

**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE TEXTURA, CARBONO Y NITRÓGENO EN SEDIMENTOS
RECIENTES EN CANALES Y FIORDOS CHILENOS. GOLFO CORCOVADO (43° 50' S) A GOLFO
ELEFANTES (46° 30' S), CHILE**

HORIZONTAL AND VERTICAL DISTRIBUTION OF GRAIN SIZE, CARBON AND NITROGEN, IN SEDIMENTS OF
THE CHILEAN FJORDS. CORCOVADO (43° 50' S) TO ELEFANTES GULFS (46° 30' S), CHILE

NORA ROJAS H.
NELSON SILVA S.

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

RESUMEN

Durante la expedición oceanográfica Cimar 4 Fiordos, se obtuvo muestras de sedimentos superficiales en 14 estaciones entre el golfo Corcovado (43° 50' S) y el golfo Elefantes (46° 30' S), con el objeto de determinar la distribución espacial de su textura, contenido de carbono (orgánico e inorgánico) y nitrógeno (orgánico) de los 30 cm superiores de la columna de sedimento. En base a la relación C:N se estimó, en una primera aproximación, la procedencia de la materia orgánica del sedimento.

La textura de las muestras, se caracterizó por estar compuesta en su mayor parte (> 90%) por limos y arcillas.

La distribución horizontal de carbono y nitrógeno permitió segregar el área en tres zonas, dos de baja concentración (C-orgánico < 0,8% y N-orgánico < 0,1%) y una de alta concentración (C-orgánico > 2,4% y N-orgánico > 0,4%). En cuanto a su distribución vertical ésta fue relativamente pareja en toda la columna de sedimento. Si la estación presentó baja o alta concentración en superficie, también lo hizo en el resto de la columna.

Las muestras limo-arcillosas presentaron concentraciones más altas de componentes orgánicos y las arenosas valores más bajos. Sin embargo, las muestras de las estaciones con influencia de glaciares y ventisqueros, donde el sedimento limo-arcilloso es abundante, los componentes orgánicos presentaron bajas concentraciones.

En una sección océano-costal, la razón C:N del sedimento superficial aumentó desde la estación más oceánica, en el canal Moraleda (C:N = 8,3), hasta la estación estuarina más al interior del continente, en la cabeza del seno Aysén (C:N = 14,3). Esto fue interpretado como el resultado de la presencia de materia orgánica de origen autóctono en el sedimento con cantidades crecientes de material alóctono edáfico, en la medida que éstos se encuentran más cercanos a las cabezas de los canales y fiordos.

Palabras claves: Sedimentos, granulometría, carbono, nitrógeno, C:N, estuarios, fiordos, Chile.

ABSTRACT

During the oceanographic expedition Cimar 4 Fjords, sediments were taken in 14 stations, located in the Chilean southern channels between the Corcovado (43° 50' S) and Elefantes Gulfs (46° 30' S). The objectives were to determine the carbon (organic and inorganic) and organic nitrogen content, in the upper

30 cm of the sediment column, to estimate their spatial distribution. Based on the C:N ratio, used as a first approximation indicator, the origin of the sediment's organic matter was determined.

The grain size sample composition, was characterized by being mainly composed (>90%) by silt and clay.

The carbon and nitrogen horizontal distribution allowed to segregate the area in two low concentration zones (C-organic < 0,8% and N-organic < 0,1%) and one high concentration zone (C-organic > 2,4% and N-organic > 0,4%). The vertical distribution of C-organic and C-inorganic, and N-organic present in the sediment was relatively stable in the sediment sampled column. Therefore, if the station showed high concentration in the surface, the same was shown in the rest of the column.

The silt-clay samples had higher concentrations of organics than the sand samples. Nevertheless, samples of stations that had glaciers influence, where the silt-clay limes constituents were high, showed low organic components concentration.

In an ocean coast section, in surface sediment, the C:N ratio was increasing from the most oceanic station, north of the Moraleda (C:N = 8.3) to the estuarine station located to the interior of the continent, in the head of the Aysen Fjord (C:N = 14.3). This was interpreted as sediment's organic material of marine origin with increasing amounts of edaphic material, according to their closeness to the channels and fjord heads.

Key words: Sediments, grain size, carbon, nitrogen, C:N, estuaries, fjords, Chile.

INTRODUCCIÓN

Los fiordos pueden ser definidos como surcos profundos, formados en la corteza continental por erosión de los glaciares durante la última glaciación, los que posteriormente fueron inundados por el mar. Aquellos fiordos que reciben aportes fluviales conforman un estuario siendo, en general, zonas que reciben grandes aportes de materia orgánica particulada debido a la alta productividad autóctona, que les suele caracterizar. Por otra parte, también reciben aportes orgánicos alóctonos transportados por los ríos y por el escurrimiento costero. Ello facilita que una importante cantidad de materia orgánica particulada se deposite en el fondo, favoreciendo su acumulación en altas concentraciones.

