

# CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO, NITRÓGENO ORGÁNICO Y DIAGÉNESIS TEMPRANA EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE LA ZONA DE CANALES AUSTRALES DE CHILE. BOCA DEL GUAFO (43° 47' S) A CANAL PULLUCHE (45° 49' S)

Nelson Silva S. & Nora Rojas H.

Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.  
Casilla 1020, Valparaíso, Chile.

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas estuarinos, en general, son zonas que están sujetas a un gran aporte de materia orgánica particulada aloctona proveniente de los ríos y de la alta productividad *in situ* autóctona, que les suele caracterizar. El material orgánico que entra o es fijado en las aguas costeras o estuarinas es sometido a degradación en la medida que decanta. Una vez en el fondo el sedimento es sometido nuevamente a descomposición siendo sometido a una serie de reacciones diagenéticas, las que pueden liberar o fijar elementos y compuestos en el agua intersticial y desde ésta a la columna de agua suprayacente (Berner, 1980; Klump y Martens, 1987; Farías *et al.*, 1994; Farías *et al.*, 1996). Diversos factores como producción primaria, aporte de material aloctono, profundidad de la columna de agua, tasas de sedimentación, bioperturbación y concentración de oxígeno disuelto son responsables por la cantidad, distribución vertical y composición química de la materia orgánica contenida en los sedimentos (Stumm y Morgan, 1981; Jorgensen *et al.*, 1990 y Cowie y Hedges, 1992).

En este estudio, se determinó carbono orgánico, nitrógeno orgánico, textura y porosidad, de los 35 cm superiores de columna de sedimentos de los canales de la XI región, con el objetivo de conocer su distribución vertical, parámetros diagenéticos, tasas de remineralización y acumulación, para la descomposición de la materia orgánica de acuerdo a una cinética de primer orden.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El crucero CIMAR 8 Fiordos etapas 1 y 2 fue realizado entre la boca del Guafo (43° 47' S) y el canal Pulluche (45° 49' S). La primera etapa se desarrolló entre el 5 y 20 de julio de 2002 y la segunda entre el 5 y 26 de noviembre de 2002, a bordo del buque de investigación AGOR Vidal Gormaz. Durante este crucero se tomaron muestras de sedimentos en un total de 12 estaciones (Fig. 1).

Las muestras se colectaron mediante un “gravity corer” y las columnas de sedimentos se cortaron en segmentos de 1, 2 ó 3 cm de espesor. Cada segmento fue dividido en dos submuestras, una para los análisis físicos y otra para los químicos. Para el análisis físico de textura de los sedimentos (granulometría), se utilizó el tamizado vía húmeda para cada segmento de acuerdo a la escala de Udden Wentworth ( $\Phi$ ). La porosidad de cada segmento ( $\phi$ ) se determinó por diferencia de peso entre la muestra húmeda y seca (Berner, 1971).

Para los análisis químicos, cada segmento fue secado en estufa de vacío a 60°C y luego molida hasta polvo muy fino en mortero de ágata. Los análisis efectuados correspondieron a: carbono orgánico (C-orgánico) y nitrógeno orgánico (N-orgánico). El C-orgánico fue determinado mediante un equipo analizador elemental para carbono LECO CR-12, mediante el quemado de la muestra pretratada con ácido. Para la determinación de N-orgánico se utilizó la técnica de Kjeldahl indicada en Willar *et al.* (1956), adaptándola a un aparato Micro-Kjeldahl.

Para las estaciones cuyas distribuciones verticales de C-orgánico y N-orgánico que presentaron o se acercaron a una distribución exponencial con la profundidad, se les determinó el porcentaje de remineralización y acumulación de la materia orgánica metabolizable de acuerdo a Berner (1980).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Distribución vertical de la textura y porosidad**

En las estaciones 8, 9, 17a y 53, se caracterizaron por estar compuestas por un alto porcentaje de limos y arcillas (> 80%), mientras que las estaciones 6, 11, 14, 45, 51, 54, 72 y 76, estos disminuyeron, aumentando las fracciones arenosas (> 40%) (Fig. 2).

