



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

**ÁCIDOS GRASOS COMO INDICADORES DEL ORIGEN Y
DEGRADACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN SEDIMENTOS
DE LA CUENCA DELFIN, NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA**



TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

OCEANOLOGO

PRESENTA:

LESLIE AVEYTUA ALCAZAR

Ensenada, B.C., Junio de 1998

**ÁCIDOS GRASOS COMO INDICADORES DEL ORIGEN Y
DEGRADACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN SEDIMENTOS
DE LA CUENCA DELFÍN, NORTE DEL GOLFO DE CALIFORNIA**

TESIS

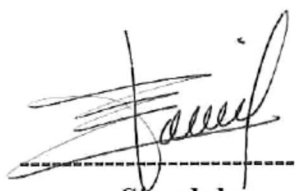
QUE PRESENTA:

LESLIE AVEYTUA ALCAZAR

APROBADA




Dr. Victor F. Camacho Ibar



Sinodal

M.C. Irma Esthela Soria Mercado



Sinodal

M.C. Graciela Guerra Rivas

AGRADECIMIENTOS

Especialmente agradezco, al Dr. Víctor Camacho Ibarra, por su apoyo y disposición durante el desarrollo de este trabajo.

Al M.C. Irma Soría M. y M.C Graciela Guerra R., porque formaron parte de mi enseñanza durante la carrera de Oceanología y por sus comentarios en esta tesis.

Al M.C. Eduardo Ortiz C., por su ayuda en el trabajo de laboratorio.

Al M.C. Angel C., M.C. Sergio A. y M.C. Jorge P, por su ayuda en la metodología llevada a cabo.

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas, en especial al departamento de Geoquímica Ambiental por la facilidad dada en la realización de este trabajo.

A los profesores de la carrera de Oceanología que contribuyeron a mi formación.

Por último agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, que cubrió mi beca-tesis, por medio del proyecto 3929-T titulado "Efectos de las descargas del Río Colorado en la geoquímica del Alto Golfo de California".

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar el origen y la variación temporal de la composición de la materia orgánica (MO) en la zona de la Cuenca Delfin mediante el análisis de los ácidos grasos en dos núcleos sedimentarios. Además se determinaron las razones o velocidades (R) y constantes (k') de degradación de diferentes ácidos grasos y los resultados se discuten en función de los factores que controlan la diagénesis en sedimentos superficiales. En la actualidad el norte del Golfo de California (NGC) no recibe aportes significativos de agua y sedimento del Río Colorado, lo que limita los aportes de MO autóctona hacia el sistema. Considerando que el Río Colorado fue la principal fuente de sedimentos hacia el NGC es posible que existan cambios composicionales de la MO en la zona de la cuenca Delfin, debido a que la composición del material orgánico aportado por el flujo riverino debió ser diferente a la de las partículas orgánicas suministradas por la biomasa planctónica. Se trabajó con 22 muestras (secciones) de 2 núcleos sedimentarios colectados durante un crucero oceanográfico realizado en agosto de 1995. La composición de ácidos grasos fue analizada mediante cromatografía de gases. Los valores obtenidos del porcentaje de carbono orgánico total (COT) y la concentración de ácidos grasos totales de ambos núcleos decrecen de manera general hacia profundidad, aunque existe una alta variabilidad en los primeros 60 cm. La concentración de ácidos grasos totales disminuye hacia los estratos más recientes, coincidiendo con el período de disminución del aporte del Río Colorado (~1930). Se observó que no existe relación aparente entre el COT y la concentración de ácidos grasos totales ($r^2=0.002$ para el núcleo AP-09 y $r^2=0.006$ para el núcleo CD-06). Los valores de k' de los ácidos grasos totales son mayores que los del COT. Los ácidos grasos se clasificaron en 5 grupos mediante el análisis cluster y en 5 factores, asociados a 4 fuentes de carbono orgánico, mediante el análisis factorial modo-R. Las fuentes determinadas fueron: fitoplancton, zooplancton, bacterias y terrígenas. De manera general, el orden de reactividad de los ácidos grasos en sedimentos es: poliinsaturados > monoinsaturados > saturados de cadena corta > ramificados > saturados de cadena larga. Este orden está determinado, entre otros factores por: (1) su fuente biológica; (2) su estructura molecular y (3) condiciones físicas y químicas del medio ambiente depositacional. Los valores de k' para ácidos grasos individuales en este trabajo, son muy similares a los reportados por otros estudios de sedimentos someros y columna de agua óxica.

ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	4
OBJETIVO.....	6
ÁREA DE ESTUDIO.....	7
MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
De Campo.....	9
De laboratorio.....	9
Extracto lipídico total.....	11
Hidrólisis alcalina y extracción de lípidos ácidos	11
Preparación de ácidos grasos metilados.....	11
Identificación y cuantificación por cromatografía de gases.....	12
Procesamiento de datos.....	13
Razones (velocidades) y constantes de degradación	14
Análisis estadístico multivariado.....	15
RESULTADOS.....	17
Carbono orgánico total.....	17
Ácidos grasos.....	18
Agrupación de los ácidos grasos.....	20
Perfiles de ácidos grasos.....	20
Análisis estadístico multivariado.....	29
Razones (velocidades) de degradación.....	33
DISCUSIÓN.....	40
Carbono orgánico total.....	40
Ácidos grasos totales.....	42
Fuentes de ácidos grasos.....	45
Modelación cinética y degradación de ácidos grasos individuales.....	46
CONCLUSIONES.....	53

REFERENCIAS.....	55
ANEXO.....	59

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Porcentaje de carbono orgánico total en el núcleo AP-09 y CD-06.	18
2	Concentraciones totales y composición porcentual de ácidos grasos en los núcleos.	21
3	Ácidos grasos utilizados como biomarcadores para determinar las contribuciones de las fuentes para cada grupo.	23
4	Valores de las distancias de Mahalanobi y F de Snedecor obtenidas del análisis discriminante de los grupos de ácidos grasos definidos con análisis de grupo.	30
5	Razones (R) y constantes (k') de degradación para algunos ácidos grasos del núcleo AP-09.	36
6	Razones (R) y constantes (k') de degradación para algunos ácidos grasos del núcleo CD-06.	38

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Localización del área de estudio y estaciones de colecta de los núcleos sedimentarios	10
2	Perfiles de ácidos grasos totales (AGT) ($\mu\text{g g}^{-1}$ de sed. Seco) y carbono orgánico (COT) (%). A) Núcleo CD-06, B) Núcleo AP-09. El número cercano al símbolo (círculo cerrado) representa el año de depositación.	19
3	Perfil de concentración ($\mu\text{g g}^{-1}$ de sed. Seco) e histogramas de ácidos grasos (% respecto a la concentración) a diferentes de profundidad en el núcleo AP-09.	25
4	Perfil de concentración ($\mu\text{g g}^{-1}$ de sed. Seco) e histogramas de ácidos grasos (% respecto a la concentración) a diferentes de profundidad en el núcleo AP-09.	26
5	Perfiles de ácidos grasos por grupo (%) en los núcleos AP-09 y CD-06.	27
6	Perfiles de ácidos grasos por fuentes (%) en los núcleos AP-09 y CD-06.	28
7	Dendrograma del análisis de grupo (modo-R) para los ácidos grasos. La medida de distancia es $(1-r)$ del coeficiente de correlación de Pearson y el método de aglomeración promedio entre grupos	31
8	Carga de los ácidos grasos hacia los primeros cinco factores	32

INTRODUCCION

Las principales fuentes de materia orgánica (MO) en el océano son: fitoplancton, zooplancton, bacterias y en ambientes transicionales los aportes terrígenos. Mucha de la MO contenida en los sedimentos marinos proviene de la biosíntesis por organismos que habitan en aguas superficiales del océano y es transportada como material particulado al piso oceánico, otra parte es reciclada en los primeros cientos de metros de la columna de agua (Wakeham y Lee, 1989).

La degradación de la MO que empieza en la columna de agua, continúa después de la depositación. Entre el 30-90% de los compuestos orgánicos depositados se mineralizan durante la diagénesis temprana, una fracción importante de esta mineralización ocurre cerca de la interfase sedimento-agua, donde predominan las reacciones catabólicas microbianas. A mayores profundidades de la columna sedimentaria disminuye significativamente la actividad microbiana y los parámetros geoquímicos como: tiempo, temperatura y presión empiezan a ser dominantes para la diagénesis (Canuel y Martens, 1996).

Las comunidades microbianas tienden a utilizar los sustratos orgánicos secuencialmente, consumiendo los carbohidratos y proteínas antes que los lípidos (Sun y Wakeham, 1994). Es así como los compuestos más lábiles tienden a ser preferencialmente removidos y los más refractarios a concentrarse.

Los sedimentos pueden registrar los procesos que ocurren en la columna de agua. Existen moléculas orgánicas, conocidas como biomarcadores, que indican el origen de la MO sedimentaria. Estas moléculas pueden ser asociadas, con incertidumbre relativamente pequeña, a sus precursores biológicos, ya que sus esqueletos moleculares básicos se preservan en forma reconocible durante la diagénesis. Entre los biomarcadores lipídicos más extensivamente estudiados se encuentran los ácidos grasos y los esteroides (Colombo *et al.*, 1997).

Los ácidos grasos son ácidos carboxílicos de cadena larga cuya fórmula general es: C_nH_m-COOH , en donde la C_nH_m (n y m son el número de átomos) representa la cadena hidrocarbonada ligada al grupo carboxílico (Killops y Killops, 1993). Algunos ácidos grasos son específicos por lo que su presencia en sedimentos acuáticos puede indicar diferentes tipos de fuentes de carbono. Por ejemplo, los ácidos grasos saturados con 24 a 36 átomos de carbono, comúnmente son usados como indicadores del aporte de carbono terrígeno en sedimentos marinos; los ácidos grasos ramificados son utilizados frecuentemente como indicadores específicos de la contribución bacteriana en el “stock” de la MO asociada a partículas suspendidas o en el sedimento y los ácidos grasos con un número de átomos de carbono de 14 a 22 son asignados a material de origen planctónico (Canuel y Martens, 1996; Haddad *et al.*, 1991; Scribe *et al.*, 1990).

Es importante mencionar que para usar correctamente a los ácidos grasos

como biomarcadores hay que conocer su comportamiento diagenético. Canuel y Martens (1996) indicaron que son varios los factores que controlan la degradación de la materia orgánica en sedimentos superficiales, incluyendo su valor nutricional para los organismos bentónicos, la disponibilidad física y química y las condiciones ambientales bajo las cuales son depositados (e.g., temperatura, concentración de oxígeno disuelto, la concentración de otros aceptores electrónicos). Estos autores comentan que la calidad de la MO influye en los procesos diagenéticos, ya que la MO sedimentaria es una mezcla de constituyentes derivados de un número de fuentes que convergen en un espectro de reactividad. En adición a la disponibilidad bioquímica, las asociaciones de la MO juegan un papel importante en la determinación de cuáles moléculas son degradadas más fácilmente. Por ejemplo, la adsorción de la MO en superficies minerales o dentro de matrices orgánicas, la incorporación dentro de estructuras de las arcillas, y la protección por biopolímeros, proveen mecanismos adicionales para que la MO sea preservada.

Meyers *et al.* (1980) reportaron que la concentración de los ácidos grasos totales en sedimentos del lago Huron decrece con la profundidad. La razón de decremento fue mayor para ácidos insaturados que saturados. Así mismo, Haddad *et al.* (1991) encuentran que los cambios, con respecto a la profundidad, en la concentración de los ácidos grasos en sedimentos de la Bahía Cape Lookout, Carolina del Norte, son el resultado de procesos diagenéticos. Por otro lado,

Farrington *et al.* (1977) reportaron que los ácidos grasos totales y el carbono orgánico total (COT) decrecen con la profundidad a una razón constante en ambientes marinos costeros.

Los depósitos sedimentarios de márgenes continentales son reconocidos como los reservorios dominantes de carbono orgánico en el ambiente marino, recibiendo un estimado de 130×10^{12} g de COT por año (Berner, 1980). Por lo tanto estos sistemas costeros juegan un papel importante en el ciclo global del carbono. El conocimiento de las fuentes modernas de MO y de la diagénesis temprana de los geolípidos permite entender la historia geoquímica de estos depósitos (Haddad *et al.*, 1991; Meyers *et al.*, 1980).

ANTECEDENTES

El Norte del Golfo de California (NGC) es un mar marginal con cuencas profundas (Delfín, Tiburón y Salsipuedes). A principios de siglo el NGC recibía una gran cantidad de partículas sedimentarias por parte del Río Colorado, a una razón de 160×10^6 Ton año⁻¹ (Van Andel, 1964). Sin embargo, las actividades antropogénicas (embalsamiento del río y desvío del cauce para uso agrícola y doméstico) han ocasionado que la descarga de agua del río disminuyera a un flujo de 850×10^6 m³, que representa un 4% de la descarga inicial (Baba *et al.*, 1991).

En la actualidad, prácticamente las regiones del delta del Río Colorado y el NGC no reciben aporte directo de sedimentos fluviales (Sánchez-González, 1997; Cupul-Magaña, 1994; Carriquiry, 1993).

Considerando que el Río Colorado fue la principal fuente de sedimentos hacia el NGC es posible que existan cambios composicionales de la MO en la zona de la cuenca Delfin, debido a que la composición del material orgánico aportado por el flujo riverino debió ser diferente a la de las partículas orgánicas suministradas por la biomasa planctónica.

Recientemente Chávez-Vargas (1997) determinó el origen de la MO en los sedimentos superficiales de la región Norte del Golfo de California (NGC), observando un incremento del contenido de COT y ácidos grasos totales hacia las zonas profundas de las cuencas Wagner y Delfin y una disminución hacia las zonas someras. En base al análisis de los ácidos grasos individuales reportó 6 fuentes de MO, siendo éstas fitoplancton, zooplancton, terrestre y 3 bacterianas.

En el presente trabajo se estudia el origen y la variación temporal de la composición de la MO en la zona de la Cuenca Delfin mediante el análisis de los ácidos grasos en 2 núcleos sedimentarios. Además se determinaron las razones de degradación de diferentes ácidos grasos y los resultados se discuten en función de los diferentes factores que controlan la diagénesis en sedimentos superficiales.

OBJETIVO

Determinar el origen y la variación temporal de los ácidos grasos en los sedimentos de la Cuenca Delfin.

AREA DE ESTUDIO

El Golfo de California (GC) es un mar marginal del Océano Pacífico de *ca.* 1400 km de largo y 150 km de ancho promedio (Alvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991). El NGC se encuentra entre los 32° 00' y 28° 30' de latitud norte y 115° y 113° de longitud oeste. Geomorfológicamente es relativamente somero ya que alrededor del 70 % del área no supera profundidades de 200 m; sin embargo, existen algunas cuencas profundas como son: (1) Cuenca Tiburón (800 m); (2) Cuenca Delfín (800 m); y (3) Cuenca Wagner (200 m) (Lonsdale, 1989; Bray, 1988).

Los sedimentos del NGC se caracterizan por presentar un mayor tamaño de grano promedio en la costa Sonorense que decrece gradualmente hacia la costa de Baja California. La Cuenca Delfín presenta material sedimentario compuesto principalmente por arcillas y en menor proporción por limos y arenas. Estos sedimentos proceden de la erosión y retrabajamiento de la estructura deltaica del Río Colorado y las plataformas someras del Norte del Golfo de California (Sánchez-González, 1997). Dichas partículas sedimentarias se depositan preferentemente a lo largo de la margen oeste del NGC, debido a la circulación ciclónica que genera un centro de atrapamiento de materiales ubicado en la cuenca Delfín (Sánchez-González, 1997; Marinone y Lavín, 1997; Baba *et al.*,

1991a, b). Baba *et al.* (1991a,b) reportaron que los sedimentos del Delta del Río Colorado y de la plataforma somera se dispersan hasta el límite sur del NGC y que la razón de depositación para los sedimentos de la cuenca Delfin es de 2 a 4 cm año^{-1} .