En el caso de los fiordos que están en contacto directo con un glaciar o que reciben aportes de ríos provenientes de glaciares, sus sedimentos presentan concentraciones comparativamente menores de materia orgánica que aquellos que no son afectados por hielos continentales. Estas menores concentraciones se deben, en gran medida, al efecto de "dilución" que provoca el ingreso de abundante material inorgánico producto de la erosión del hielo sobre las rocas y/o a la menor producción primaria debido a una menor penetración de la luz, producto de la presencia de gran cantidad de material fino en suspensión (Silva *et al.*, 1998a y 2001).

Los sedimentos depositados en el fondo suelen actuar como una matriz integradora de los

procesos que se desarrollan en un cuerpo de agua y su estudio puede entregar valiosa información sobre éstos. El contenido de material biogénico en el sedimento (expresado como materia orgánica, carbono o nitrógeno orgánico), puede ser utilizado como un indicador de la producción media de un lugar, y la acumulación de ella en el fondo, permite obtener una idea de la biomasa generada en el cuerpo de agua (Ahumada *et al.*, 1996).

Factores como producción primaria autóctona, aporte de material terrígeno, profundidad de la columna de agua, tasas de sedimentación, producción bentónica, bioperturbación y concentración de oxígeno disuelto afectan la cantidad, distribución vertical y composición química de la materia orgánica contenida en los sedimentos (Stumm & Morgan, 1981; Jorgensen *et al.*, 1990; Cowie & Hedges, 1992). Una vez depositado en el fondo, el sedimento va sufriendo una serie de reacciones diagenéticas que van cambiando su composición química (Berner, 1980).

En las últimas tres décadas, en la zona de canales del sur de Chile ha habido un notable incremento en la explotación de recursos pesqueros y en el desarrollo del cultivo de peces en los canales interiores ubicados en la X y XI región (SERNAPESCA, 1999). Por otra parte, esta región también ha sido sometida a un importante aumento en el tráfico marítimo y en las actividades del ámbito turístico. Estas actividades antropogénicas pueden generar grandes aportes de material biogénico y contribuir a una posible