La mayor porosidad (> 0,8  $\phi$ ) se presentó en las estaciones donde predominaron los limos y arcillas y la menor (< 0,6  $\phi$ ) en las que predominaron las fracciones arenosas (Fig. 2). Esto se debe a que los sedimentos limo-arcillosos están formados por partículas que forman estructuras con espacios intersticiales libres, dando como resultado una alta porosidad de la muestra ( $\phi = 0,7$  a  $0,9$ ), mientras que las fracciones más gruesas son menos afectadas por la química de la superficie y, además, tienen un ordenamiento geométrico que domina la porosidad, lo que provoca que esta sea menor ( $\phi = 0,36$  a  $0,46$ ) (Berner, 1980).

Debido a la compactación que va sufriendo el sedimento, en la medida que se va depositando sedimento nuevo sobre él, se esperaría que la porosidad disminuyera con la profundidad lo cual, en general, se observó en las estaciones 6, 8, 9, 53, 54 y 76 (Fig. 2). En el resto de las estaciones, la porosidad fue más variable (Est. 14 y 17a), o incluso aumento con profundidad (Est. 11, 51 y 72) (Fig. 2).

El aumento de porosidad de las estaciones 11, 51 y 72 se puede explicar basándose en los aumentos de las fracciones de limos y arcillas con profundidad. Por otra parte, Rojas y Silva (2003), proponen que esta irregularidad de la porosidad también podría ser explicada basado en cambios en la tasa de sedimentación y/o diferencias en la composición química del sedimento que se va depositando, entre otros.

Para la estación 53, se observó hasta los 3 cm restos de organismos y a partir de este corte evidencia de descomposición anaeróbica (olor a ácido sulfhídrico). En la figura 2 se puede observar una capa de mezcla en los primeros 3 cm de profundidad, producto de bioperturbación y bajo esta, una clara disminución de la porosidad.

### Distribución vertical del carbono orgánico y nitrógeno orgánico

Los valores más altos de C-orgánico (>2%) se observaron en las estaciones 8 y 9 mientras que los valores menores (< 1%) se observaron en la estación 14. En cuanto al N-orgánico, los valores más altos (> 0,2%) se presentaron en las estaciones 8, 9 y 53, mientras que los valores menores a 0,1% se observó en la estación 14 (< 0,5%) (Fig. 3).

Las estaciones 8 y 9 presentaron la mayor cantidad de materia orgánica en toda la columna de sedimento (Fig. 3), caracterizándose también por un alto porcentaje de limos y arcillas (> 84%) (Fig. 2). Duinker (1980), indica que las partículas limo arcillosas, por tener tendencia a poseer cargas negativas asociadas, al introducirse en el agua de mar sus superficies son rápidamente cubiertas con una capa de materia orgánica, lo cual trae como resultado sedimentos limo arcillosos más ricos en materia orgánica, tal como fue observado en esta oportunidad. Esta asociación, mayor sedimento fino mayor materia orgánica, también ha sido observada por Stuardo *et al.* (1981), Silva *et al.* (1998), Silva y Ortiz (2002) y Rojas y Silva (2003).

Las estaciones 6, 9 y 53, presentaron distribuciones verticales de C-orgánico y N-orgánico, con una disminución cercana a una distribución exponencial, lo cual puede ser atribuido a la degradación de la materia orgánica de acuerdo a una cinética de primer orden (Berner, 1980). El resto de las estaciones presentaron distribuciones cuasi homogéneas (Est. 14 y 54), lo cual se consideró el resultado de la acción bioperturbadora de organismos bentónicos, o que aumentaron con profundidad (Est. 11, 51 y 72), lo cual se consideró resultante de una mayor presencia de material limo arcilloso a profundidades equivalentes (Fig. 2).

### Modelo cinético de diagénesis de primer orden

En los perfiles de C-orgánico y N-orgánico, donde se presentó un gradiente vertical cercano o nula una disminución exponencial (Est. 6, 9 y 53), se estiman son el resultado de una escasa acción bioperturbadora, una tasa de sedimentación constante y cuyo material que se está depositando ha tenido una composición química estable en el tiempo. Dicho en otras palabras, el material que está enterrado a una cierta profundidad, cuando estuvo en la interfase agua-sedimento, tuvo características similares a las que tiene el sedimento que está siendo depositado en la actualidad (Berner, 1980).