La producción primaria del NGC es considerada alta. Santamaría-del Angel *et al.* (1994) reportaron valores máximos de pigmentos fotosintéticos de 36 mg m^{-3} , y un promedio superior a 5 mg m^{-3} en el Alto Golfo de California. Para la región de la cuenca Delfin estos autores reportaron valores alrededor de 2 mg m^{-3} .

MATERIALES Y METODOS

a) De campo

Dos núcleos sedimentarios fueron colectados con un nucleador de gravedad en el mes de agosto de 1995 en la zona de la Cuenca Delfín del NGC (Fig. 1) a bordo del B/O “El Puma”. La profundidad de colecta del núcleo AP09 fue de 355 m y del CD06 de 520 m. Posteriormente los núcleos fueron congelados y transportados al laboratorio para su análisis.

b) De laboratorio

Cada núcleo fue seccionado a intervalos de *ca.* 1-2 cm. El análisis de ácidos grasos se realizó de acuerdo a la metodología de Wakeham y Beier (1991) que se divide en 4 etapas: (1) obtención del extracto lipídico total (ELT); (2) saponificación y obtención de lípidos ácidos; (3) preparación de ácidos grasos metilados (FAMES); y (4) identificación y cuantificación por cromatografía de gases y confirmación por espectrometría de masas.

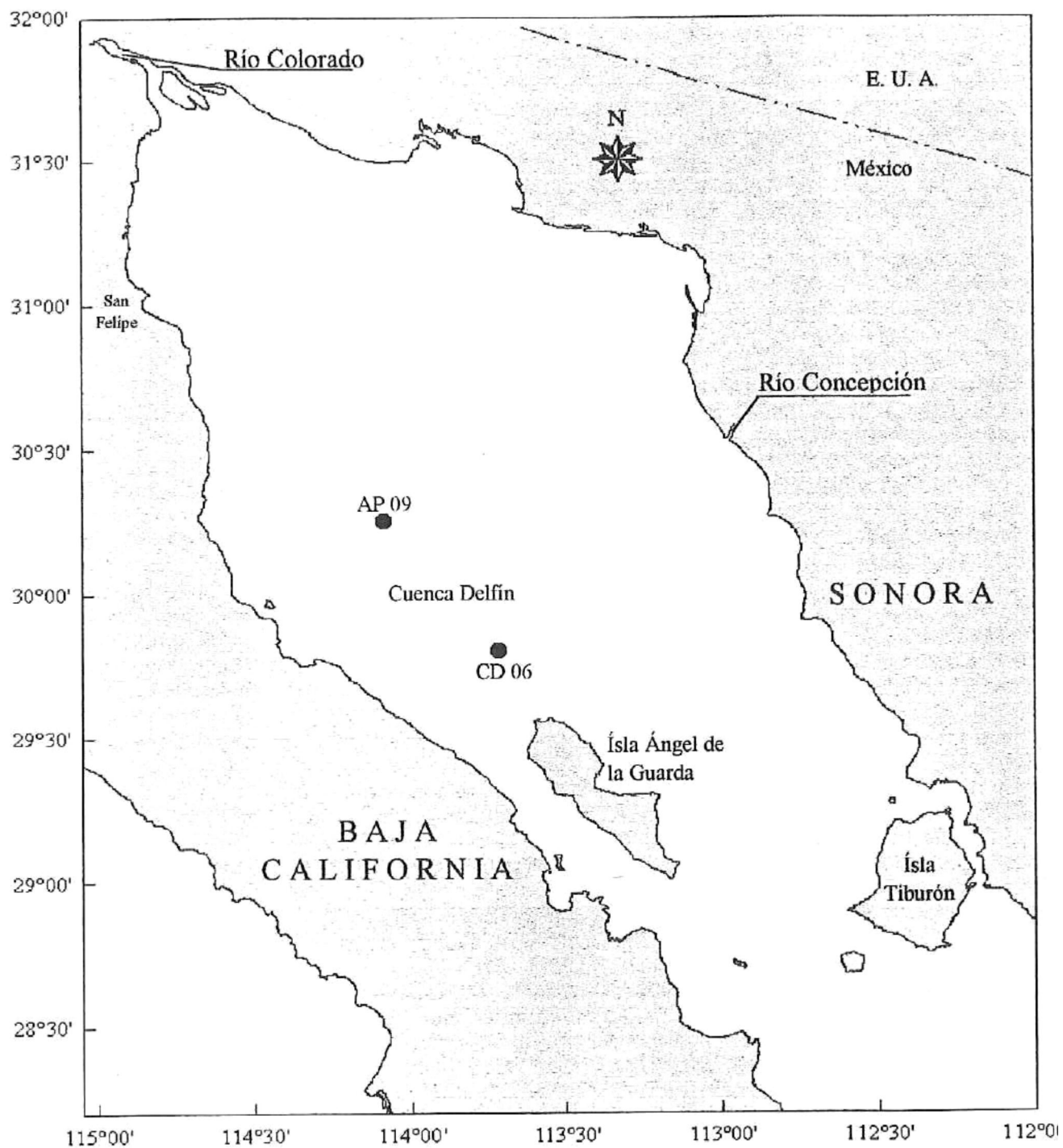


Figura 1. Localización del área de estudio y estaciones de colecta de los núcleos sedimentarios

1) Extracto lipídico total

Las muestras de sedimento (30 g de peso seco) se extrajeron en un sistema Soxhlet con una mezcla de CH_3OH y CH_2Cl_2 (1.8:1 v/v) (solventes B&J, grado CG) durante 24 a 36 hrs.

El extracto se transfirió a un embudo de separación conteniendo una solución de NaCl al 5%, se agitó y se dejó reposar hasta la separación de dos fases, enjuagando al final con CH_2Cl_2 (se repite 2 veces). La fase orgánica se extrajo, se concentró por rotaevaporación y se deshidrató con Na_2SO_4 anhidro.

2) Hidrólisis alcalina (saponificación) y extracción de lípidos ácidos

A una alícuota del ELT se le agregó 1 μl de sorugado (C:19). Se saponificó usando una solución de KOH-MeOH (0.5 N) con calentamiento en un bloque a 100-110°C. Después de enfriar la muestra a temperatura ambiente los lípidos neutros se extrajeron con hexano. El extracto restante se aciduló con HCl (6N) hasta un $\text{pH} < 2$ y se extrajeron los lípidos ácidos con hexano. A la fracción neutra y ácida se les agregó Na_2SO_4 y se dejó reposar.

3) Preparación de ácidos grasos metilados

El extracto con los lípidos ácidos se derivatizó con 400 μl [$\text{BF}_3\text{-CH}_3\text{OH}$] a una temperatura de 110°C por 6 min. Los ésteres de ácidos grasos metilados se

extrajeron con hexano y las trazas de agua fueron removidas por adición de Na_2SO_4 .

Para purificar el extracto se utilizó una columna de gel de sílice (S/P 60A) completamente activada. Se obtuvieron 4 fracciones, la fracción 4 fue eluida con 5 ml al 5 % de acetato de etilo en hexano.

4) Identificación y Cuantificación por cromatografía de gases.

Al extracto se le agregó un estándar interno (éster-etílico del ácido araquidónico), se concentró con N_2 hasta sequedad y se le agregaron 50 μl de hexano, quedando listo para su inyección en el CG Hewlett Packard 5890 Serie II, con detector de ionización de flama (FID). La separación se realizó con una columna capilar de 30 m X 0.32 mm de d.i. HP-5 (Hewlett-Packard), utilizando H_2 como gas transportador. Las condiciones de operación fueron: temperatura del detector 310 °C, temperatura del inyector 250 °C. El programa inició a 100 °C por 2 min, con un incremento de 3.5 °C min^{-1} hasta 300 °C, permaneciendo 15 min a esta temperatura.

Para la cuantificación de los ácidos grasos se utilizó como referencia el estándar interno. Los cromatogramas fueron procesados en un integrador PE NELSON 1020 LC (plus). Se consideró que todos los analitos tienen el mismo factor de respuesta.

La confirmación de los ácidos grasos se realizó inyectando algunas de las muestras en el cromatógrafo de gases con detector selectivo de masas (Hewlett-Packard 5972A).

Procesamiento de datos

Concentraciones de los ácidos grasos

Las concentraciones de los ácidos grasos fueron calculadas en unidades de μg por gramo de sedimento seco, partiendo del área de cada pico identificado en el cromatograma (Wakeham y Beier, 1991) (Fig. A1, Apéndice) en base a la siguiente relación:

$$C = \frac{(A \times B)}{d} \times b \times \frac{1}{W}$$

Donde:

C = concentración total en $\mu\text{g g}^{-1}$ de sed. seco

A = área del ácido graso identificado

B = factor de respuesta del estándar

b = factor de dilución

d = área del estándar

W = peso de la muestra.

Razones (velocidades) y constantes de degradación

La modelación de la degradación de los ácidos grasos en un perfil sedimentario se basa en el supuesto de que puede ser descrita como una cinética de primer orden (Berner, 1980). Los cambios en la concentración neta de los ácidos grasos, o razón de degradación (R), fueron evaluados calculando las diferencias entre la concentración inicial del sedimento depositado recientemente (C_0) y la concentración resultante después de un tiempo de depositación (C_t) (Canuel y Martens, 1996). Usando la siguiente expresión:

$$R = \frac{\Delta C}{\Delta t} = \frac{C_0 - C_t}{t}$$

Para describir los cambios en la concentración con respecto al tiempo se consideró que la constante de la razón de degradación es una constante "aparente" (k'), ya que ésta es calculada en base a un decremento en la concentración neta y no a un proceso diagenético específico.

Donde:

$$R = -k'C$$

y con condiciones de frontera $C_t = C_0$ en t_0 , la solución de la ecuación anterior es:

$$C_t = C_0 e^{-k't}$$

La constante k' para cada ácido graso fue calculada sustituyendo su concentración inicial (C_0), la concentración a un tiempo t de depositación (C_t) y el tiempo de depositación del mismo (t). El cálculo de t se basó en las razones de

sedimentación determinadas mediante fechado con ^{210}Pb :

$$k' = \frac{-\ln\left[\frac{C_t}{C_0}\right]}{t}$$

Análisis estadístico multivariado

El propósito de los análisis multivariados fue determinar las principales fuentes y/o procesos que controlan el contenido de ácidos grasos de la MO de los sedimentos de la Cuenca Delfin. Estos análisis se aplicaron a una matriz que contenía todos los datos generados de los 2 núcleos, es decir, una matriz de 38 ácidos grasos y 22 secciones sedimentarias. Se agruparon los datos de los 2 núcleos, ya que se supone que las fuentes de ácidos grasos son las mismas y que su comportamiento diagenético es similar en ambos sitios de colecta. Los métodos utilizados fueron: análisis de grupo, análisis discriminante y análisis factorial.

El análisis de grupo modo-R agrupa a los ácidos grasos en un arreglo de orden jerárquico que se puede representar en un dendrograma. Con la finalidad de determinar si los grupos obtenidos de este análisis son significativamente diferentes, se aplicó un análisis discriminante, empleando para ello las distancias de Mahalanobi y una prueba F de Snedecor (Davis, 1986).

El análisis factorial se utiliza para disminuir la dimensionalidad de los datos. En este estudio el objetivo de este análisis fue el poder explicar la varianza de los 38 ácidos grasos en función de un número más pequeño de variables (factores). La extracción de los factores se realizó por medio del método de componentes principales y posteriormente se realizó una rotación varimax, la cual maximiza las varianzas de las cargas de los factores dándoles valores entre +1 a -1.

RESULTADOS

Los núcleos sedimentarios se encuentran caracterizados por un color verde olivo homogéneo y presencia de fragmentos de conchas a diferentes intervalos de profundidad. Texturalmente tienen una mayor abundancia de limos y arcillas que de arenas (Sánchez-González, com. pers.). Las longitudes de los núcleos AP-09 y CD-06 fueron de 170 cm y 161 cm, respectivamente.

Carbono orgánico total

El porcentaje de COT en el núcleo AP-09 fue de 3.28 % en la superficie y 3.10 % a 168 cm de profundidad y para el núcleo CD-06 es de 3.88 % en la superficie y 3.11 % a 160 cm de profundidad (Tabla 1, Fig 2). Aunque de manera general el COT en ambos núcleos decrece hacia profundidad, existe una alta variabilidad en los primeros 60 cm de profundidad. El núcleo CD-06 (Fig. 2A) tiene un valor máximo (4.42 %) a los 85 cm, mientras que en el núcleo AP-09 (Fig. 2B) el COT aumenta desde la superficie hasta un máximo de 3.55 % en el intervalo de 10.5-12.0 cm.

Tabla 1. Porcentaje de carbono orgánico total.

Núcleo AP-09		Núcleo CD-06	
Profundidad		Profundidad	
(cm)	% COT	(cm)	% COT
1.5-3	3.28	0-4	3.88
6 - 7.5	3.37	4-5.5	3.47
10.5 - 12	3.55	5.5-7	3.65
15 - 16.5	3.41	10-11	3.64
19.5-21	3.48	20-21.5	3.32
30-32	3.34	30.31.5	3.34
62.64	3.25	43.5-45	3.52
92-94	3.1	63.5-65	3.48
132-134	3.04	84.5-85	4.42
168-170	3.1	106-108	3.3
		127-128.5	3.28
		157-161	3.11

Acidos grasos

Se identificaron un total de 38 ácidos grasos en todas las secciones analizadas. En la tabla 2 se observan las concentraciones de estos ácidos grasos en los 2 núcleos sedimentarios. En términos generales, los ácidos con mayor abundancia relativa fueron: $C_{16:0}$ (10-24 %), $C_{14:0}$ (4-12 %), $C_{a15:0}$ (4-8 %), $C_{a17:0}$ (2-6 %), $C_{18:0}$ (4-11 %), y $C_{24:0}$ (2-8 %) y los de menor abundancia son: $C_{13:0}$ (0.3-0.9 %), $C_{16:1w9}$ (0.5-2.0 %) y el $C_{18:3}$ (0.3-3 %).