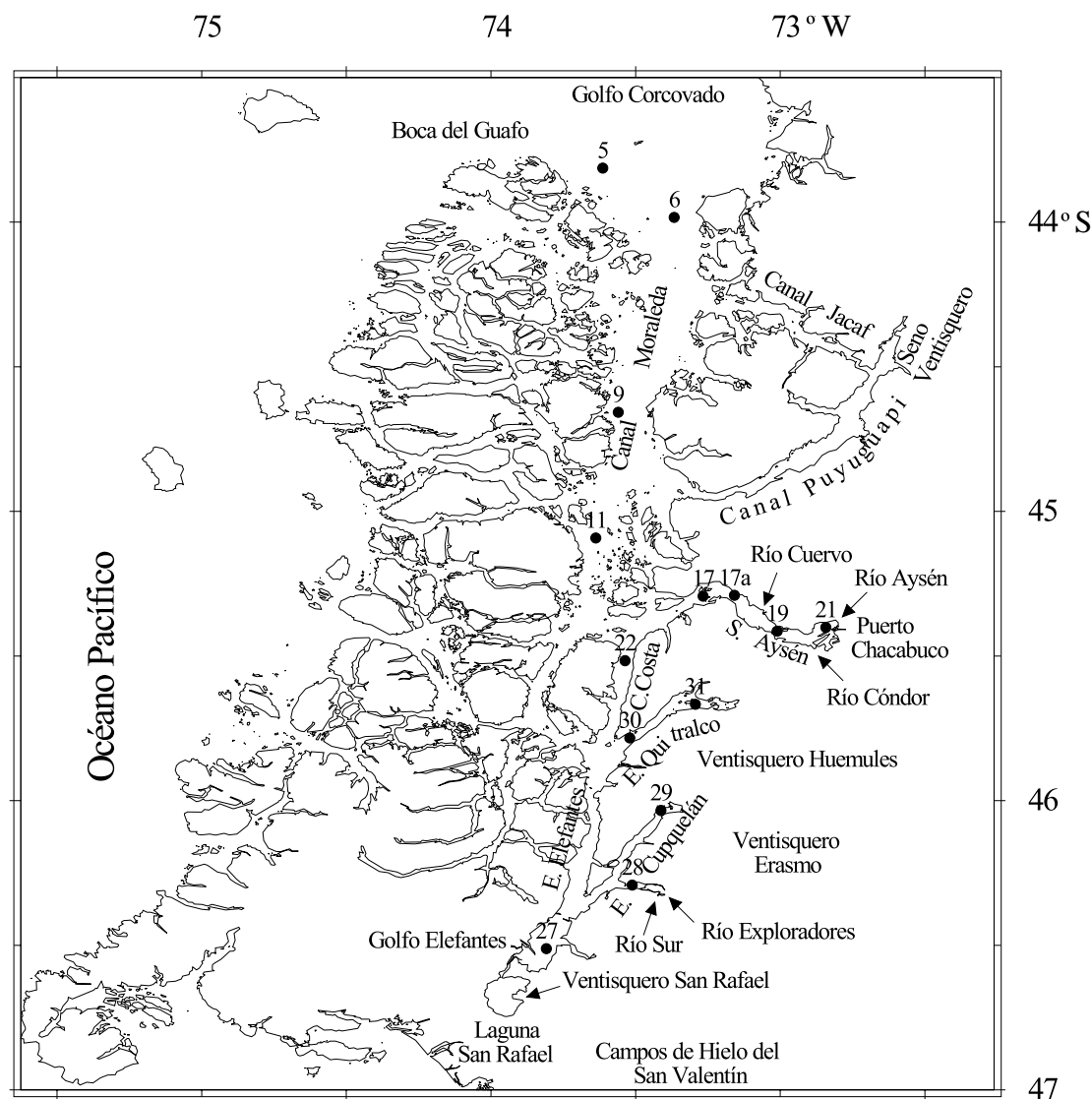


Fig. 1: Posición geográfica de las estaciones de muestreo de sedimento de la expedición oceanográfica Cimar 4 Fiordos.

Fig. 1: Geographic Position for surface sediment sampling stations in Cimar 4 Fiordos cruise.

eutrofización de los cuerpos de agua afectados, de esta manera se podrían generar condiciones subóxicas o anóxicas en los sedimentos. Esto es importante para algunas zonas de fiordos y canales australes, donde han sido detectadas bajas concentraciones de oxígeno disuelto ($< 2,5 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$) (Silva *et al.*, 1995, 1997 y 2001).

En el presente trabajo se midió el carbono orgánico e inorgánico, nitrógeno orgánico, textura y porosidad de la parte superior de columna de sedimentos en la zona golfo Corcovado a golfo Elefantes, con los objetivos de conocer su distribución horizontal y vertical, asociar dicha distribución

con la textura del sedimento y estimar la estequiometría de la relación C:N. Pretende también estimar, en una primera aproximación, la procedencia de la materia orgánica depositada en los sedimentos de los fiordos y canales australes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El crucero Cimar 4 Fiordos fue realizado en dos etapas en los canales y fiordos australes ubicados entre el golfo Corcovado ($43^{\circ} 50' \text{ S}$) y el golfo Elefantes ($46^{\circ} 30' \text{ S}$). La primera etapa fue realizada entre el 28 de septiembre y el 9 de oc-

tubre de 1998 y la segunda entre el 26 de febrero y el 5 de marzo de 1999, a bordo del buque de investigación AGOR "Vidal Gormaz". Durante este crucero se tomaron muestras de sedimentos en un total de 14 estaciones (Fig. 1).

A. Tratamiento de las muestras

Estas muestras se colectaron mediante un box corer, del cual se obtuvo dos submuestras con tubos de PVC de 5 cm de diámetro y cuyos largos fluctuaron entre 9 y 29 cm. Estos tubos fueron guardados en posición vertical a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta el momento de su análisis. Posteriormente, las columnas de sedimentos se cortaron en segmentos de 1 cm de espesor en los primeros 3 cm de la columna, luego de 2 cm de espesor en los siguientes 12 cm y luego de 3 cm de espesor desde los 14 cm hasta el fondo de la submuestra.

Aunque las submuestras para la determinación de granulometría y porosidad fueron congeladas, se estima que ello no alteró mayormente las propiedades mecánicas cohesivas de los sedimentos, ya que en su gran mayoría fueron limos y arcillas, fracción que fue determinada como una sola unidad. En cuanto a la porosidad, no se observó desplazamiento de agua intersticial hacia arriba del tubo de submuestreo, por lo que se estima que ésta permaneció congelada en el mismo lugar donde se encontraba en la muestra, no produciéndose alteraciones de importancia, lo que es confirmado por la consistencia de los resultados obtenidos en los diferentes análisis para las mismas submuestras.

Para determinar la textura (granulometría) de los sedimentos, se utilizó el tamizado vía húmeda para cada segmento de acuerdo a la escala de Udden Wentworth (Φ).

La porosidad de cada segmento (ϕ) se determinó por diferencia de peso entre la muestra húmeda y seca. Para los cálculos de la porosidad total se utilizó la densidad promedio del agua de mar $1,025\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ y la densidad del sedimento $2,65\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Berner, 1971).

Para el análisis químico, cada segmento fue secado en estufa de vacío a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ y luego molida en mortero de ágata hasta polvo muy fino. Los análisis efectuados correspondieron a: carbono total (C-total) carbono orgánico (C-orgánico) y nitrógeno orgánico (N-orgánico).

Las fracciones correspondientes a C-total y C-orgánico fueron determinadas mediante un

equipo analizador elemental para carbono LECO CR-12. Para hacer la determinación de C-orgánico fue necesario eliminar el carbono inorgánico (carbonatos) mediante un pretratamiento por acidificación de las muestras de sedimento con HCl 1:1. El C-inorgánico se calculó como la diferencia entre carbono total y carbono orgánico.