Al aplicar un modelo de cinética de primer orden para esta diagénesis (Berner, 1980) y considerando una tasa de sedimentación para la zona de aproximadamente  $0,29 \text{ cm}\cdot\text{año}^{-1}$  (Rojas, 2002), se pueden determinar las constantes de decaimiento o descomposición  $k$  para C-orgánico ( $k_{\text{Est } 6} = 0,019$ ,  $k_{\text{Est } 9} = 0,038$  y  $k_{\text{Est } 53} = 0,046 \text{ año}^{-1}$ ) y N-orgánico ( $k_{\text{Est } 6} = 0,035$ ,  $k_{\text{Est } 9} = 0,046$  y  $k_{\text{Est } 53} = 0,059 \text{ año}^{-1}$ ), y la vida media para C-orgánico ( $t_{1/2 \text{ Est } 6} = 37$ ,  $t_{1/2 \text{ Est } 9} = 18$  y  $t_{1/2 \text{ Est } 53} = 15$  años) y N-orgánico ( $t_{1/2 \text{ Est } 6} = 20$ ,  $t_{1/2 \text{ Est } 9} = 15$  y  $t_{1/2 \text{ Est } 53} = 12$  años) (Tabla I). Estas constantes indican, en general, que el C-orgánico se descompone más lentamente que el N-orgánico.

Para las estaciones 6, 9 y 53, tanto para el C-orgánico como el N-orgánico, los porcentajes de remineralización (~ 20 - 40%) y acumulación (~ 80 - 60%), indicarían que la

materia orgánica que está llegando al fondo es preferente refractaria, acumulándose de esta forma. Además, se observa que en ellas se está remineralizando menos C-orgánico (23, 34 y 26%, respectivamente) que N-orgánico (36, 33 y 43%, respectivamente), indicando que la materia orgánica que se está enterrando contiene más C-orgánico, lo cual se debe a que los compuestos nitrogenados (*e. g.*, proteínas) son más lábiles que los del carbono (*e.g.*, grasas) y por lo tanto se degradan más rápidamente (Burdige y Martens, 1988). Esto también fue observado por Rojas (2002) para esta misma zona de estudio. De igual manera, fiordos canadienses también muestran una selectividad diagenética, como fue observado por Louchouart *et al.* (1997) en el estuario St. Lawrence, donde obtuvo un  $k = 0,035 \text{ año}^{-1}$  y  $t_{1/2} = 20$  años para C-orgánico y  $k = 0,054 \text{ año}^{-1}$  y  $t_{1/2} = 13$  años para N-orgánico, lo que implica tasas de remineralización menor para C-orgánico y mayor para N-orgánico, lo cual es similar a lo encontrado en la XI región.

## REFERENCIAS

- Berner, R. 1971. Principles of chemical sedimentology McGraw Hill, New York, 240 pp.
- Berner, R. 1980. Early diagenesis: A theoretical approach. Princeton University Press, New York, 421 pp.
- Berner, R. 1982. Burial of organic carbon and pyrite sulfur in the modern ocean: its geochemical and environmental significance. *Amer. J. Sci.*, 282: 451-473.
- Burdige, D. y C. Martens. 1988. Biogeochemical cycling in an organic rich coastal marine basin: 10: the role of amino acids in sedimentary carbon and nitrogen cycling. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 52: 1571-1584.
- Cowie, G. y J. Hedges. 1992. Sources and reactivities of amino acids in the coastal marine environment. *Limnol. Oceanog.*, 37: 703-724.
- Duinker, J. 1980. Suspended matter in estuaries: Adsorption and desorption processes. En *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries*. Edited by E. Olausson and I. Cato. John Wiley and Sons. New York, 452 pp.
- Farías, L., L. Chuecas y M. Salamanca. 1996. Effect of coastal upwelling on nitrogen regeneration from sediments and ammonium supply to the water column in Concepción bay, Chile. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 43:137-155.
- Farías, L., M. Salamanca y L. Chuecas. 1994. Variaciones estacionales del flujo de partículas y contenido de materia orgánica a la interfase agua-sedimento en bahía Concepción, Chile Central. *Cienc. Tecnol. Mar, CONA*, 17:15-31.
- Jorgensen, B., M. Bang y T. Blackburn. 1990. Anaerobic mineralization in marine sediments from the Baltic Sea-North Sea transition. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 59: 39-54.