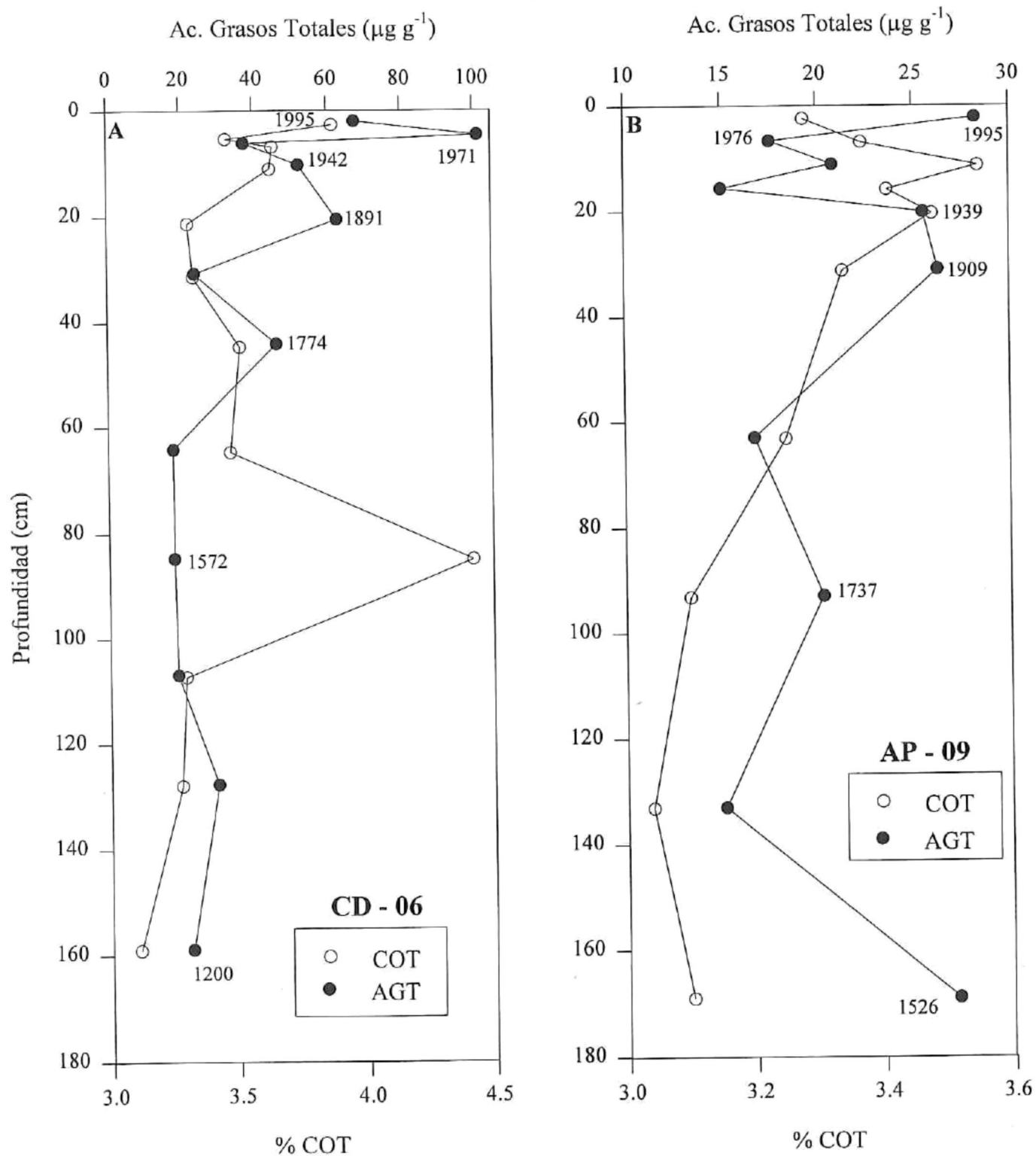


Figura 2. Perfiles de ácidos grasos totales (AGT)($\mu\text{g g}^{-1}$ de sed. seco) y carbono orgánico (COT)(%) A) Núcleo CD-06, B) Núcleo AP-09. El número cercano al símbolo (círculo cerrado) representa el año de depositación.

Los ácidos grasos totales decrecen de $67 \mu\text{g g}^{-1}$ en la superficie a $22 \mu\text{g g}^{-1}$ a 160 cm de profundidad en el núcleo CD-06 (Fig 2A). En el intervalo de 4.0-5.5 cm se observa un máximo de $101 \mu\text{g g}^{-1}$ y en los intervalos a profundidades entre 60 y 110 cm las concentraciones disminuye a un promedio de $18 \mu\text{g g}^{-1}$.

El perfil del núcleo AP-09 es más complejo (Fig 2B). La concentración de ácidos grasos totales es de $28 \mu\text{g g}^{-1}$ en la superficie y disminuye a $15 \mu\text{g g}^{-1}$ en el intervalo de 15.0-16.5 cm. Las concentraciones se incrementan de nuevo a valores $\sim 25 \mu\text{g g}^{-1}$ entre los 20 y 40 cm y a partir de ahí disminuyen con la profundidad hasta $\sim 15 \mu\text{g g}^{-1}$ a 133 cm de profundidad. Se observó un incremento hasta un valor de $27 \mu\text{g g}^{-1}$ en el intervalo más profundo (169 cm).

Agrupación de los ácidos grasos

Perfiles de ácidos grasos

Los ácidos grasos encontrados en los dos núcleos (Tabla 2) indican la presencia de varias fuentes, por lo que es necesario agruparlos en base a sus fuentes específicas para facilitar la interpretación de su variabilidad temporal (Chavez-Vargas, 1997; Canuel y Martens, 1996; Wakeham y Lee, 1989) (Tabla 3).

Tabla 2. Concentraciones totales y composición porcentual de ácidos grasos en los núcleos.

Profundidad (cm)	Conc. Total ($\mu\text{g g}^{-1}$)	% Total de ácidos grasos													
		12:O	13:O	i14:O	14:O	i15:O	a15:O	15:O	i16:O	16-1w7	16-1w9c	16-1w9t	16:O	10Me16:O	i17:O
0-4*	67	1.51	0.25	1.08	3.40	2.56	3.50	2.22	2.92	2.78	1.57	2.58	10.07	3.12	2.49
4-5.5*	101	6.40	0.89	1.69	9.28	2.72	4.74	3.43	1.29	2.09	0.56	1.12	24.22	1.28	1.20
5.5-7*	38	1.80	0.51	1.65	7.08	3.85	5.40	2.67	0.82	2.01	1.09	1.65	12.87	2.43	1.21
10-11*	52	0.91	0.42	0.94	7.52	2.76	4.81	2.21	1.66	1.51	0.64	0.92	17.62	1.52	1.12
20-21.5*	63	3.50	3.49	2.07	5.18	3.39	4.09	3.26	1.46	1.18	1.25	1.32	10.15	2.43	3.28
30.31.5*	24	1.18	0.92	1.83	9.44	3.66	5.42	3.10	0.77	1.70	0.81	1.02	18.69	1.93	2.32
43.5-45*	46	1.48	3.11	1.39	4.06	2.36	2.84	1.95	2.80	1.30	1.66	3.01	7.76	2.87	1.96
63.5-65*	18	1.86	1.75	0.90	10.53	3.26	5.29	1.88	2.02	0.64	0.51	0.69	20.36	0.66	2.31
84.5-85*	18	2.71	2.99	3.54	5.69	2.27	3.41	2.54	3.13	3.20	1.99	2.73	10.69	1.98	2.48
106-108*	19	1.95	0.99	1.12	9.72	3.68	5.03	3.38	2.20	1.99	0.71	1.35	19.09	1.56	1.72
127-128.5*	29	2.43	1.04	0.83	6.02	2.91	3.21	0.30	0.93	1.82	1.78	1.48	13.02	2.10	2.28
157-161*	22	2.25	1.47	2.58	9.08	3.94	4.71	3.07	2.69	1.73	0.40	1.07	14.74	1.80	2.15
1.5-3^	28	1.13	0.67	1.93	7.86	4.66	8.18	2.57	1.71	3.26	0.84	1.17	17.19	3.29	1.60
6 - 7.5^	18	0.87	0.31	1.13	7.17	3.99	7.27	1.84	1.54	2.76	0.61	1.02	18.18	2.97	1.18
10.5 - 12^	21	0.95	0.38	1.22	8.07	3.92	7.21	2.68	1.72	3.02	0.57	0.85	19.18	2.21	1.26
15 - 16.5^	15	0.96	0.83	1.41	8.21	3.94	7.04	1.95	1.72	1.80	0.47	0.79	18.19	2.10	1.21
19.5-21^	26	1.49	0.54	1.36	9.84	3.88	6.90	3.35	2.05	1.79	0.58	0.82	22.57	1.92	1.33
30-32^	26	1.26	0.72	1.54	6.55	3.43	5.64	6.37	2.83	1.76	1.63	2.28	16.37	2.02	1.66
62.64^	17	1.69	0.74	2.02	11.37	3.72	5.47	3.59	1.98	1.44	0.84	0.98	23.40	1.60	1.17
92-94^	20	1.48	1.13	1.97	12.57	3.89	4.92	4.05	2.20	1.25	1.36	0.77	23.75	1.43	1.76
132-134^	15	1.19	0.48	1.32	11.82	3.30	4.39	3.46	1.72	1.16	0.49	0.58	26.37	1.12	1.40
168-170^	27	2.67	0.92	1.79	11.98	3.21	4.17	3.40	2.35	1.20	1.00	1.15	20.65	1.65	1.82

* Secciones del núcleo CDO6

^Secciones del núcleo APO9

Nota: Nomenclatura de los ácidos grasos, ver anexo

Tabla 2. Continua...

% Total de ácidos grasos															
a17:0	17:0I	17:0	18-2w9,12	18-1w7	18-1w9	18:3	18:0	20:PUFA	20:0	22:PUFA	22:0	24:0	26:0	28:0	30:0
4.29	4.02	3.64	3.72	4.41	3.06	1.61	5.22	4.46	2.53	2.36	3.11	3.10	2.14	2.06	0.91
2.60	0.38	2.46	4.93	5.03	2.34	0.24	10.85	1.15	1.40	0.23	1.07	1.05	1.29	1.74	0.84
3.75	0.45	2.54	2.55	4.00	3.02	0.61	5.60	3.68	2.68	2.40	3.92	4.28	2.40	2.21	1.51
2.24	0.94	2.01	1.49	2.87	1.20	0.82	5.58	2.14	3.32	2.26	3.23	6.15	5.98	6.64	2.85
6.23	2.83	4.64	0.88	1.47	0.81	0.93	4.84	1.98	1.39	1.34	2.67	4.52	5.98	3.27	1.64
4.79	0.83	3.73	1.99	2.73	1.69	0.80	6.06	2.02	2.83	1.82	3.51	3.21	2.57	2.10	0.97
2.81	3.90	3.83	1.38	4.09	3.80	1.98	5.42	4.38	4.22	1.77	3.93	4.62	3.76	2.26	0.70
5.26	0.51	1.64	0.75	2.91	1.19	0.56	8.07	2.20	3.88	1.72	4.29	5.28	3.15	1.85	1.51
2.54	1.36	3.35	1.06	3.61	2.54	2.35	3.15	4.28	2.45	5.02	2.24	3.58	2.41	1.67	1.36
2.98	0.99	3.74	1.17	1.40	1.52	0.89	5.75	3.04	2.39	1.94	2.68	3.37	3.13	2.72	1.44
2.59	0.61	2.13	1.11	5.09	5.42	0.49	7.36	4.96	11.38	0.80	2.48	2.86	2.20	2.61	1.26
3.61	0.44	2.85	1.74	2.83	1.89	1.66	7.09	2.19	2.60	1.01	2.95	3.23	2.23	2.14	1.24
1.89	0.93	2.05	1.86	3.22	3.64	3.64	5.32	4.34	2.24	1.37	2.33	3.33	2.40	1.24	0.75
1.84	0.67	1.84	1.84	3.38	3.02	3.07	4.97	2.20	2.36	1.43	3.69	6.66	4.45	2.30	1.02
1.92	0.55	2.07	1.23	3.15	2.31	0.31	5.60	1.84	2.59	1.38	3.74	6.33	5.33	3.20	1.29
1.97	0.60	2.88	1.29	2.72	2.67	0.72	6.14	2.01	2.61	1.14	3.47	5.87	3.97	2.01	1.92
3.78	0.61	2.46	1.39	3.10	1.84	0.49	6.49	1.74	2.37	1.47	2.53	3.83	3.14	2.09	1.13
2.12	1.12	2.20	0.76	2.75	1.22	0.35	4.97	1.85	2.31	1.20	4.15	7.87	4.19	2.43	1.09
3.71	0.90	2.19	1.46	4.01	1.46	0.62	6.47	1.32	2.22	0.85	2.55	3.24	2.59	1.91	0.81
3.22	1.05	3.47	1.10	2.96	0.90	0.20	5.42	1.21	1.76	1.67	1.88	2.52	2.32	1.51	1.29
3.33	0.58	2.67	1.02	3.46	1.09	0.92	6.95	1.58	2.28	1.20	2.51	3.59	3.45	2.39	1.17
2.19	1.13	3.09	1.03	4.00	1.10	0.94	5.29	2.21	1.39	0.93	2.32	3.77	4.90	1.20	0.75

Tabla 3. Ácidos grasos utilizados como biomarcadores para determinar las contribuciones de las fuentes para cada grupo.

Fitoplancton	Zooplancton	Bacterias	Terrestre
C _{16:1w9}	C _{18:2w9}	C _{i15:0}	C _{22:0}
C _{16:1w7}	C _{18:1w7}	C _{i16:0}	C _{24:0}
C _{20:PUFA}	C _{18:1w9}	C _{i17:0}	C _{26:0}
C _{22:PUFA}	C _{18:1w3}	C _{a15:0}	C _{28:0}
		C _{a17:0}	C _{30:0}

En las figuras 3 y 4 se presenta la abundancia relativa de los ácidos grasos a tres diferentes intervalos de profundidad, para los núcleos AP-09 y CD-06 respectivamente. Algunos ácidos grasos representativos de la misma fuente pueden presentar comportamientos distintos. Por ejemplo, el ácido graso C_{10Me16:0} representativo de bacterias disminuye en su abundancia conforme a profundidad en ambos núcleos, mientras que el ácido graso C_{a15:0}, también biomarcador de bacterias, en el núcleo CD-06 se mantiene constante (~3 %) y en el núcleo AP-09 disminuye hacia los 90 cm de profundidad. Por otra parte, la figura 3 y 4 muestran que en el estrato intermedio de ambos núcleos los ácidos grasos de origen terrígeno (C_{22:0} a C_{30:0}) aumentan en su abundancia.

Las figuras 5 y 6 muestran la contribución relativa de cada grupo, aunque es importante aclarar que esta contribución se calculó únicamente en base a los

ácidos grasos más específicos (tabla 3). Es decir, que ácidos grasos relativamente abundantes como el C_{16:0} y el C_{14:0} no se incluyeron en la cuantificación ya que pueden corresponder a más de una fuente. Por ejemplo el ácido graso C_{14:0} ha sido utilizado por algunos autores como biomarcador fitoplanctónico (e.g. Canuel y Martens, 1996), sin embargo, también ha sido reportado en la fracción de fosfolípidos en sedimentos (Rajendran *et al.*, 1994), por lo que es posible que lo sinteticen bacterias de sedimentos marinos como ocurre con bacterias de suelos terrestres (Zelles, 1997). Por lo tanto, las contribuciones que se presentan en la figura 5, no representan la contribución absoluta de cada fuente al “pool” de ácidos grasos totales.

Los porcentajes de cada fuente y sus respectivos perfiles son, en general, similares en ambos núcleos (Fig. 5). Cerca de la interfase agua-sedimento predominan los ácidos grasos bacterianos, mientras que los grupos fitoplanctónico, terrígeno y zooplanctónico mantienen proporciones similares (~20 %). En los sedimentos subsuperficiales los ácidos grasos de fuente terrígena incrementan su abundancia, mientras que los zooplanctónicos decrecen. En general, con excepción del grupo fitoplanctónico del núcleo CD-06, la abundancia relativa de todos los grupos en ambos núcleos muestra una gran variabilidad en los primeros 60 centímetros y por debajo de este intervalo se mantienen relativamente constantes (Fig. 6).