Para la determinación de nitrógeno orgánico se utilizó la técnica de Kjeldahl indicada en Willar *et al.* (1956), adaptándola a un aparato Micro-Kjeldahl.

Para los análisis de carbono y nitrógeno, los equipos se calibraron con estándares de suelo certificado de acuerdo a las normas del National Institute of Standards and Technology (NIST).

RESULTADOS

Textura

De las ocho estaciones en que se analizó la textura del sedimento, cinco de ellas (Est. 6, 17, 21, 22 y 29), se caracterizaron por estar compuestas en su mayor parte ($> 90\%$) por limos y arcillas ($< 0,063\text{ mm}$). En las otras dos estaciones (11 y 28), la composición granulométrica promedio presentó una mayor proporción de arenas muy finas ($0,125 - 0,063\text{ mm}$) que las muestras anteriores. En el caso de la estación 5, la fracción arena muy fina igualó la de limos más arcillas, con porcentajes del orden de 48% (Fig. 2).

Porosidad

La distribución de la porosidad (ϕ) en las columnas de sedimentos presentó valores que fluctuaron entre $0,86$ y $0,44\ \phi$, donde la mayor variación en profundidad fue de $0,15\ \phi$ (Est. 29) y la menor variación fue de $0,01\ \phi$ (Est. 9) (Fig. 2). Las mayores porosidades se presentaron en el seno Aysén, estación 17 ($0,80 - 0,83\ \phi$) y las menores en el estero Cupquellán, estación 29 ($0,44 - 0,59\ \phi$).

Distribución horizontal de C-orgánico, C-inorgánico y N-orgánico

La distribución horizontal en los 3 cm superiores de la columna de sedimentos fluctuó de la siguiente forma:

- a) Para el C-orgánico, entre $0,18$ y $2,85\%$, ubicándose las menores concentraciones ($< 0,8\%$)