- Klump, J. y C. Martens. 1987. Biogeochemical cycling an organic-rich coastal marine basin. 5. Sedimentary nitrogen and phosphorus budgets based upon kinetic models, mass balances, and the stoichiometry of nutrient regeneration. *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 51: 1161-1173.
- Louchouart, P., M. Lucotte, R. Canuel, J. Gagné y L. 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.
- Rojas, N. 2002. Distribución de materia orgánica, carbono y nitrógeno, y diagénesis temprana en sedimentos de la zona de canales australes entre los golfos Corcovado y Elefantes, Chile. Tesis de Título de Oceanógrafo. Escuela de Ciencias del Mar. Universidad Católica de Valparaíso, 80 pp.
- Rojas, N. y N. Silva. 2003. Distribución espacial de textura, C y N en sedimentos recientes en canales y fiordos chilenos. Golfo Corcovado (43° 50'S) a golfo Elefantes (46° 30'S), Chile. *Cienc. Tecnol. Mar, CONA*, 26 (2): en prensa .
- Silva, N. y P. Ortíz. 2002. C y N, su distribución y estequiometría, en sedimentos superficiales de la región sur de la zona de fiordos y canales australes de Chile, 52°-56°S (Crucero CIMAR 3 Fiordos). *Cienc. Tecnol. Mar, CONA*, 25 (1): 89-108.
- Silva, N., J. Maturana, I. Sepúlveda y R. Ahumada. 1998. Materia orgánica, C y N, su distribución estequiometría, en sedimentos superficiales de la región norte de los fiordos y canales australes de Chile (Crucero CIMAR 1 Fiordo). *Cienc. Tecnol. Mar*. 21: 49-74.
- Stuardo, J., M. Soto, H. Andrade y R. Aguilar. 1981. Características granulométricas y componentes bioquímicos de los sedimentos de tres estaciones submareales de Valparaíso. *Rev. Biol. Mar.*, 17(2): 171-196.
- Stumm, W. y J. Morgan. 1981. *Aquatic Chemistry. An introduction emphasizing chemical equilibria in natural water*. John Wiley & Sons, New York, 780 pp.
- Willard, H., N. Furman y C. Bricker. 1956. *Análisis químico cuantitativo*. Marín, S.A., Barcelona, 557 pp.