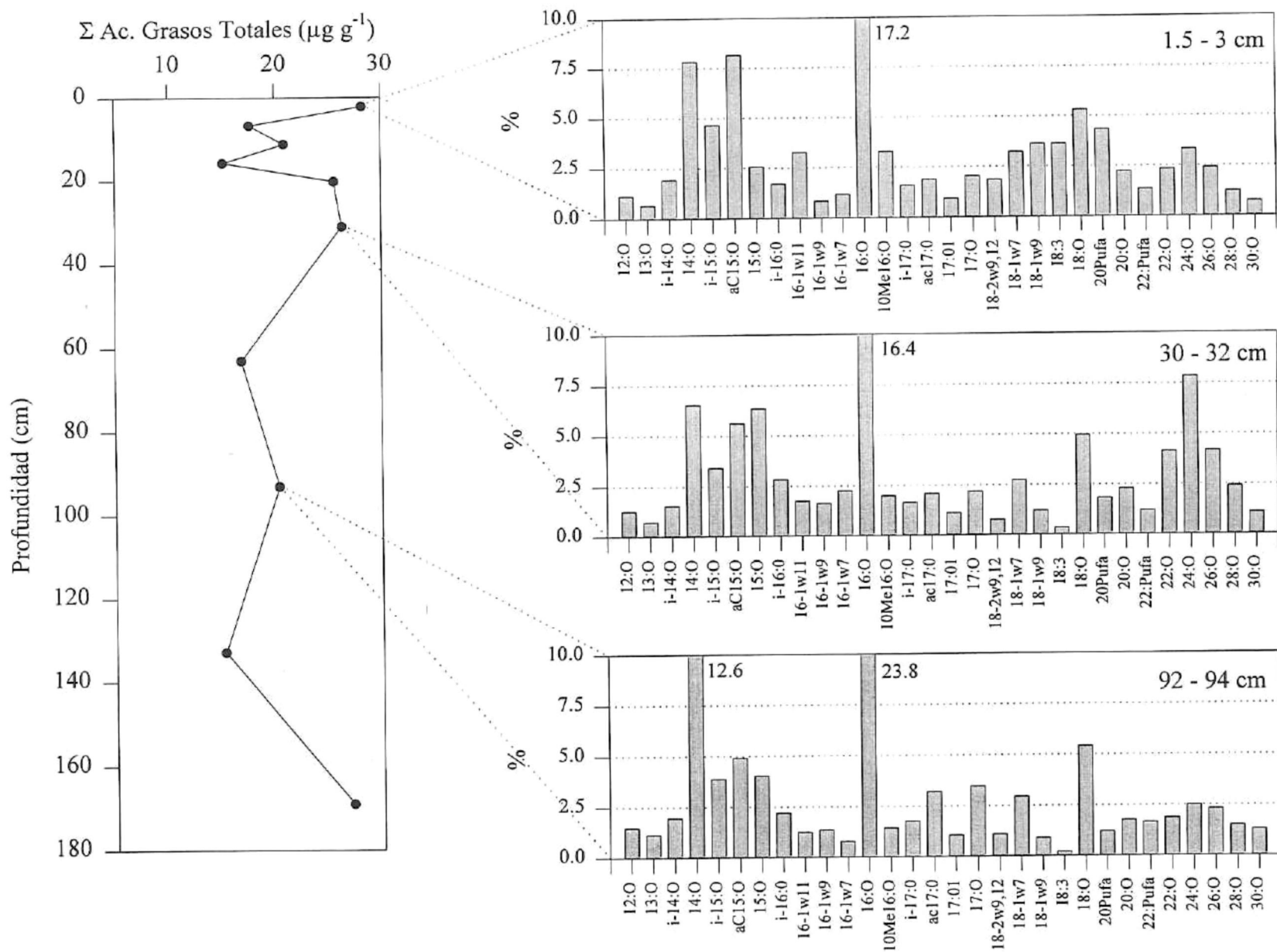


Figura 3. Perfil de concentración ($\mu\text{g g}^{-1}$ de sed. seco) e histogramas de ac. grasos (% , respecto a la concentración) a diferentes intervalos de profundidad en el núcleo AP-09.

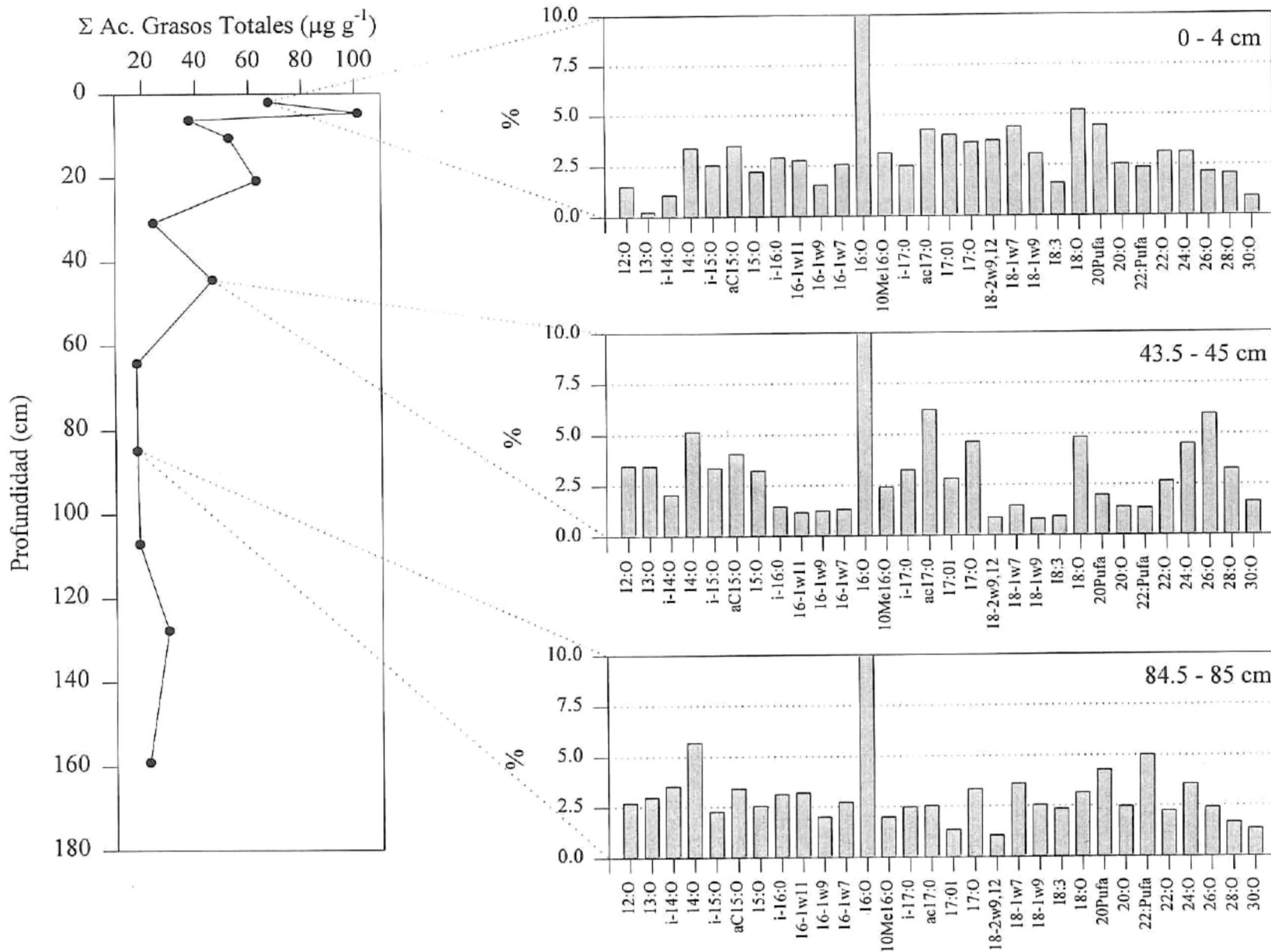


Figura 4. Perfil de concentración ($\mu\text{g.g}^{-1}$ sed. seco) e histogramas de ac. grasos (% respecto a la concentración) a diferentes intervalos de profundidad en el núcleo CD-06.

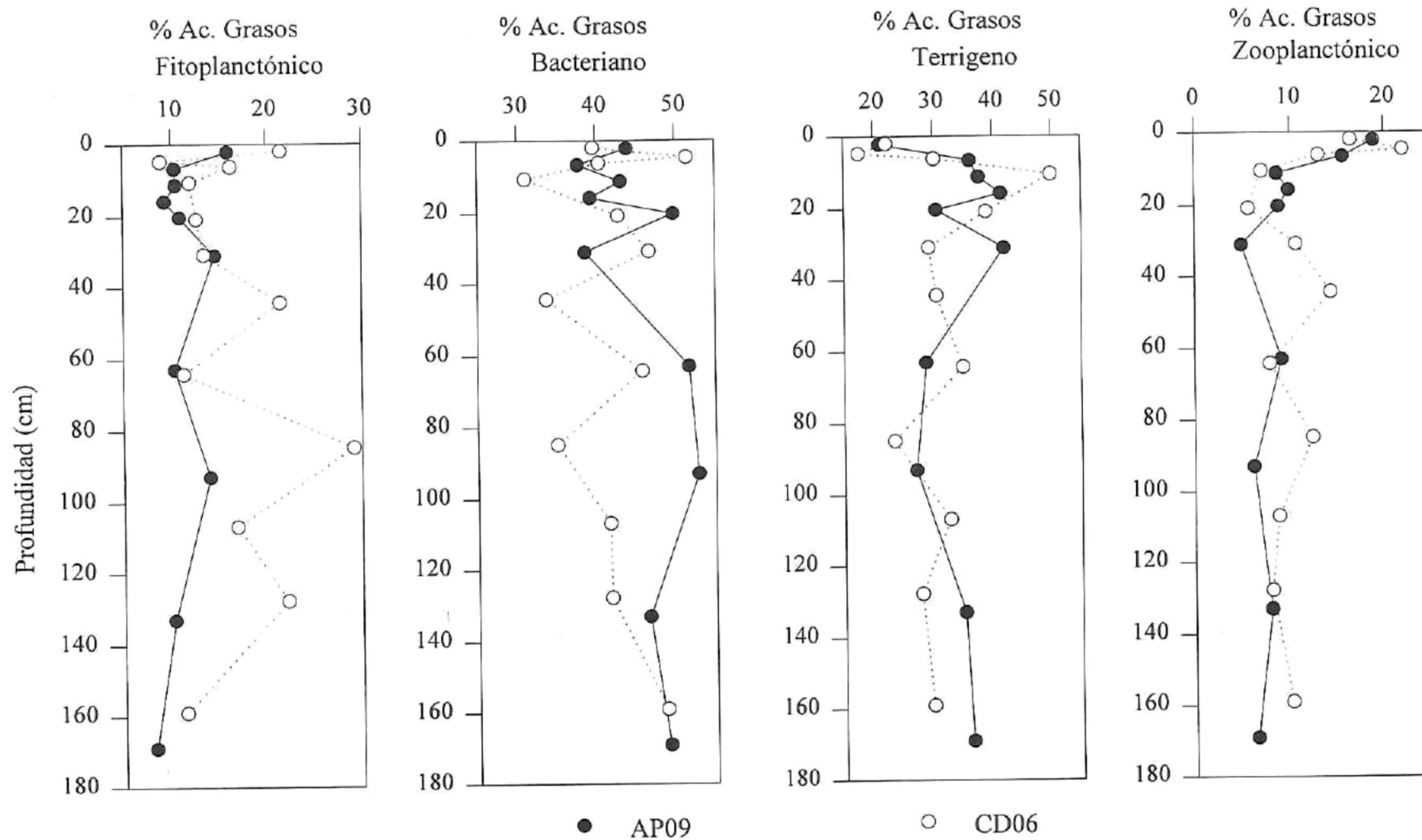


Figura 5. Perfiles de ácidos grasos por grupo (%) en los núcleos AP-09 y CD-06

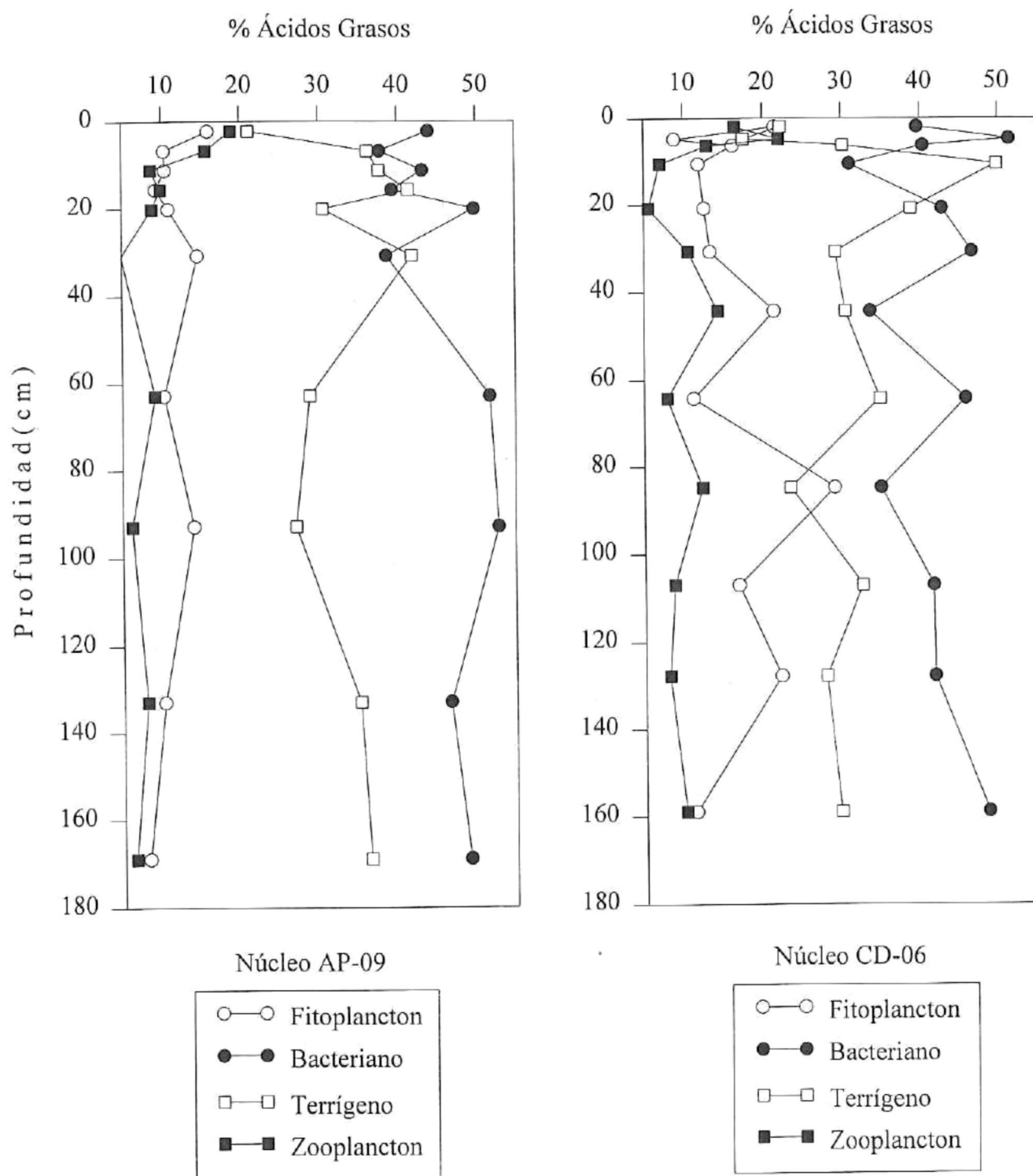


Figura 6. Perfiles de ácidos grasos por fuentes (%) en los núcleos AP-09 y CD-06.