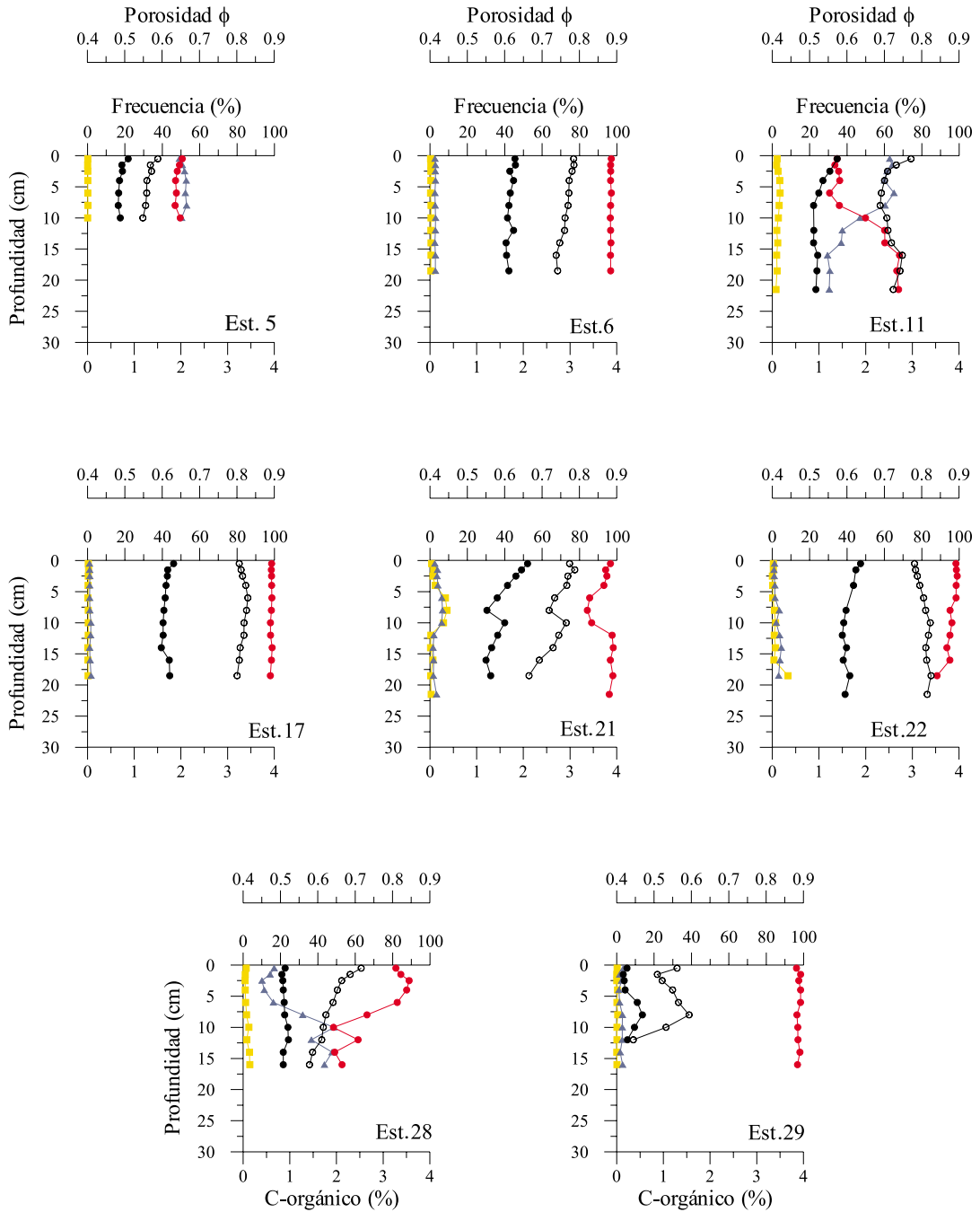


Fig. 2: Distribución vertical del tipo de grano, carbono orgánico y porosidad para las estaciones 5, 6, 11, 17, 21, 22, 28 y 29, donde:

■ = AMG + AG + AM; ▲ = AF + AMF; ● = L + A; • = C-orgánico y ○ = porosidad.

Fig. 2: Grain size fraction, organic carbon and porosity vertical distribution for stations 5, 6, 11, 17, 21, 22, 28 and 29; where:

■ = AMG + AG + AM; ▲ = AF + AMF; ● = L + A; • = C-orgánico and ○ = porosity.

en el golfo Elefantes y esteros Cupquelán y Quitralco (Est. 27, 28, 29 y 30) y las mayores concentraciones (> 2,4%), en el canal Moraleda (Est. 9) (Fig. 3).

- b) Para el C-inorgánico, entre 0,05 y 1,31%, presentándose las bajas concentraciones (< 0,4%) prácticamente en todas las estaciones, mientras que concentraciones altas (> 0,8%), se presentaron sólo en el canal Moraleda (Est. 9) (Fig. 4).
- c) Para el N-orgánico, entre 0,01 y 0,45%, con las menores concentraciones (< 0,1%) en el golfo Elefantes y esteros Cupquelán y Quitralco (Est. 27, 28, 29 y 30) y las mayores (> 0,4%), en el canal Moraleda (Est. 9) (Fig. 5).

Distribución vertical de C-orgánico, C-inorgánico y N-orgánico

La distribución de C-orgánico vertical en los sedimentos presentó concentraciones que fluctuaron entre 3,04 - 0,09% (Fig. 6). El menor rango de variación de C-orgánico con la profundidad fue de 0,16%, correspondiente a la estación 17 y los mayores rangos fueron de 0,97 y 0,89% que corresponden a las estaciones 19 y 21, respectivamente.

Concentraciones de C-orgánico menores a 1%, se presentaron en el golfo Corcovado (Est. 5), golfo Elefantes (Est. 27), estero Cupquelán (Est. 28 y 29) y boca del estero Quitralco (Est. 30). Concentraciones de C-orgánico mayores de 2,5% se presentaron en el canal Moraleda (Est. 9).

La distribución de C-inorgánico vertical en los sedimentos presentó concentraciones que fluctuaron entre 1,57 - 0,00%. El menor rango de variación de C-inorgánico con la profundidad fue de 0,05% en la estación 29, mientras que la mayor fue de 0,59% en la estación 9 (Fig. 6).

Concentraciones de C-inorgánico menores de 1,0%, se presentaron en todas las estaciones excepción de la estación 9 que fluctuó entre 1,5 y 1,0%.

La distribución vertical de N-orgánico en los sedimentos presentó concentraciones que estuvieron entre 0,46 - 0,01%. El menor rango de variación del N-orgánico con la profundidad fue de 0,02% y corresponde a las estaciones 6, 27 y 28. La mayor variación en profundidad fue de 0,10% que corresponde a la estación 11 (Fig. 6).

Concentraciones menores de 0,07%, se presentaron en el golfo Elefantes (Est. 27), estero

Cupquelán (Est. 28 y 29) y la boca del estero Quitralco (Est. 30). Concentraciones mayores de 0,07% se presentaron en el canal Moraleda (Est. 9).

Distribución superficial de la relación C:N

De acuerdo al análisis de la relación atómica C:N, en los 3 centímetros superiores de la columna de sedimento, la mediana de la zona sur (Est. 27 a 30) presentó, un valor menor (C:N = 9,41) que el de la zona extremo sur (C:N = 14,40) (Est. 6 a 22 y 31) (Fig. 7).

Distribución vertical de la relación C:N

La relación C:N por segmentos individuales con profundidad de cada estación, presentó valores que fluctuaron entre 6,34 y 23,05. El menor rango en profundidad fue de 1,19 correspondiente a la estación 6 y el mayor fue de 8,17 en la estación 29 (Fig. 8).

