1996

#### Fuentes:

<http://www.pangaea.de>

- Buffler, Richard T; Schlager, Wolfgang (2004): Carbon analysis of Hole 77-535, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.223313
- Buffler, Richard T; Schlager, Wolfgang (2004): Carbon analysis of Hole 77-536, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.223315
- Buffler, Richard T; Schlager, Wolfgang (2004): Carbon analysis of Hole 77-538A, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.223318
- Buffler, Richard T; Schlager, Wolfgang (2004): Carbon analysis of Hole 77-540, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.223321
- Chivas, Allan R (2003): Geochemistry of sediment core MD97-2133, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.120918
- Guidi-Guilvard, Laurence D (2004): Organic Carbon, Nitrogen and Calcium Carbonate contents in the top 5 mm of surface sediment on 25 different dates at DYFAMED station, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.183870
- Kao, S.J., Lin, F.J., Liu, K.K. (2003). Organic carbon and nitrogen contents and their isotopic compositions in superficial sediments from the East China Sea shelf and the southern Okinawa Trough
- Klump, Jens; Hebbeln, Dierk (1999): Geochemistry of surface sediment cores, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.55542
- Lowry, Roy K; BODC (2004): Bulk chemistry of sediment core BOFS12080#1, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.199916
- Mudie, Peta J (2005): TOC, N, C/N ratio of Site CESAR\_83-006, *PANGAEA*, dataset #53153 (DOI registration in progress)
- Nürnberg, Dirk; Tiedemann, Ralf (2004): Sedimentology of core LV28-42-4, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.218135
- Schlüter, Michael (1996): Calcium carbonate and organic carbon in surface sediments of the Weddell Sea, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.51465
- Sigurdsson, H; Leckie, RM; Acton, Gary D; Shipboard Scientific Party (2005): Carbonates and bulk sediment geochemistry of Hole 165-1001A, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.252220
- Sigurdsson, H; Leckie, RM; Acton, Gary D; Shipboard Scientific Party (2005): Carbonates and bulk sediment geochemistry of Hole 165-999A, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.252223
- Sigurdsson, H; Leckie, RM; Acton, Gary D; Shipboard Scientific Party (2005): Results of rock eval carbon analysis on Hole 165-1000A, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.259386
- Sirocko, Frank (1997): Geochemistry of surface sediments from the Indian Ocean, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.52394
- Stax, R; Stein, Ruediger (2002): Sedimentation of organic matter from Hole 128-799A, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.72308
- Stax, R; Stein, Ruediger (2002): Sedimentation of organic matter from Hole 128-799A, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.72308
- Stein, Ruediger (2000): Organic geochemistry of surface sediments from the Arctic Ocean (Appendix 1), *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.57474

Stein, Ruediger (2004): Total organic carbon, nitrogen and calcium carbonate of sediment core PS2471-4, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.137052

Tahey, T M (2002): Sediment chemistry of sediment core Tyro11\_1991\_3, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.78882

Vetrov, Alexander; Korneeva, Galina (1998): CaCO<sub>3</sub>, sedimentation rate, accumulation rate, total organic carbon, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.53273

Wagner, Thomas; Dupont, Lydie (1999): Analysis of organic matter in surface sediments of the equatorial Atlantic, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.55906

Wallmann, Klaus (2001): Nitrogen and carbon content from bulk sediment analysis of core SO118\_MC-24, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.58590

Worzel, J Lamar; Bryant, William (2004): Carbon analysis of Hole 10-85, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.222569

Worzel, J Lamar; Bryant, William (2004): Carbon analysis of Hole 10-86, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.222570

Worzel, J Lamar; Bryant, William (2004): Carbon analysis of Hole 10-87, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.222571

Worzel, J Lamar; Bryant, William (2004): Carbon analysis of Hole 10-88, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.222572

Worzel, J Lamar; Bryant, William (2004): Carbon analysis of Hole 10-89, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.222573

Worzel, J Lamar; Bryant, William (2004): Carbon analysis of Hole 10-90, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.222574

Worzel, J Lamar; Bryant, William (2004): Carbon analysis of Hole 10-91, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.222575

Worzel, J Lamar; Bryant, William (2004): Carbon analysis of Hole 10-92, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.222576

Worzel, J Lamar; Bryant, William (2004): Carbon analysis of Hole 10-94, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.222577

Worzel, J Lamar; Bryant, William (2004): Carbon analysis of Hole 10-95, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.222578

Worzel, J Lamar; Bryant, William (2004): Carbon analysis of Hole 10-96, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.222579

Worzel, J Lamar; Bryant, William (2004): Carbon analysis of Hole 10-97, *PANGAEA*, doi:10.1594/PANGAEA.222580