Análisis estadístico multivariado

Una de las técnicas modernas aplicadas a la determinación de la procedencia de fuentes de MO es el análisis multivariado de datos geoquímicos y sedimentarios (Colombo *et al.*, 1997; Davis, 1986). El análisis de grupo se caracteriza por asociar a las variables que presentan un índice de similitud alto, obteniéndose un dendrograma en modo R (variable vs variable) que se presenta en la figura 7. Este análisis reveló la presencia de cinco grupos, utilizando una distancia de corte (1-r Pearson) de 1.0. De estos 5 grupos, 4 aglomeraron ácidos grasos de fuentes específicas. Dos de los grupos incluyen principalmente biomarcadores bacterianos, un grupo biomarcadores terrígenos y un grupo biomarcadores planctónicos. El quinto grupo incluyó ácidos grasos de fuentes diversas, incluyendo la zooplanctónica, fitoplanctónica y bacteriana.

Con el análisis discriminante se confirmó que los grupos formados en el análisis de grupo fueron significativamente diferentes. Como lo indica la Tabla 4, los valores de p para las diferencias entre grupos fueron todos menores que 0.05, por lo que las diferencias son significativas a un nivel de 95% de confianza.

Tabla 4. Valores de la distancia de Mahalanobi y F de Snedecor obtenidos del análisis discriminante de los grupos de ácidos grasos definidos con análisis de grupo.

Estimador	D			
	Bacteriano	Plancton	Terrígeno	Mezcla
Plancton	4790			
Terrígeno	785	2226		
Mezcla	276	3019	209	
Bacteriano	1210	1292	271	416
Estimadores	F (g.l. 22,3) : p*			
Grupo	Bacteriano	Plancton	Terrígeno	Mezcla
Plancton	60.48 : 0.003			
Terrígeno	8.36 : 0.042	21.68 : 0.014		
Mezcla	5.05 : 0.030	47.50 : 0.004	2.67 : 0.047	
Bacteriano	12.89 : 0.029	12.59 : 0.030	2.31 : 0.049	5.32 : 0.047

D: valor de la distancia de Mahalanobi

F: valor de la F de Snedecor

g.l.: grados de libertad

p*: nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Aunque los sedimentos del área de estudio reflejan una gran diversidad de fuentes de MO, con la finalidad de entender los controles en la variabilidad composicional se realizó un análisis factorial para los ácidos grasos, encontrándose 5 factores que explican aproximadamente el 71 % de la varianza total. En la figura 8 se muestra la carga de cada ácido graso hacia los primeros 5 factores. El factor 1, que explica el 27 % de la varianza total, se compone de biomarcadores fitoplanctónicos con cargas positivas y bacterianos con cargas negativas. El factor 2 (15 %) incluye los biomarcadores terrígenos con cargas negativas y 2 ácidos grasos zooplanctónicos con carga positiva. El factor 3 (14 %) incluye principalmente ácidos grasos zooplanctónicos con cargas negativas y

bacterianos con cargas positivas. El factor 4 (10 %) incluyó ácidos grasos de varias fuentes, mientras que ácidos bacterianos de 17 carbonos se asociaron al factor 5 (6 %).

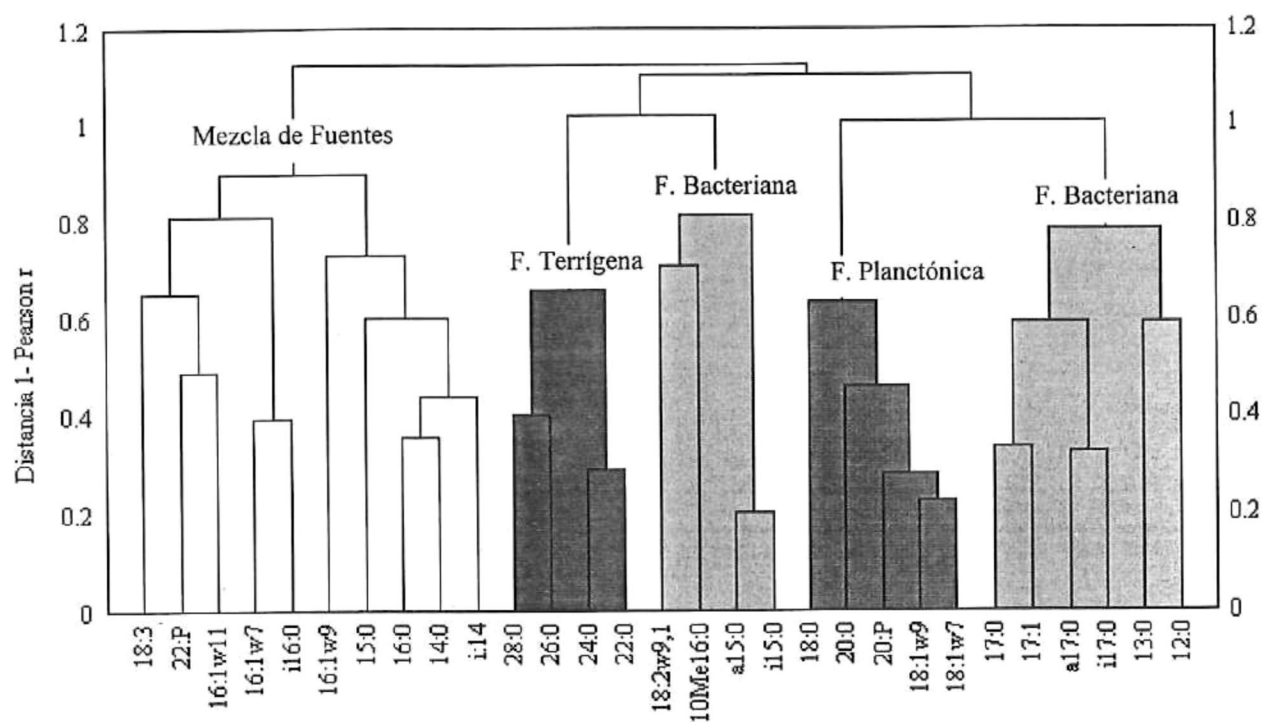


Figura 7. Dendrograma del Análisis de Grupo (modo -R) para los ácidos grasos. La medida de distancia es $(1-r)$ del Coeficiente de Correlación de Pearson y el método de Aglomeración Promedio entre Grupos (APG).

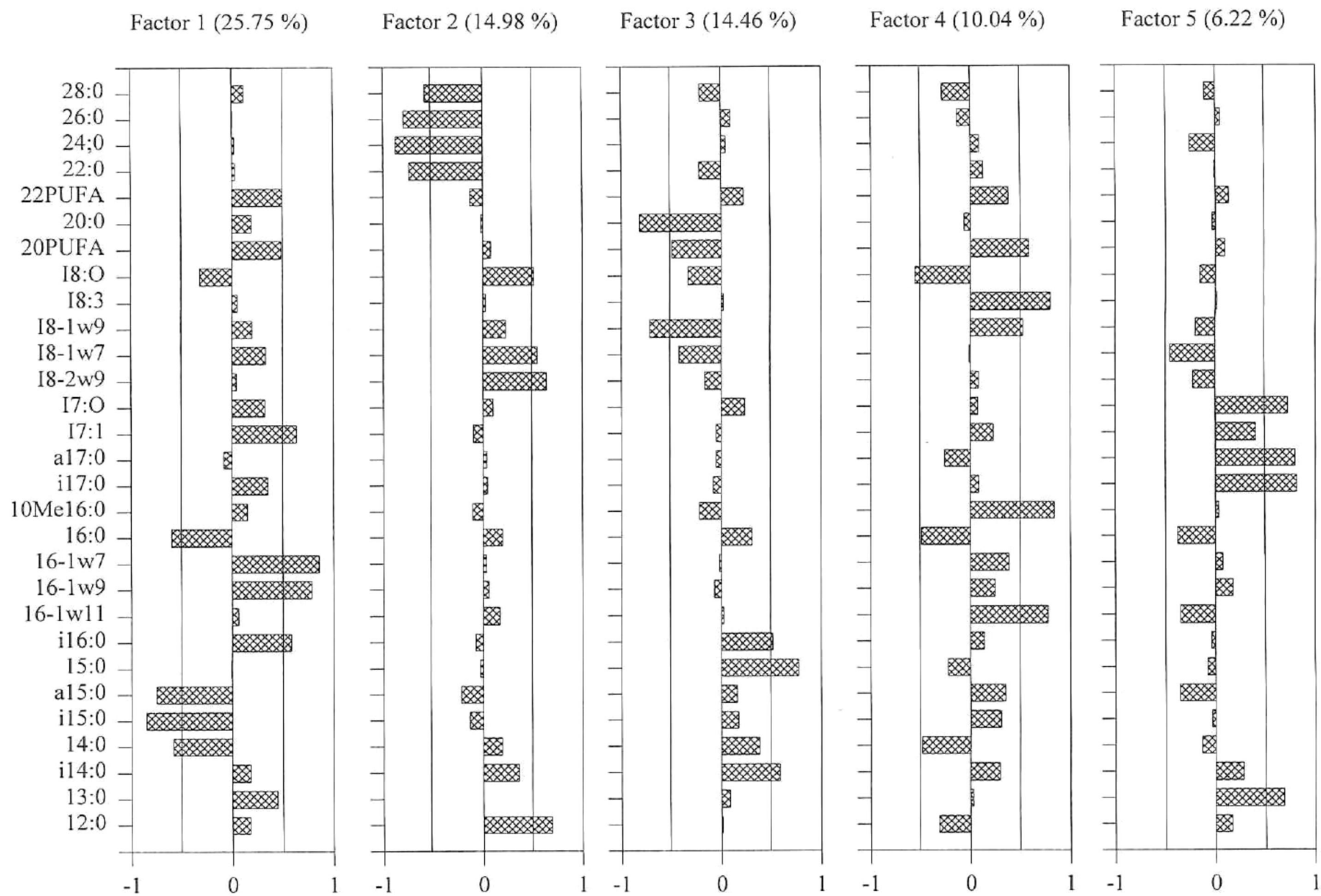


Figura 8. Carga de los ácidos grasos hacia los primeros cinco factores

Razones (velocidades) de degradación

Las razones (R) y las constantes (k') de degradación calculadas en este estudio representan procesos netos; esto es, que los cambios en la concentración total reflejan la combinación de varios efectos como: (1) aportes (*e.g.*, el flujo de constituyentes en la interfase sedimento-agua); (2) pérdidas por descomposición en la interfase sedimento-agua; y (3) producción *in situ* debida a procesos microbianos que ocurren en la columna de sedimento (Canuel y Martens, 1996).

Los valores de R y k' fueron calculados para cada intervalo analizado (Tablas 5 y 6), hasta una profundidad de 60 cm para los dos núcleos, ya que a partir de estas profundidades la concentración en los perfiles de ácidos grasos permanece relativamente constante (anexo, Fig. A2).

Para efectos de este estudio solo se escogieron aquellos ácidos grasos representativos de cada fuente, así como para hacer comparables las razones o velocidades de degradación con otros estudios.

Los ácidos grasos saturados de cadena media ($C_{14:0}$ y $C_{18:0}$) tienen razones de degradación más altas que los ácidos grasos de cadena larga ($C_{24:0}$). Por ejemplo, los valores promedio de R para los ácidos $C_{14:0}$ y $C_{18:0}$ en el núcleo AP-09 (Tabla 5) fueron 0.018 y $0.064 \mu\text{g g}^{-1} \text{año}^{-1}$ mientras que para el ácido $C_{24:0}$ fue $0.012 \mu\text{g g}^{-1} \text{año}^{-1}$. Para el núcleo CD-06 (Tabla 6) los valores de R fueron 0.028 , 0.019 y $0.012 \mu\text{g g}^{-1} \text{año}^{-1}$ para los ácidos $C_{14:0}$, $C_{18:0}$ y $C_{24:0}$ respectivamente.

Ácidos grasos monoinsaturados ($C_{16:1w7}$, $C_{18:1w7}$) tienen razones de reactividad más bajas que los ácidos grasos poliinsaturados (PUFAS). Por ejemplo, los valores promedio de R para los ácidos $C_{16:1w7}$ y $C_{18:1w7}$ del núcleo AP-09 fueron 0.025 y 0.027 $\mu\text{g g}^{-1} \text{año}^{-1}$, mientras que para los ácidos grasos poliinsaturados fue 0.044 $\mu\text{g g}^{-1} \text{año}^{-1}$. Para el núcleo CD-06 los valores promedio de R fueron 0.022, 0.032 y 0.055 $\mu\text{g g}^{-1} \text{año}^{-1}$ para los ácidos $C_{16:1w7}$, $C_{18:1w7}$ y PUFAS respectivamente. Bajas razones de degradación son observadas en los ácidos grasos ramificados $C_{11:5:0}$ y C_{a17} (0.003 y 0.006 $\mu\text{g g}^{-1} \text{año}^{-1}$) en el núcleo AP-09, mientras que en el núcleo CD-06 se observan razones en promedio más altas (0.037 y 0.025 $\mu\text{g g}^{-1} \text{año}^{-1}$). Por otra parte, la razón de degradación para los ácidos grasos totales del núcleo AP-09 es mayor que la del núcleo CD-06.

Las constantes de degradación para los ácidos grasos van desde 0.001 a 0.092 año^{-1} en el núcleo AP-09 (Tabla 5) y de 0.001 a 0.087 año^{-1} en el núcleo CD-06 (Tabla 6). Los valores promedio de k' de ácidos grasos saturados de cadena corta en el núcleo AP-09 fueron mayores que los saturados de cadena larga del mismo núcleo, sin embargo, estos valores fueron similares en el núcleo CD-06. La k' promedio de ácidos grasos monoinsaturados del núcleo AP-09 (0.004 a 0.017 año^{-1}) es más baja que la de los ácidos grasos poliinsaturados (0.021 año^{-1}). El mismo comportamiento se observa en el núcleo CD-06 donde los valores promedio de k' para los monoinsaturados fueron 0.010 a 0.018 año^{-1} y

para los poliinsaturados de 0.020 año^{-1} . En el caso de los ácidos grasos ramificados, en ambos núcleos el $C_{11:0}$ presentó valores promedio de k' mayores que el $C_{17:0}$.