DISCUSIÓN

Textura

La textura del sedimentos de las estaciones analizadas, fue predominantemente conformada por material menor de 0,063 mm de diámetro (Fig. 2). De acuerdo a Duinker, (1980), las partículas limo-arcillosas se cubren rápidamente con una capa de materia orgánica, debido a que éstas tienen tendencia a poseer cargas negativas asociadas a su estructura. Como eventualmente se hundan hasta el fondo marino, remueven una cantidad significativa de materia orgánica desde el agua de mar. Este autor también indica que las arenas, que son básicamente cuarzo, no tienen cargas, por lo que no tienen mayor atracción por la materia orgánica y por lo tanto están asociadas a menores cantidades de ella. Lo anterior se cumple en la mayoría de las observaciones de este crucero, ya que las mayores concentraciones de C-orgánico en la columna (> 1,5%) están asociados a altos contenidos de limos y arcillas (> 90%) (Est. 6, 17, 21 y 22) y las bajas concentraciones de C-orgánico (< 1,5%) a altos contenidos de arenas (> 50%) (Est. 5 y 11) (Fig. 2).

Sin embargo, las estaciones 28 y 29, ubicadas en el estero Cupquelán, se comportan en una forma "anómala" ya que en parte de la estación 28 y toda la estación 29 se observaron altos porcentajes de limos y arcillas (Fig. 2), por lo que se esperaría un porcentaje alto de C-orgánico (> 1,5%), situación que no fue así (Fig. 2). Esto se explica en base a que gran parte del material

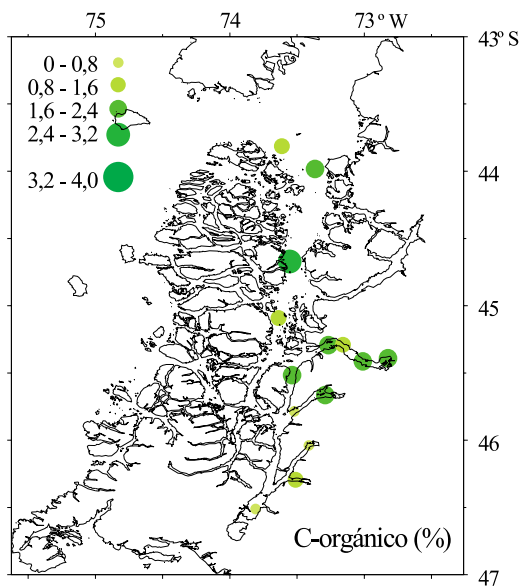


Fig. 3: Distribución de carbono orgánico (%) en el sedimento superficial (0-3 cm).
 Fig. 3: Organic carbon (%) distribution in surface sediments (0-3 cm).

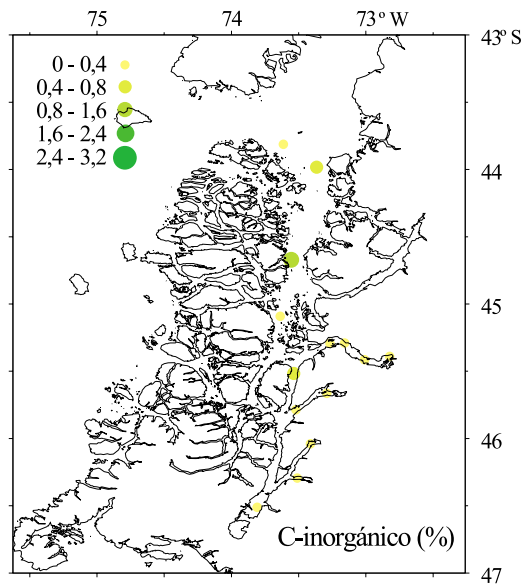


Fig. 4: Distribución de carbono inorgánico (%) en el sedimento superficial (0-3 cm).
 Fig. 4: Inorganic carbon (%) distribution in surface sediments (0-3 cm).

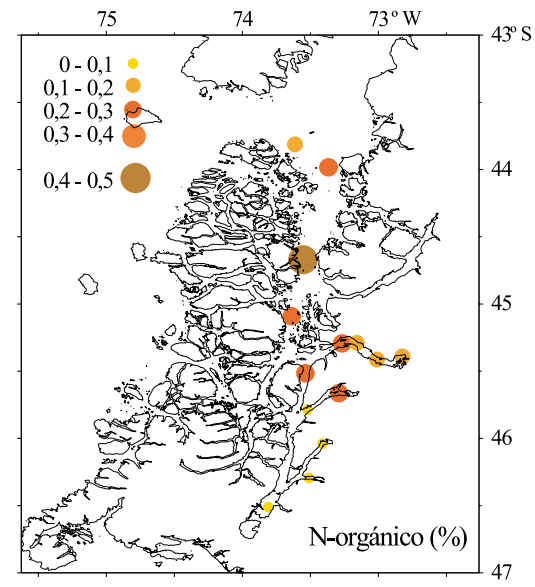


Fig. 5: Distribución de nitrógeno orgánico (%) en el sedimento superficial (0-3 cm).
 Fig. 5: Organic nitrogen (%) distribution in surface sediments (0-3 cm).