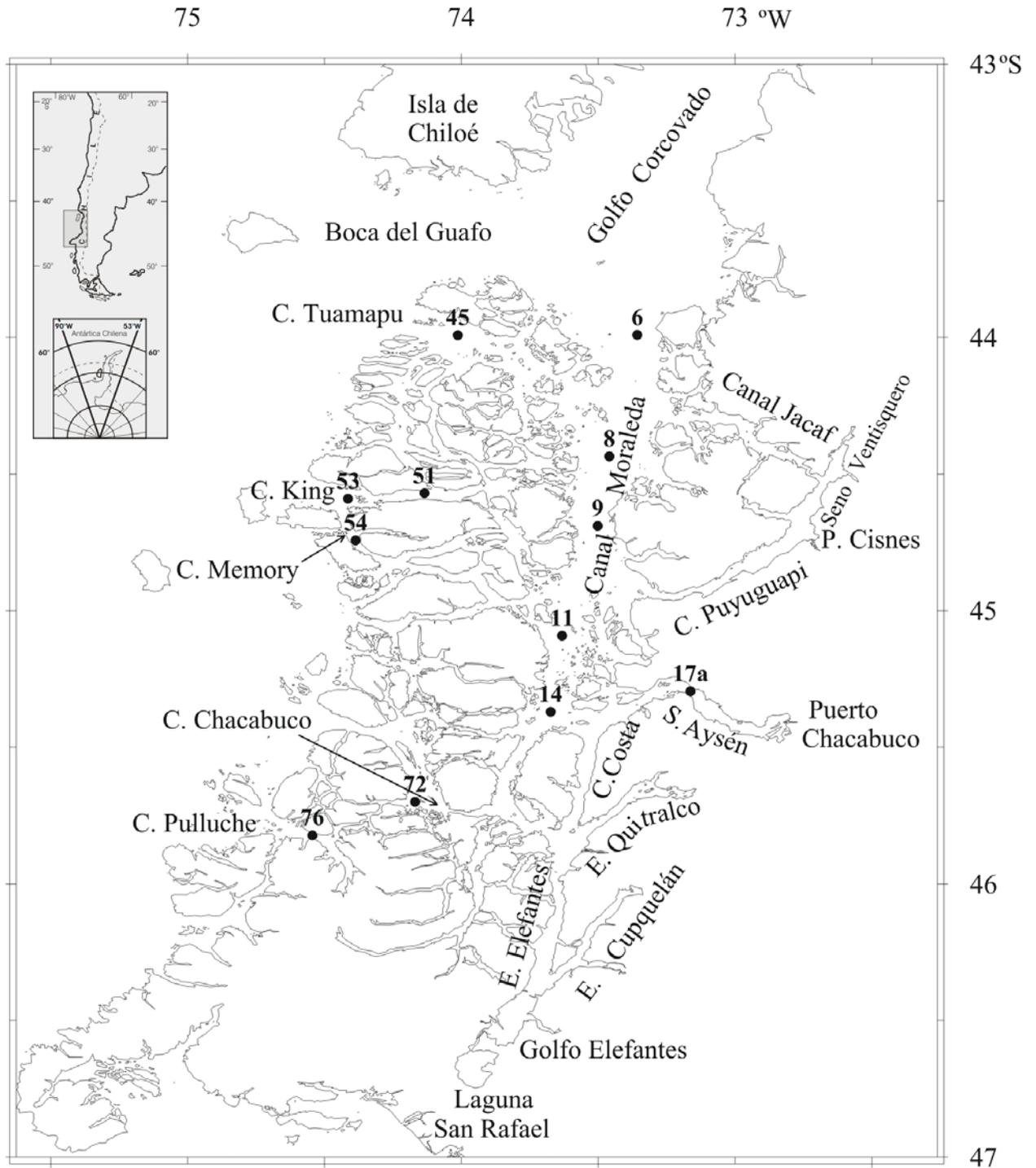


Figura 1. Posición de las estaciones oceanográficas para la obtención de muestras de sedimentos en las expediciones oceanográficas CIMAR 8 Fiordos etapa 1 y 2.