Tabla 5. Razones (R) y constantes (k') de degradación para algunos ácidos grasos del núcleo AP-09

Componentes Acidos grasos	Profundidad (cm)	R ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{ año}^{-1}$)	k' (año^{-1})
14:0	6.75	0.040	0.022
	11.25	0.024	0.013
	15.75	0.018	0.010
	20.25	0.013	0.000
	31	0.009	0.005
	63	0.004	0.002
	Promedio	0.018	0.009
18:0	6.75	0.213	0.092
	11.25	0.118	0.046
	15.75	0.090	0.038
	20.25	0.057	0.019
	31	0.006	0.006
	63	0.003	0.003
	Promedio	0.081	0.034
16:1w9	6.75	0.026	0.039
	11.25	0.024	0.027
	15.75	0.013	0.019
	20.25	0.002	0.002
	31	0.001	0.009
	63	0.001	0.004
	Promedio	0.011	0.017
i15:0	6.75	0.007	0.039
	11.25	0.004	0.026
	15.75	0.003	0.017
	20.25	0.002	0.000
	31	0.002	0.009
	63	0.001	0.004
	Promedio	0.003	0.016
a17:0	6.75	0.013	0.017
	11.25	0.008	0.011
	15.75	0.006	0.007
	20.25	0.004	0.000
	31	0.003	0.004
	63	0.001	0.002
	Promedio	0.006	0.007
17:1	6.75	0.007	0.016
	11.25	0.005	0.011
	15.75	0.003	0.007
	20.25	0.002	0.000
	31	0.002	0.004
	63	0.001	0.002
	Promedio	0.003	0.007

Tabla 5... continua

16:1w7	6.75	0.182	0.016
	11.25	0.012	0.018
	15.75	0.010	0.017
	20.25	0.009	0.002
	31	0.006	0.012
	63	0.003	0.006
	Promedio	0.037	0.012
18:1W7	6.75	0.123	0.007
	11.25	0.024	0.008
	15.75	0.004	0.004
	20.25	0.004	0.001
	31	0.003	0.003
	63	0.002	0.003
	Promedio	0.027	0.004
24:O	6.75	0.026	0.021
	11.25	0.016	0.013
	15.75	0.011	0.009
	20.25	0.009	0.000
	31	0.006	0.004
	63	0.003	0.002
	Promedio	0.012	0.008
PUFA'S	6.75	0.166	0.051
	11.25	0.035	0.034
	15.75	0.025	0.024
	20.25	0.020	0.000
	31	0.013	0.012
	63	0.006	0.006
	Promedio	0.044	0.021
Ac. grasos tot.	6.75	2.755	0.074
	11.25	1.653	0.045
	15.75	1.181	0.032
	20.25	0.919	0.000
	31	0.600	0.016
	63	0.295	0.008
	Promedio	1.234	0.029
COT (R = mg g ⁻¹ año ⁻¹)	6.75	0.005	0.001
	11.25	0.004	0.003
	15.75	0.003	0.001
	20.25	0.004	0.000
	31	0.001	0.002
	63	0.000	0.000
	Promedio	0.003	0.001

Tabla 6. Razones (R) y constantes (k') de degradación para algunos ácidos grasos del núcleo CD-06

Componentes Acidos grasos	Profundidad (cm)	R ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{año}^{-1}$)	k' (año ⁻¹)
14:0	4.75	0.030	0.005
	6.25	0.022	0.005
	10.5	0.013	0.006
	20.45	0.012	0.004
	30.75	0.011	0.005
	64.25	0.008	0.003
	Promedio	0.028	0.005
18:0	4.75	0.049	0.005
	6.25	0.030	0.005
	10.5	0.011	0.006
	20.45	0.009	0.006
	30.75	0.008	0.005
	64.25	0.004	0.003
	Promedio	0.019	0.005
16:1w9	4.75	0.022	0.028
	6.25	0.020	0.029
	10.5	0.014	0.023
	20.45	0.007	0.012
	30.75	0.005	0.008
	64.25	0.002	0.004
	Promedio	0.012	0.017
i15:0	4.75	0.081	0.060
	6.25	0.058	0.045
	10.5	0.035	0.032
	20.45	0.024	0.018
	30.75	0.016	0.013
	64.25	0.008	0.007
	Promedio	0.037	0.029
a17:0	4.75	0.034	0.010
	6.25	0.037	0.012
	10.5	0.036	0.013
	20.45	0.026	0.012
	30.75	0.009	0.008
	64.25	0.005	0.005
	Promedio	0.025	0.010
17:01	4.75	0.037	0.014
	6.25	0.038	0.016
	10.5	0.033	0.017
	20.45	0.021	0.012
	30.75	0.014	0.009
	64.25	0.007	0.004
	Promedio	0.025	0.012

Tabla 6... continua

16:1w7	4.75	0.057	0.048
	6.25	0.022	0.014
	10.5	0.021	0.015
	20.45	0.014	0.013
	30.75	0.010	0.010
	64.25	0.005	0.005
	Promedio	0.022	0.018
18:1W7	4.75	0.123	0.013
	6.25	0.024	0.015
	10.5	0.020	0.014
	20.45	0.012	0.009
	30.75	0.008	0.006
	64.25	0.004	0.003
	Promedio	0.032	0.010
24:O	4.75	0.022	0.005
	6.25	0.018	0.005
	10.5	0.015	0.007
	20.45	0.009	0.006
	30.75	0.006	0.005
	64.25	0.003	0.004
	Promedio	0.012	0.005
PUFA'S	4.75	0.112	0.037
	6.25	0.096	0.034
	10.5	0.061	0.023
	20.45	0.031	0.012
	30.75	0.021	0.008
	64.25	0.010	0.004
	Promedio	0.055	0.020
Ac. grasos Tot.	4.75	0.292	0.004
	6.25	0.331	0.005
	10.5	0.357	0.006
	20.45	0.317	0.006
	30.75	0.268	0.005
	64.25	0.161	0.004
	Promedio	0.288	0.005
COT (R= mg g-Iaño-1)	4.75	0.170	0.005
	6.25	0.070	0.002
	10.5	0.050	0.001
	20.45	0.050	0.002
	30.75	0.040	0.001
	64.25	0.010	0.000
Promedio	0.065	0.002	

DISCUSIÓN

Carbono orgánico total

Los perfiles de concentración del COT de los 2 núcleos sedimentarios de la cuenca Delfin son comparados en la figura 2. Aunque el comportamiento es un tanto errático cerca de la superficie, existe la tendencia general a decrecer con la profundidad. Contrastando el COT de ambos núcleos, se nota que en la superficie el CD-06 tiene una concentración de 3.8% y es mayor a la del AP-09 (3.2%). Concentraciones similares de COT fueron reportados para sedimentos en el Lago Ontario y Erie (Meyer y Boubonniere, 1996) y Cape lookout Bight, N.C. (Haddad *et al.*, 1991). La diferencia en el contenido superficial de COT entre el núcleo AP-09 colectado a 355 m y el CD-06 colectado a 520 m de profundidad, es consistente con los resultados de Chávez-Vargas (1997) quien reportó que el COT en los sedimentos superficiales del NGC incrementa conforme aumenta la profundidad. Hacia profundidad en la columna sedimentaria, con excepción del intervalo de 80 cm del núcleo CD-06, casi se igualan las concentraciones de COT (~ 3.1 %) en ambos núcleos, debido a que la MO más lábil ya fue degradada, quedando presente MO refractaria (Fig 2).

El comportamiento del COT de un perfil sedimentario puede estar controlado por los tres siguientes factores: (1) tipo de sedimento, (2) condiciones

ambientales durante la depositación, y (3) razón de sedimentación (Louchouart *et al.*, 1997; Meyers *et al.*, 1980; Sun *et al.*, 1996).

Tal es el caso de los núcleos de la cuenca Delfin que se caracterizan por una textura arcillo-limosa, donde el contenido de humedad decrece poco por compactación, lo que probablemente ocasiona que el COT disminuya poco con respecto a la profundidad. Así mismo, la baja razón de depositación (0.36 cm/año para el AP-09 y de 0.2 cm/año para el CD-06) favorece que la materia orgánica más lábil permanezca más tiempo en la zona óxica y por lo tanto favorece su degradación. Sin embargo, la alta productividad primaria en la columna de agua y el potencial atrapamiento de partículas en el giro que ocurre sobre la cuenca Delfin favorecen el aporte de MO hacia los sedimentos. Por lo tanto, el balance entre los procesos que favorecen y limitan la acumulación de MO en los sedimentos de la cuenca Delfin, produce que la concentración de COT ~ 3% sea intermedia entre zonas ricas en carbono orgánico (*e.g.* costa frente Mazatlán con niveles de COT ~10%; Hartnett *et al.*, 1998), y zonas relativamente bajas en carbono orgánico (*e.g.* Alto Golfo de California con niveles < 1%; Chávez-Vargas, 1997).

En otros estudios el COT presenta diferencias más marcadas con respecto a la profundidad. Estos cambios son asociados principalmente a las características texturales del sedimento. Por ejemplo: Meyers *et al.* (1980) reportan para un

núcleo en el Lago Huron un decremento importante en el contenido de COT de 3 a 0.5% debido a la presencia de una capa arenosa; en otro núcleo del mismo sitio el COT no presenta cambios significativos, ya que la textura del sedimento es dominada por limos y arcillas. Por otra parte, las bajas razones de depositación y las condiciones ambientales del estuario St. Lawrence generan cambios mínimos en el comportamiento del COT con respecto a la profundidad (Louchouart *et al.*, 1997).

En el núcleo CD-06 se observa un máximo de COT a los 80 cm de profundidad. Esto puede deberse a algún aporte considerable tanto de fuentes alóctonas como autóctonas en la época que se depositaron esos sedimentos (alrededor de 1570). Louchouart *et al.* (1997) reportaron para el fiordo St. Fulgence concentraciones más altas de COT a los 2 cm de profundidad (> 45 mg/g). Estos autores concluyen que este máximo es ocasionado por una alta productividad primaria y/o aportes antropogénicos.

Ácidos grasos totales

En los intervalos de 5.5-11cm de profundidad (Núcleo CD-06) y de 16-21 cm (Núcleo AP-09) la concentración de los ácidos grasos totales disminuye hacia los estratos más recientes, coincidiendo con el período de disminución del aporte del Río Colorado (~1930) por la construcción de la presa Hoover. Como

consecuencia de esta obra, es probable que se haya dado un decremento en el abastecimiento de fuentes alóctonas hacia el NGC. Con excepción de los primeros 5 cm, el comportamiento de los ácidos grasos totales en los dos núcleos es muy similar, es decir, aumenta o disminuye en su concentración para tiempos iguales, entre los años 1620-1976. Tal comportamiento puede deberse a que los ácidos grasos totales de ambos núcleos son degradados similarmente y a que, por su cercanía, tienen aporte de las mismas fuentes de MO.

En el núcleo AP-09 la k' promedio de los ácidos grasos totales (0.029 año^{-1}) es mayor con respecto al núcleo CD-06 (0.005 año^{-1}), pudiéndose asociar a que hay una mejor representación de la diagénesis temprana en el núcleo AP-09 por tener una mayor tasa de sedimentación (Tablas 5 y 6). Esta hipótesis se basa en un estudio sobre diagénesis de ácidos grasos en sedimentos con una razón de sedimentación muy elevada ($\sim 10 \text{ cm año}^{-1}$), donde Canuel y Martens (1996) reportaron que es difícil observar la intensidad de la diagénesis temprana en sedimentos con bajas razones de sedimentación.

La concentración superficial de los ácidos grasos totales de los 2 núcleos ($67 \mu\text{g g}^{-1}$ para el CD-06 y $28 \mu\text{g g}^{-1}$ para el AP-09) es menor comparada con otros estudios. Por ejemplo, Colombo *et al.* (1997) reportaron concentraciones de ácidos grasos totales de 59 a $247 \mu\text{g g}^{-1}$ en 2 núcleos de 35 cm de profundidad en el Golfo de St. Lawrence; Sun y Wakeham (1993) encuentran para la cuenca del

Mar Negro concentraciones de $200 \mu\text{g g}^{-1}$. La posible explicación de esta diferencia, es que, a pesar de la alta producción primaria en columna de agua en el NGC, existe posiblemente una alta diagénesis en la columna de agua (Chavez-Vargas, 1997) favorecida por concentraciones de oxígeno disuelto permanentemente altas, además de un menor abastecimiento de MO de origen terrestre. Chávez-Vargas (1997) reportó concentraciones de ácidos grasos totales de 50 a $85 \mu\text{g g}^{-1}$ para sedimentos superficiales de la cuenca Delfin, las cuales son similares a las del presente estudio (Tabla 2).

Es interesante notar que no existe relación aparente entre el COT y la concentración de ácidos grasos totales ($r^2 = 0.002$, CD-06; $r^2 = 0.006$, AP-09) (Fig 2). Si los ácidos grasos forman parte del “stock” de la MO y por tanto del COT, podría esperarse que guardaran una relación directa al disminuir o al aumentar su concentración. Sin embargo, la falta de correlación se atribuye, parcialmente, a que los componentes que constituyen el COT se degradan a diferentes velocidades (Sun *et al.*, 1997). En este estudio, los valores de k' de los ácidos grasos totales (0.005 año^{-1} para el núcleo CD-06 y 0.029 año^{-1} para el AP-09) son mayores que los valores de k' para el COT (0.002 año^{-1} para el núcleo CD-06 y 0.001 año^{-1} para el AP-09), lo cual indica que los ácidos grasos totales son al menos 2.5 veces más lábiles que el COT.

Fuentes de ácidos grasos

Los ácidos grasos han sido utilizados como indicadores de fuentes específicas de MO a los sedimentos (*e.g.* Colombo *et al.*, 1997; Chávez-Vargas, 1997; Haddad *et al.*, 1991). Actualmente el uso de análisis estadísticos multivariados ha permitido definir, a través de la asociación de variables, las diversas fuentes (Chávez-Vargas, 1997; Sicre *et al.*, 1988).

El análisis de grupo y el análisis discriminante indican que los ácidos grasos en los dos núcleos analizados se pueden clasificar en 5 grupos estadísticamente distintos, a un nivel de confianza de 95 %. En general, estos grupos reúnen a los ácidos grasos de acuerdo a sus fuentes. Los resultados del análisis de factores (Modo R) ratifican parcialmente la conclusión del análisis de grupo, aunque los resultados de este análisis factorial también reflejan efectos diagenéticos.

Los factores 1, 2, 3 presentan una combinación de 2 fuentes inversamente correlacionadas. El factor 1 incluye fuentes fitoplanctónicas y bacterianas, ya que los ácidos grasos $C_{15:0}$ y $C_{11:0}$ suelen ser atribuidos a bacterias, mientras que los ácidos grasos $C_{16:1w9}$, $C_{16:1w7}$ y $C_{22:PUFA}$ representan fuentes fitoplanctónicas (Wakeham y Beier, 1991). Los ácidos grasos con cargas negativas en el segundo factor (C_{22} a C_{28}) indican una fuente de material terrígeno (Wakeham y Beier, 1991), mientras que los que tienen cargas positivas ($C_{18:0}$, $C_{18:1w7}$ y $C_{18:2w9}$)

reflejan una fuente zooplanctónica (Skerratt *et al.*, 1995). El factor 3 con cargas positivas para los ácidos grasos $C_{15:0}$, $C_{14:0}$ y $C_{16:0}$ indica una fuente bacteriana (Canuel y Martens, 1996). Por otro lado, el ácido $C_{18:1w9}$, con carga negativa, corresponde a fuentes zooplanctónicas (Skerratt *et al.*, 1995), mientras que el $C_{20:0}$ que no es un ácido graso específico, también presentó una carga negativa elevada en este factor. Este comportamiento se atribuye a que pueden tener un comportamiento diagenético similar, ya que el ácido graso $C_{20:0}$ puede provenir mayormente de zooplancton. Por otra parte el factor 5 indica una fuente netamente bacteriana ($C_{17:0}$, $C_{a17:0}$ y $C_{i17:0}$). El factor 4 presenta una mezcla de fuentes diversas tanto con cargas negativas como positivas, lo cual puede indicar que los procesos diagenéticos y en consecuencia las velocidades de degradación de los ácidos grasos en este factor sean similares.

Modelación cinética y degradación de ácidos grasos individuales.

Muchas de las reacciones y procesos que ocurren en la columna de agua y sedimentos se relacionan directa o indirectamente con la degradación de la MO. La MO se pueden dividir en varios componentes de acuerdo a su reactividad (*e.g.* lábil y refractaria), sin embargo, los procesos de degradación son comúnmente descritos con modelos sencillos, ya que interactúan varios mecanismos y reacciones que individualmente son difíciles de modelar (Middelburg, 1989).

El número de estudios en que se ha descrito la degradación de ácidos grasos en sedimentos marinos es limitado (*e.g.* ver Canuel y Martens, 1996; Sun y Wakeham, 1994; Haddad *et al.*, 1991). En todos estos estudios la degradación se ha descrito con un modelo de cinética de primer orden. Por ejemplo, Haddad *et al.* (1991) estudiaron los sedimentos de Cape Lookout Bight, Carolina del Norte, caracterizados por anoxia y una razón de depositación de 10 ± 1.7 cm año⁻¹. Estos autores utilizaron un modelo de cinética de primer orden en el que se supone que no existe producción “in situ” de ácidos grasos (*e.g.* por bacterias sedimentarias). En este modelo, la razón de mineralización de los componentes orgánicos está relacionada al producto de la constante aparente de la razón o velocidad de degradación y a la concentración de los ácidos en la interfase agua-sedimento. Haddad *et al.* (1991) concluyeron que los ácidos grasos de cadena larga, derivados de plantas terrestres, tienen una preservación preferencial en comparación con los otros ácidos grasos.