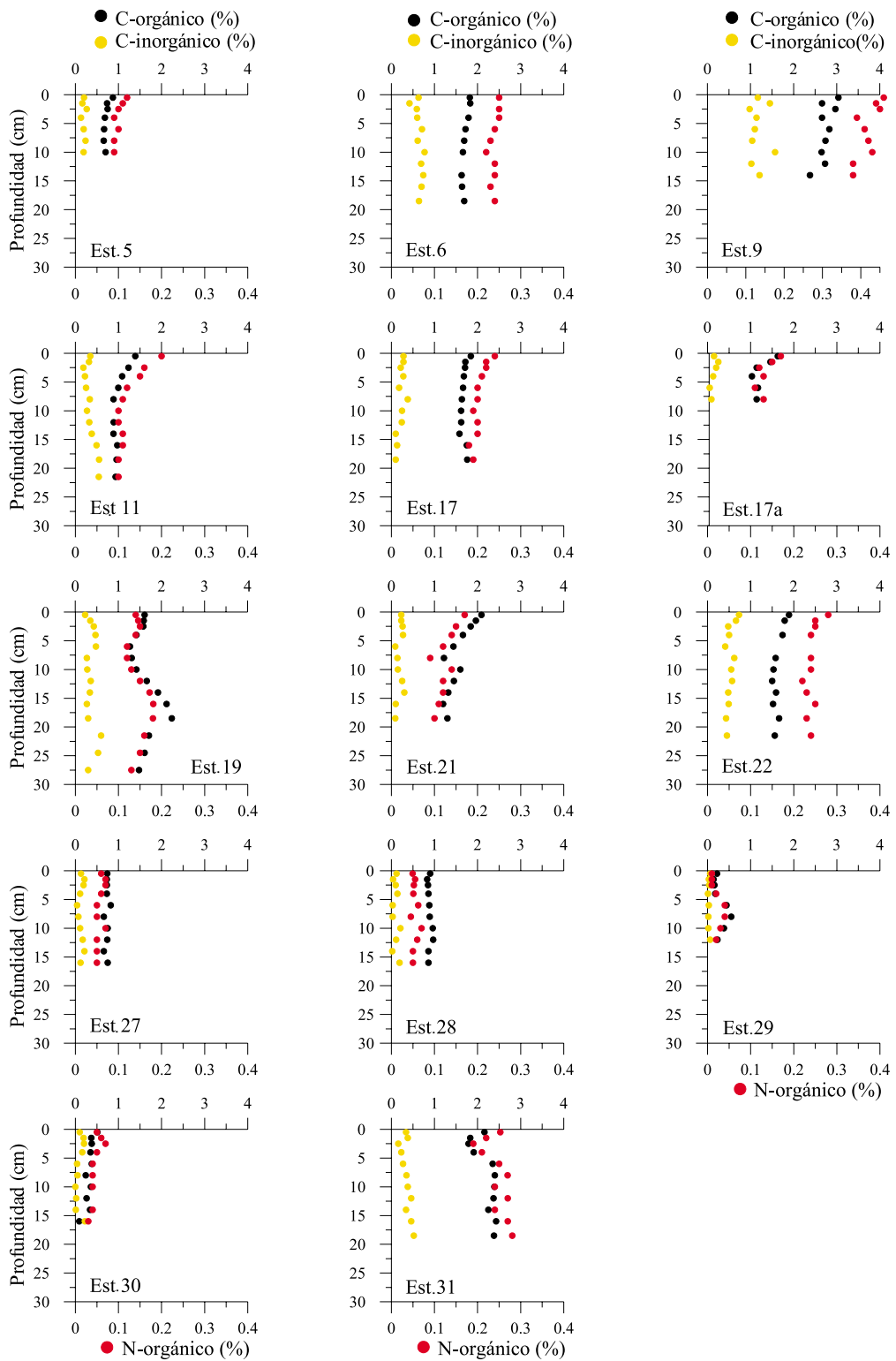


Fig. 6: Distribución vertical de carbono orgánico, carbono inorgánico y nitrógeno orgánico para las columnas de sedimento (0-30 cm).

Fig. 6: Organic carbon, inorganic carbon and organic nitrogen (%) vertical distribution in the sediment column (0-30 cm).