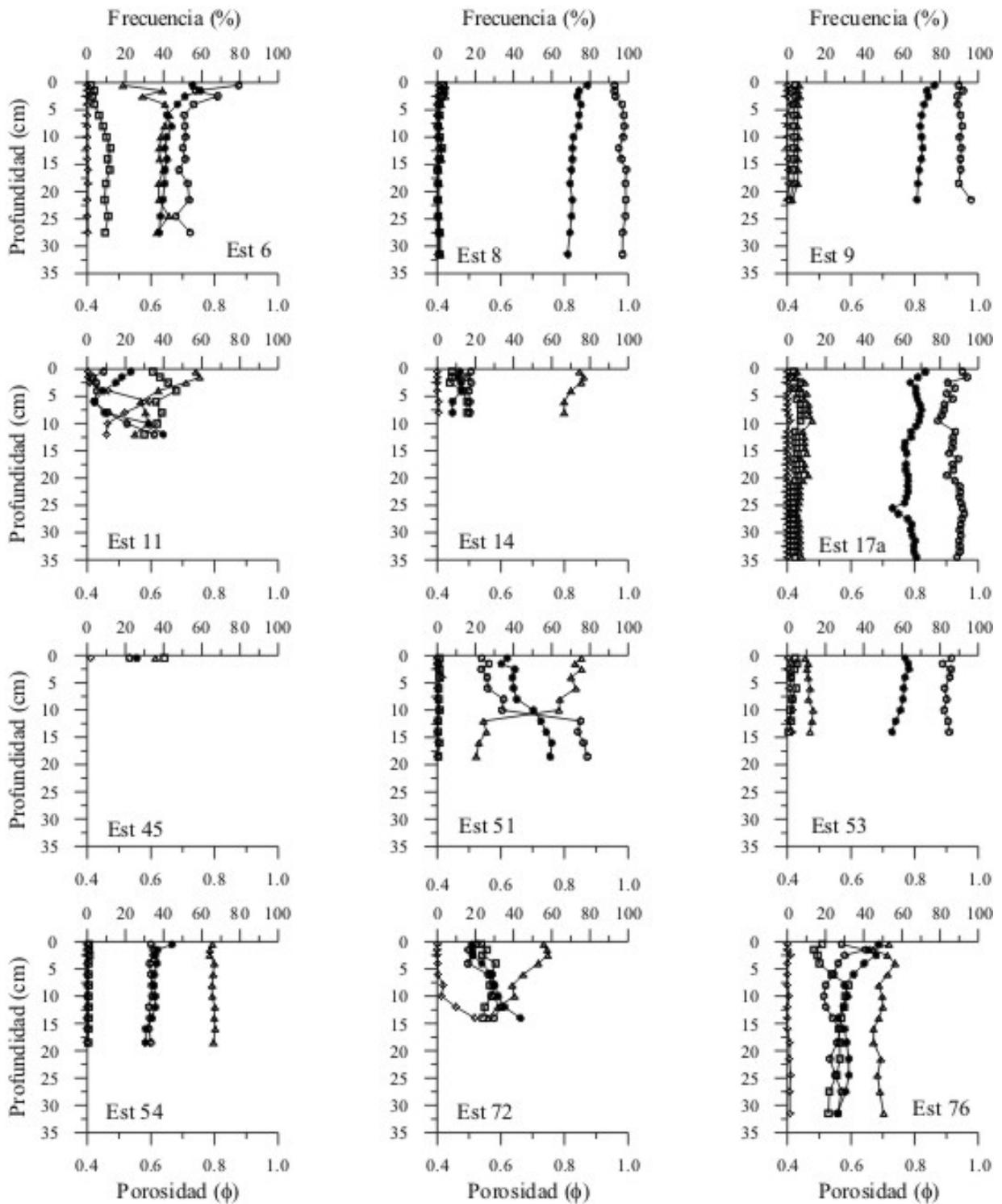


Figura 2. Distribución vertical del tipo de grano para las columnas de sedimento, donde, GF + GMF =  $\diamond$ , AMG + AG + AM =  $\square$ , AF + AMF =  $\triangle$  y L y A =  $\circ$ , asociado a la porosidad =  $\bullet$  de Cimar 8 Fiordo etapas 1 y 2.