Por otro lado, Canuel y Martens (1997) aplicaron un modelo similar para la misma zona. Aprovechando la alta razón de depositación, estos autores colectaron sus muestras a intervalos cortos (días) con el objetivo de tener una mejor representación de la diagénesis temprana. La conclusión central del estudio anterior fue que en otros trabajos se subestiman las razones de degradación cerca de la interfase sedimento-agua en un orden de magnitud, ya que algunos ácidos

grasos presentan cambios en su concentración importantes en el orden de pocos días.

Sun y Wakeham (1996) determinaron la degradación de los lípidos en el Mar Negro, ambiente anóxico con razones de sedimentación $< 0.02 \text{ cm año}^{-1}$. Ya que sus datos no se ajustaban a un modelo sencillo porque no explicaba la concentración de los lípidos a mayores profundidades, estos autores aplicaron un modelo de cinética de primer orden pero con dos componentes: (1) un reservorio lábil y (2) un reservorio refractario. La ecuación que utilizaron fue la siguiente:

$$C = (C_1)_0 \exp\left(-\frac{K_1 C_2}{S}\right)$$

Donde:

C= concentración total de los componentes orgánicos.

C_1 = concentración de la fracción reactiva.

C_2 = concentración de la fracción refractaria.

K_1 = razón de degradación de la fracción reactiva.

S = razón de depositación.

En el presente estudio se utilizó un modelo de cinética de primer orden, ya que los datos se ajustaron a la ecuación de la regresión exponencial negativa, donde la razón de descomposición decrece con el tiempo. Se consideró que la fracción refractaria es una constante (tabla 2, Fig. 2), ya que la concentración de los ácidos grasos totales de los 60 cm a 180 cm de profundidad casi no cambia y

es en promedio $18 \mu\text{g g}^{-1}$ en ambos núcleos. Cabe mencionar que no se aplicó una prueba estadística, ya que solo se tiene un dato por intervalo de muestreo y además el comportamiento general de los ácidos grasos totales es similar a otros estudios (e.g. Colombo et al., 1997; Canuel y Martens, 1996). En la figura 6 la contribución de las diferentes fuentes de MO a la cuenca Delfin después de los 60 cm casi no cambia. Por lo tanto únicamente se modelaron los primeros 60 cm, por lo que conceptualmente el modelo aplicado es equivalente al de Sun y Wakeham (1994).

Tanto la R como la k' indican la descomposición de la MO con el tiempo, sin embargo, el valor de R depende de la concentración total de cada componente y es un valor de velocidad variable. Es por eso que la k' (valor de velocidad estandarizado) es más útil en la comparación de la intensidad de degradación (diagénesis) entre los ácidos grasos en una misma muestra, o entre muestras de sitios con diferente contenido de COT y ácidos grasos totales.

Los resultados de este estudio indican que los ácidos grasos de cadena larga (e.g., $\text{C}_{24:0}$) derivados de plantas vasculares terrestres, muestran un pequeño cambio en su concentración con respecto a la profundidad (Tabla 2), tanto en el núcleo AP-09 como en el CD-06. Por lo tanto, son diagenéticamente estables como lo indica la baja constante aparente ($k' < 0.006 \text{ año}^{-1}$) de la razón de degradación (Tablas 5 y 6). Si la MO derivada de fuente terrestre se degrada a una

razón lenta en el sedimento marino, posiblemente los cambios de esta fuente cerca de la superficie reflejan cambios de aportes continentales hacia el ambiente costero (Figura 3 y 4). Por otro lado, en ambos núcleos, los ácidos grasos monoinsaturados ($C_{16:1w7}$, $C_{16:1w9}$, $C_{18:1w7}$) y los poliinsaturados $C_{20:PUFA}$ y $C_{22:PUFA}$ que son derivados principalmente de fuentes fitoplanctónicas, tienen valores de k' promedio de 0.017 y 0.020 año⁻¹ respectivamente, lo que indica mayor labilidad que los terrígenos. Ácidos grasos ramificados ($C_{15:0}$, $C_{17:0}$) derivados de fuentes bacterianas tienen constantes bajas (~ 0.011 año⁻¹) en ambos núcleos (Tablas 5 y 6), con excepción del ácido graso $C_{15:0}$ ($k' = 0.029$ año⁻¹) en el núcleo CD-06.

Los factores que controlan la intensidad de la degradación de los ácidos grasos en sedimentos marinos está en función de: (1) el tamaño de la cadena (i.e. número de carbonos), (2) de la estructura molecular (principalmente número de insaturaciones), (3) de las fuentes y (4) de las condiciones físicas y químicas del medio ambiente depositacional (principalmente condiciones redox y razones de sedimentación) (Colombo *et al.*, 1997; Canuel y Martens, 1996; Sun y Wakeham, 1996; Haddad *et al.*, 1991).

Como en el presente trabajo, en otros estudios (*e.g.* ver Colombo *et al.*, 1997; Haddad *et al.*, 1991; Canuel y Martens, 1996) se ha observado que los ácidos grasos saturados de cadena corta (*i.e.* $C_{14:0}$ - $C_{18:0}$) presentan mayor

reactividad que los saturados con más de 20 carbonos. Sin embargo, Sun y Wakeham (1994) encontraron una menor reactividad para los ácidos $C_{14:0}$ y $C_{16:0}$ en comparación del $C_{24:0}$ en sedimentos del Mar Negro. Estos autores indicaron que una alta proporción de los ácidos grasos de cadena corta posiblemente fueron degradados durante la sedimentación de las partículas a lo largo de la columna de agua de 2100 m de profundidad, por lo tanto, una menor fracción (poco lábil) pudo ser degradada en los sedimentos. Por otro lado, los ácidos grasos de cadena larga resistieron mas la diagénesis en la columna de agua, por lo que una mayor fracción fue degradada en los sedimentos superficiales. Por lo tanto, en el presente estudio, los resultados de la reactividad de los ácidos grasos de cadena corta vs los de cadena larga, son consistentes con los estudios realizados en ecosistemas someros. Es decir, los aportes de material autóctono lábil (i.e. ácidos saturados de cadena corta) son mayores que en mares profundos, además, en el caso del NGC los ácidos grasos de origen terrígeno provienen primordialmente de la erosión del delta del Río Colorado, cuyo material orgánico debe ser relativamente refractario ya que se depositó hace muchos años. En general, el tamaño de las cadenas de los ácidos grasos está relacionado con las fuentes, es decir, los terrestres tiene alto peso molecular mientras que los de fuentes marinas, por ejemplo, las algas, contienen ácidos grasos de C_{14} - C_{18} . Por otra parte, las fluctuaciones de la calidad de la MO y de la condición de depositación

contribuyen a la diferencia en la degradación, ya que éstas controlan el contenido de oxígeno y por lo tanto, las condiciones redox del sistema. Una muestra de ello es la diferencia que existe entre el Mar Negro y el NGC es el contenido de oxígeno en la columna de agua y en los sedimentos; en el primero existen condiciones anóxicas, mientras que en el segundo existen condiciones óxicas aún a varios centímetros de profundidad en el sedimento.

En cuanto al número de insaturaciones, en el presente estudio, tienen mayor reactividad los ácidos grasos poliinsaturados ($k'=0.021$), que los ácidos grasos monoinsaturados ($k'=0.013$) y que los ramificados ($k'=0.012$) en ambos núcleos, coincidiendo con otros autores (Canuel y Martens, 1996; Sun y Wakeham, 1994). Incluso, la magnitud de las k' que aquí se reportan es, en general, similar a Canuel y Martens (1996). Por ejemplo, ácidos grasos poliinsaturados con valores de k' de 0.021 año^{-1} , ácidos grasos monoinsaturados ($C_{16:1w7}$) de 0.015 año^{-1} y ramificados ($C_{15:0}$) de 0.010 año^{-1} .

CONCLUSIONES

El análisis multivariado de clasificación permitió determinar cuatro fuentes de ácidos grasos hacia los sedimentos de la cuenca Delfin, siendo estas: fitoplancton, zooplancton, bacterias y material terrígeno.

La región de mayor intensidad diagenética para los ácidos en sedimentos de la cuenca Delfin son los primeros 60 cm de profundidad.

A pesar del comportamiento errático cerca de la superficie, la disminución en la concentración de los ácidos grasos totales desde ~1930 hacia estratos más recientes, puede ser una evidencia de la disminución en el abastecimiento de fuentes alóctonas hacia el NGC, por la disminución en la descargas del Río Colorado.

De manera general, el orden de reactividad de los ácidos grasos es: poliinsaturados > monoinsaturados > saturados de cadena corta > ramificados > saturados de cadena larga.

Los valores de k' para los ácidos grasos individuales en este trabajo, son

muy similares a los reportados en otros estudios de sedimentos someros y columna de agua óxica.

Los valores de k' obtenidos en este estudio se pueden utilizar como indicadores de la intensidad diagenética de los ácidos grasos en otros ambientes costeros similares.

REFERENCIAS

- Alvarez-Borrego, S. y J.R. Lara-Lara, 1991. The physical environment and productivity of the Gulf of California, pp. 555-567. En: Dauphin, J.P. y B.R.T. Simoneit, (eds), *The Gulf and Peninsular province of the Californias*. AAPG. Memoir 47.
- Bray, N.A., 1988. Water mass formation in the Gulf of California. *Journal Geophysical Research*, 93: 9223-9240.
- Baba, J., C.D. Peterson, y H.J. Shrader, 1991a. Modern fine-grained sediment in the Gulf of California during the last century, pp. 569 - 587. En: Dauphin, J.P. y B.R.T. Simoneit, (eds), *The Gulf and Peninsular province of the Californias*. AAPG . Memoir 47.
- Baba, J. C.D. Peterson, y H.J. Shrader, 1991b. Fine-grained terrigenous sediment supply and dispersal in the Gulf of California during the last century, pp. 589-602. En: Dauphin, J.P. y B.R.T. Simoneit, (eds), *The Gulf and Peninsular province of the Californias*. AAPG Memoir 47.
- Berner, R.A., 1980. *Early Diagenesis. A Theoretical Approach*. Princeton University Press, 241p.
- Canuel, A. y C. S. Martens, 1996. Reactivity of recently deposited organic matter: degradation of lipid compounds near the sediment-water interface. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60: 1793-1806.
- Carriquiry, J.D., 1993. Dinámica de sedimentación en el sistema del delta del Río Colorado. Resumen de la II Reunión Internacional sobre la Geología de la Península de Baja California. Ensenada, B.C.
- Colombo, J.C., N. Silverberg y J.N. Gearing, 1997. Lipid biogeochemistry in the Laurentian Trough-II. Changes in composition of fatty acids, sterols and aliphatic hydrocarbons during early diagenesis. *Organic Geochemistry*, 26: 257-274.
- Cupul-Magaña., A.L., 1994. Flujo de sedimentos en suspensión y nutrientes en la cuenca estuarina del Río Colorado. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México.

- Chavez-Vargas J.A., 1997. Acidos grasos como biomarcadores de las fuentes de carbono orgánico a los sedimentos superficiales de la parte norte del Golfo de California. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México.
- Davis C., 1986. Statistics and data analysis in geology. Second Ed. John Wiley and Sons. New York. 646 p.
- Farrington, J.W., S. M. Henrichs y R. Anderson, 1977. Fatty acids and PB-210 chronology of a sediment core from Buzzards Bay, Massachusetts. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 41:289-296.
- Haddad, R.I., C.S. Martens y J.W. Farrington, 1991. Quantifying early diagenesis of fatty acids in a rapidly accumulating coastal marine sediment. *Organic Geochemistry*, 19: 205-206.
- Killops, S.D. y V.J. Killops, 1993. *An introduction to Organic Geochemistry*. Longman Scientific and Technical. 256 pp.
- Lonsdale, P. 1989. Geology and tectonic history of the Gulf of California, pp. 499-521. En: Wintener, E.L., D.M. Hussong y R.W. Decker (Eds). *The geology of North America. Geological Society American*, vol. N.
- Louchouart, P., M. Lucotte, R. Canuel, J.P. Gagné y L.F. Richard, 1997. Sources and early diagenesis of lignin and bulk organic matter in the sediments of the Lower St. Lawrence Estuary and the Saguenay Fjord. *Marine Chemistry*, 58:3-26.
- Marinone, S.G. y M.F. Lavin, 1997. Mareas y corrientes residuales en el Golfo de California, pp. 117-144. En: Lavin, M.F. (Ed.) *Contribuciones a la Oceanografía en México*. Monografía No. 3. Union Geofísica Mexicana.
- Meyers, P.A., R.A. Bourbonniere, 1996. Sedimentary geolipid records of historical changes in the watersheds and productivities of lakes Ontario and Erie. *Limnology Oceanography*, 41:352-359.
- Meyers, P.A., R.A. Bourbonniere y N. Takeuchi, 1980. Hidrocarbons and fatty acids in two cores of lake Huron sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44:1215-1221.

- Middelburg, J.J., 1989. A simple rate model for organic matter decomposition in marine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53:1577-1581.
- Rajendran, N.O., O. Matsuda, Y. Urushigawa y V. Simidu, 1994. Characterization of microbial community structure in the surface sediment of Osaka Bay, Japan, by phospholipid fatty acid analysis. *American Society for Microbiology*, 60:248-257.
- Sanchez-Gonzalez A., 1997. Procedencia y dispersión de los sedimentos en el Norte del Golfo de California. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C., México.
- Santamaria-del-Angel, E.M., Alvarez-Borrego y F.E. Muller-Karger, 1994. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal Geophysical Research*, 99:7411-7421.
- Scribe, P., J. Fillaux, J. Laureillard, V. Denant y A. Saliot, 1990. Fatty acids as biomarkers of planktonic inputs in the stratified estuary of the Krka River, Adriatic Sea: relationship with pigments. *Marine Chemistry*, 32: 299-312.
- Sicre, M.A., J.L. Paillasseur, J.C. Marty y A. Saliot, 1988. Characterization of sewer samples using chemometric methods applied to biomarker fatty acids. *Organic Geochemistry*, 12:281-288.
- Skerratt, M.A., J.H., P.D. Nichols, T.A. McMeekin y H. Burton, 1995. Seasonal and interannual changes in planktonic biomass and community structure in eastern Antarctica using signature lipids. *Marine Chemistry*, 38: 219-231.
- Sun, M.Y. y S.G. Wakeham, 1994. Molecular evidence for degradation and preservation of organic matter in the anoxic Black Sea Basin. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58:3395-3406.
- Sun, M.Y., S.G. Wakeham y C. Lee, 1997. Rates and mechanisms of fatty acid degradation in oxic and anoxic coastal marine sediments of Long Island Sound, New York, USA. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61:341-355.
- Van Andel, T.H., 1964. Recent marine sediments of the Gulf of California, pp. 216-310. En: Van Andel, T.J. y G.G. Shor (eds), *Marine Geology of the Gulf of California: A Symposium*. AAPG Memoir 3.

- Wakeham, S.G. y J.A. Beier, 1991. Fatty acid and sterol of particulate matter in brackish and seasonally anoxic coastal Salt Pond. *Organic Geochemistry*, 16:703-713.
- Wakeham S.G. and Lee C., 1989. Organic geochemistry of particulate organic matter in the ocean: The role of particles in oceanic sedimentary cycles. *Organic Geochemistry*, 14:83-96.
- Zelles L., 1997. Phospholipid fatty acid profiles in selected members of soil microbial communities. *Chemosphere*, 35:275-294.

ANEXO

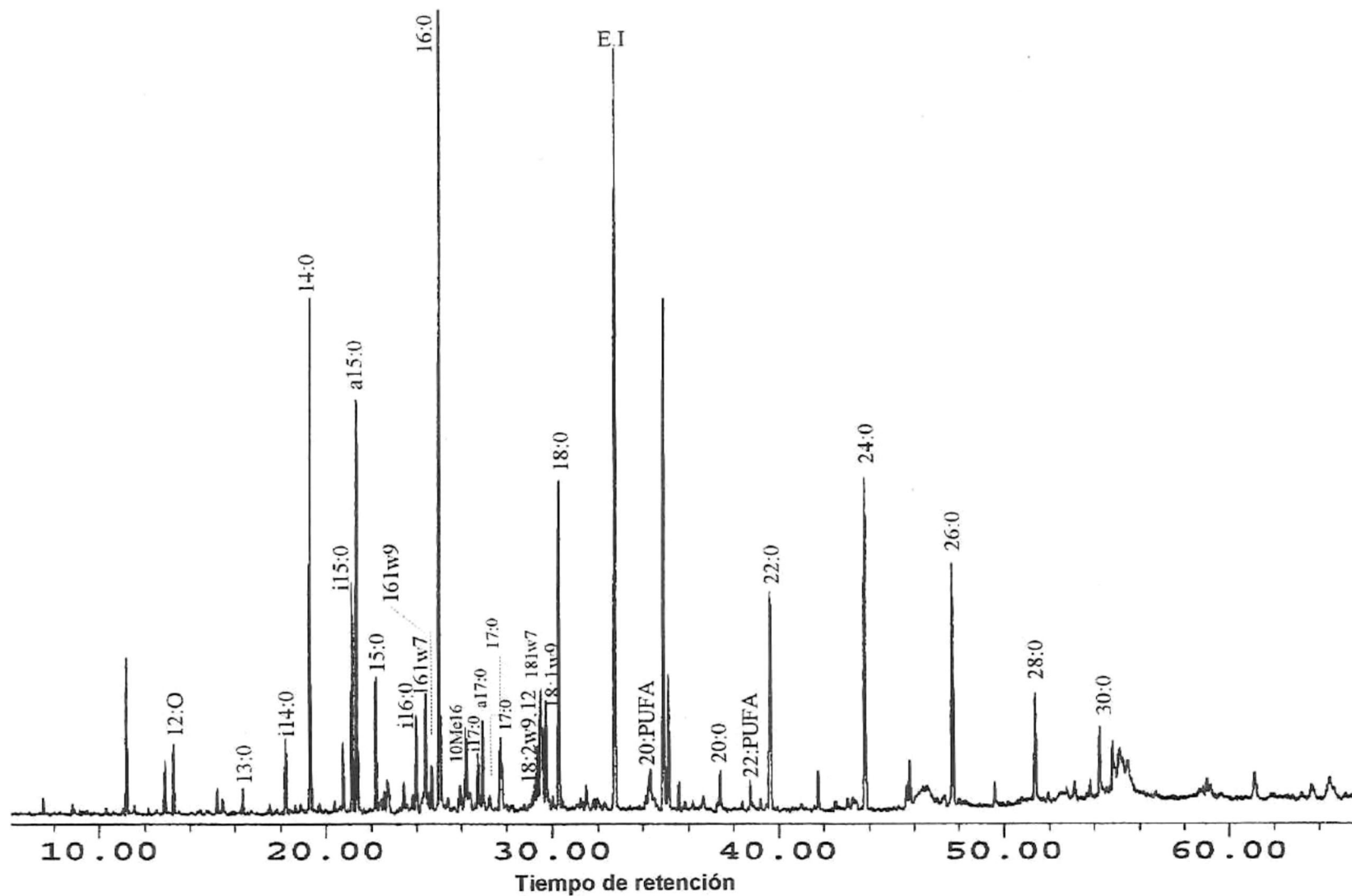


Figura A1. Cromatograma de ácidos grasos de la sección 1.5-3 cm del núcleo AP09

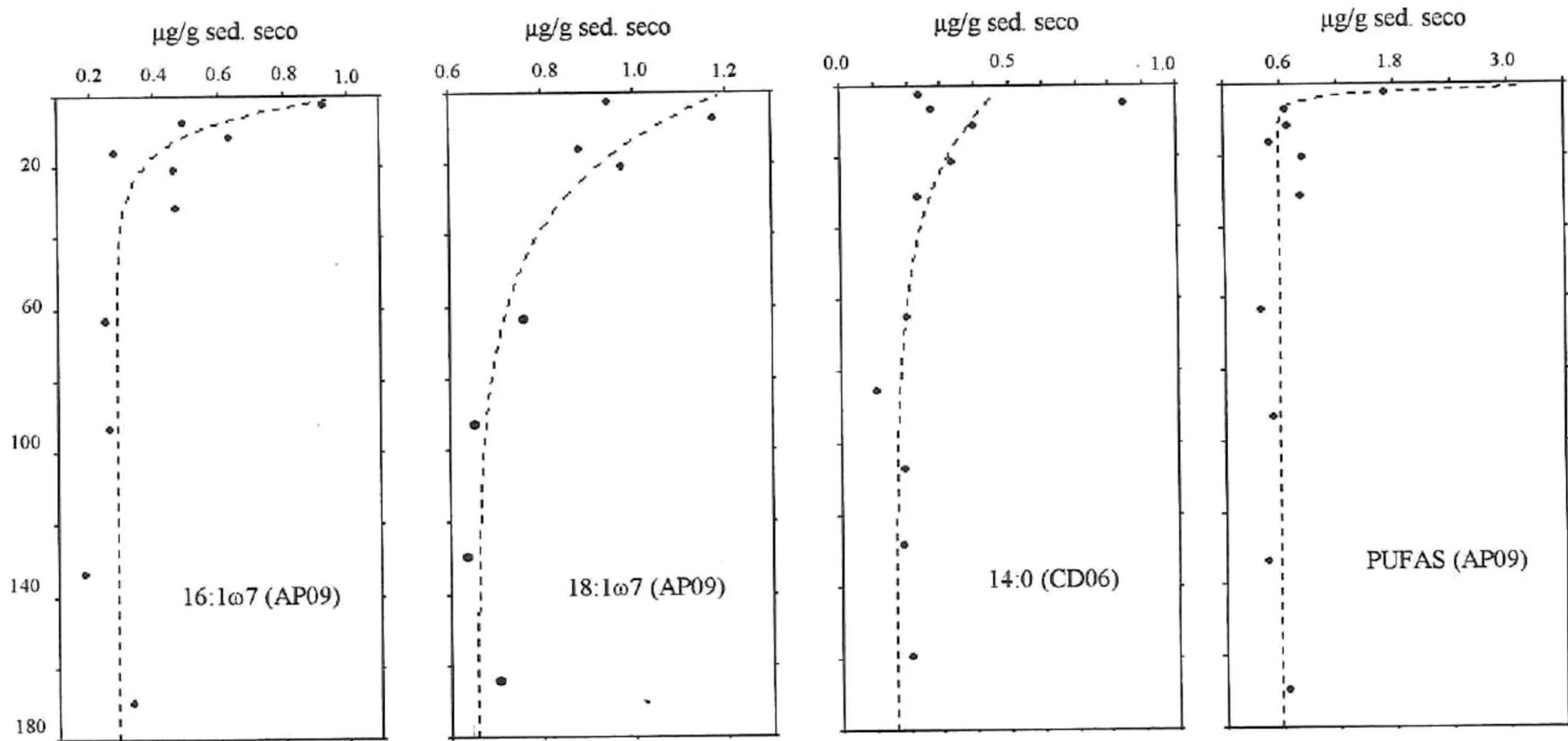
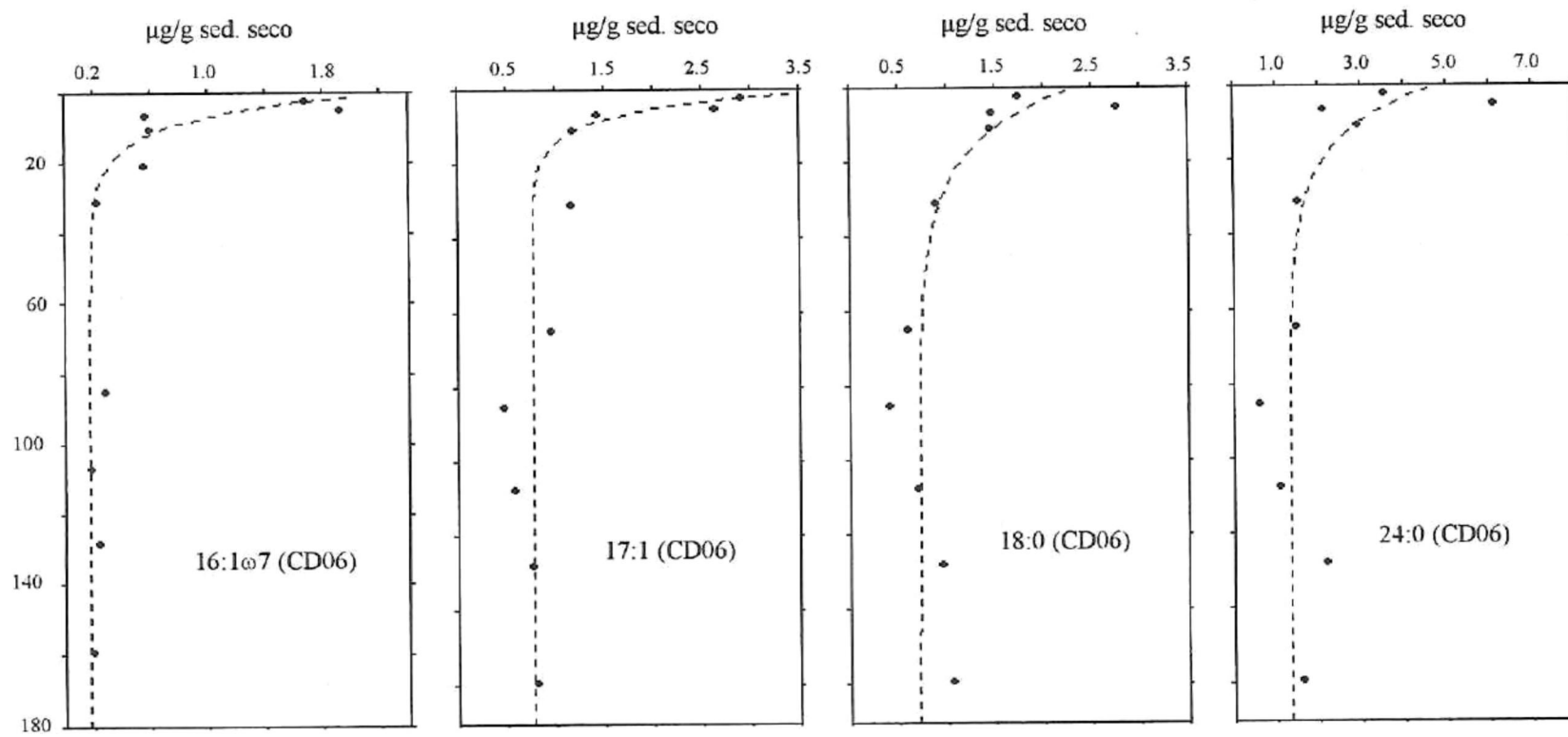


Figura A2. Regresión exponencial de ácidos grasos específicos en los núcleos CD06 y AP09.

Continua... Figura A2



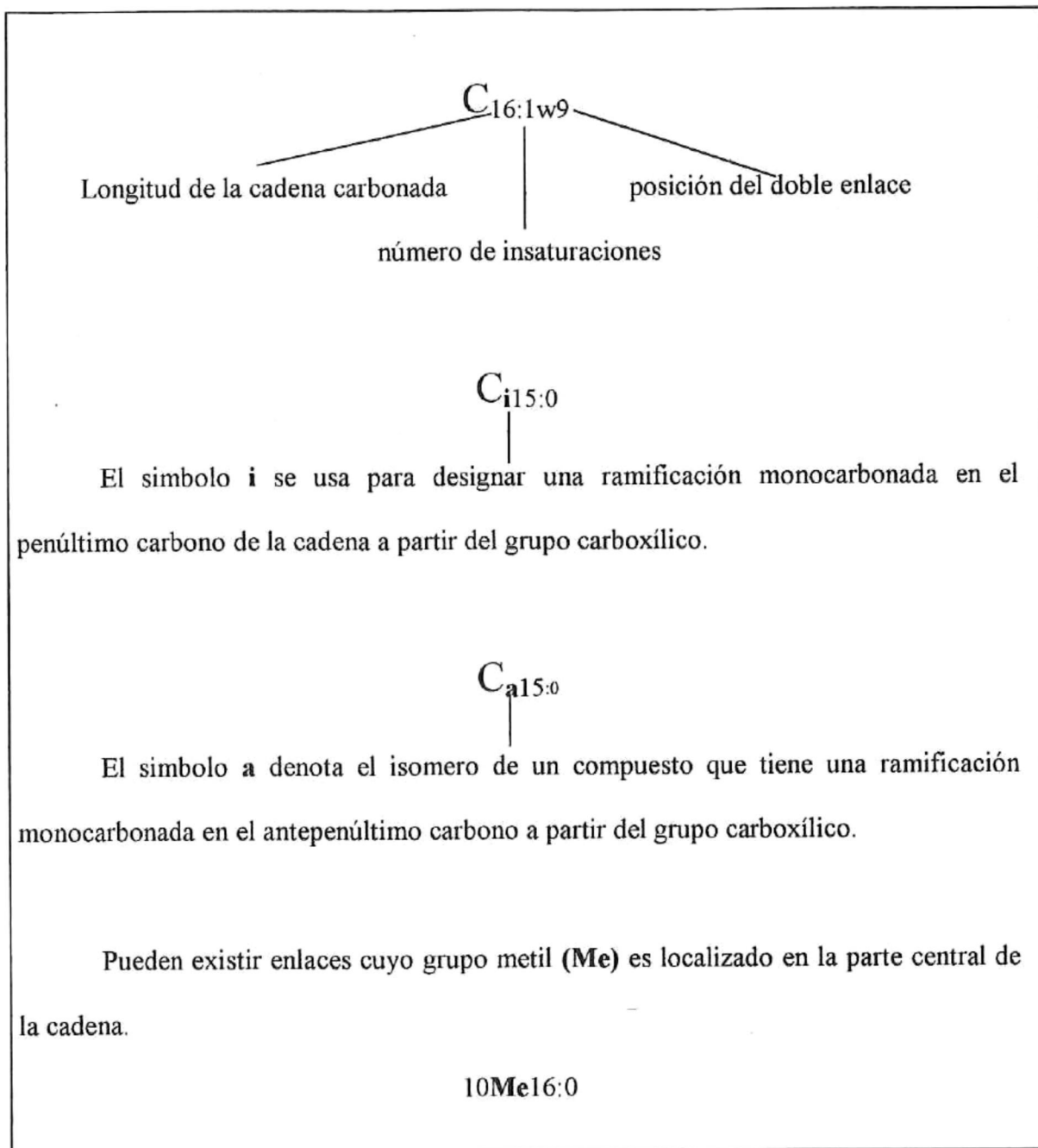


Figura A3. Nomenclatura utilizada para los ácidos grasos.