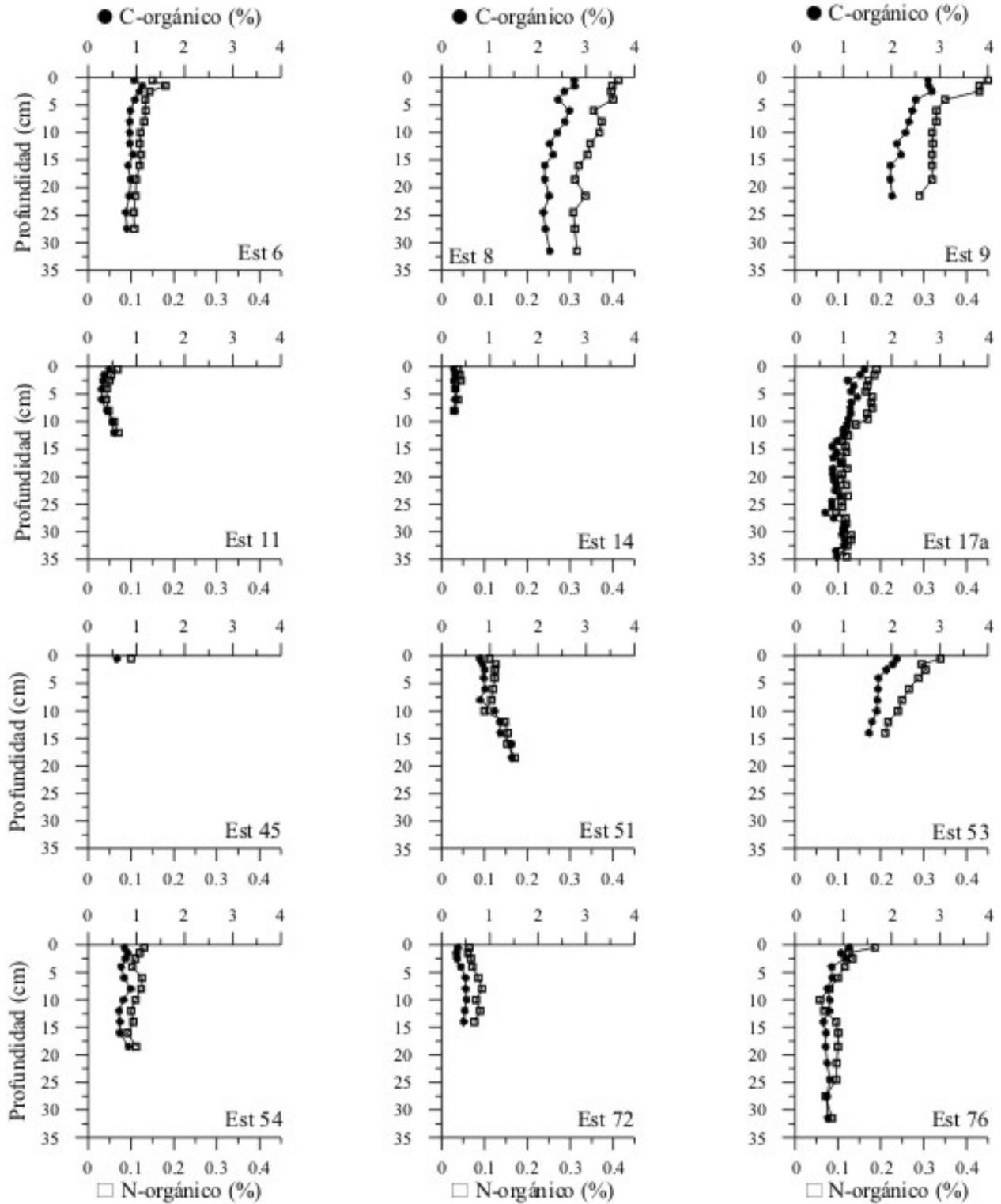


Figura 3. Distribución vertical de C-orgánico (%) = ● y N-orgánico (%) = □, para las columnas de sedimentos de Cimar 8 Fiordo etapas 1 y 2.

Tabla I. Parámetros del modelo cinético de diagénesis de primer orden, aplicado a los perfiles verticales de C-orgánico y N-orgánico.

Parámetros	Carbono orgánico			Nitrógeno orgánico		
	Est 6	Est 9	Est 53	Est 6	Est 9	Est 53
$\omega$ (cm·año <sup>-1</sup> )	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Z (cm)	24,5	16	14	24,5	14	14
$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	0,064	0,131	0,160	0,119	0,159	0,205
k (año <sup>-1</sup> )	0,019	0,038	0,046	0,035	0,046	0,059
1/k (año <sup>-1</sup> )	54	26	22	29	22	17
t <sub>1/2</sub>	37	18	15	20	15	12
G <sub>mo</sub> (mg·g <sup>-1</sup> )	2,30	10,39	5,51	0,61	1,56	1,57
G <sub>o</sub> (mg·g <sup>-1</sup> )	10,06	30,20	20,84	1,67	4,76	3,67
G <sub>∞</sub> (mg·g <sup>-1</sup> )	7,76	19,81	15,33	1,06	3,20	2,10
$((G_o - G_\infty)/G_o) \cdot 100$	<b>22,85</b>	<b>34,41</b>	<b>26,44</b>	<b>36,41</b>	<b>32,77</b>	<b>42,78</b>
$(G_\infty / G_o) \cdot 100$	<b>77,15</b>	<b>65,59</b>	<b>73,56</b>	<b>63,59</b>	<b>67,23</b>	<b>57,22</b>

donde:

$\omega$ (cm·año <sup>-1</sup> )	= tasa de sedimentación.
Z (cm)	= profundidad de la columna de sedimento, hasta la cual se estimó el modelo.
$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	= $k \cdot \omega$ ; coeficiente de atenuación o coeficiente del mejor ajuste.
k (año <sup>-1</sup> )	= $\alpha \cdot \omega$ ; tasa constante de decaimiento o descomposición de la materia orgánica o también llamada tasa constante de decaimiento de primer orden.
1/k (año <sup>-1</sup> )	= tiempo de residencia de la fracción metabolizable.
t <sub>1/2</sub>	= $\ln 0,5 k$ ; vida media de la fracción metabolizable.
G <sub>mo</sub> (mg·g <sup>-1</sup> )	= $G_o - G_\infty$ ; fracción lábil o metabolizable que es reciclada, inicialmente depositada (Z = 0).
G <sub>o</sub> (mg·g <sup>-1</sup> )	= materia orgánica que se deposita en la superficie de los sedimentos.
G <sub>∞</sub> (mg·g <sup>-1</sup> )	= fracción residual, no reactiva o degradada a una tasa significativamente menor que la tasa en que es acumulada.
$((G_o - G_\infty)/G_o) \cdot 100$	= % de remineralización
$(G_\infty / G_o) \cdot 100$	= % de acumulación