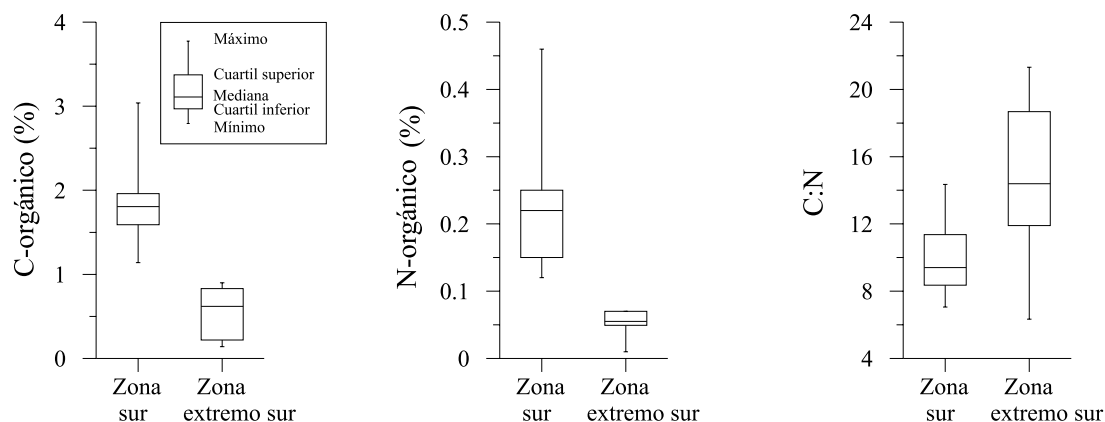


Fig. 7: Gráfico Box Whisker para el C-orgánico (%), N-orgánico (%) y relación C:N ($\mu\text{g-át C}\cdot\text{g}^{-1} / \mu\text{g-át N}\cdot\text{g}^{-1}$) del sedimento superficial (0 - 3 cm), de las estaciones de la zona sur (6 a 22 y 31) y de las estaciones de la zona extremo sur (27 a 30). En el recuadro superior izquierdo se indica el descriptor de la figura.

Fig. 7: Organic carbon (%), organic nitrogen (%) and C:N ratio ($\mu\text{g-át C}\cdot\text{g}^{-1} / \mu\text{g-át N}\cdot\text{g}^{-1}$), Box Whisker diagram for surface sediment (0 - 3 cm) of south zone stations (6 to 22 and 31), and extreme south stations (27 to 30). In the upper left corner a figure descriptor is printed.

fino que llega al sedimento es más bien inorgánico del tipo cuarzo y que la cantidad de materia orgánica que llega al sedimento en este estero es menor que en los otros canales de la zona con sedimentos finos, ricos en C-orgánico.

Lo anterior es producto de la influencia de las desembocaduras de ríos de origen glaciar provenientes del ventisquero Erasmo y Huemules en la cabeza del estero Cupquelán (Est. 29) y de los ríos Exploradores y Sur provenientes de Campos de Hielos del San Valentín (Est. 28) (Fig. 1).

Por otra parte, al analizar la producción fitoplanctónica de esta zona, que es una de las principales fuentes de materia orgánica de los sedimentos marinos, mediciones del fitoplancton de las estaciones 28 y 29 realizadas por Avaria *et al.* (1997), presentaron bajas concentraciones con densidades que fluctuaron entre $2\cdot 10^4$ y $20\cdot 10^4$ cél·L⁻¹ y una biomasa entre 0,1 y 0,8 mg·L⁻¹. Lo anterior es bajo, comparado con las altas concentraciones encontradas, por los mismos autores, en las estaciones entre el canal Costa y el extremo norte del canal Moraleda, donde las densidades estuvieron entre $1\cdot 10^4$ y $5\cdot 10^4$ cél·L⁻¹ y la biomasa entre 3 y 15 mg·L⁻¹. Esto es coincidente con los bajos valores de pigmentos fotosintéticos encontrados en el estero Cupquelán por Ramírez (1996), durante el mismo crucero.

Por lo tanto, de acuerdo a la información anterior, la zona del Cupquelán presentó una

comparativamente baja producción marina de materia orgánica y por lo tanto bajas concentraciones de compuestos orgánicos en el sedimento. Además de lo anterior, el ingreso de material inorgánico de origen glaciar, que también se acumula en el sedimento, provoca la dilución del material orgánico disminuyendo más aún la concentración de los compuestos orgánicos en el sedimento. Esto explicaría las bajas concentraciones de carbono orgánico asociados a sedimento fino, observado en la zona del Cupquelán (Fig. 2). Esta situación también fue observada en los fiordos aledaños a Campos de Hielo Sur por Silva *et al.* (2001), por lo que puede ser considerada como una característica propia de las zonas de fiordos con glaciares activos.

Distribución vertical de la porosidad

De acuerdo a Berner (1980), la porosidad inicial de un sedimento depositado es principalmente una función del tamaño del grano. Los granos pequeños tienen un área de superficie específica alta, y en consecuencia, son considerablemente influenciados por los efectos químicos-electrostáticos de la superficie, lo que da como resultado una alta porosidad de la muestra ($\phi = 0,9$ a $0,7$). Esto se observa principalmente en los sedimentos limo-arcillosos, que fueron predominantes en este estudio, como es el caso de las estaciones 6, 17, 21 y 22 en las cuales el material de diámetro menor de

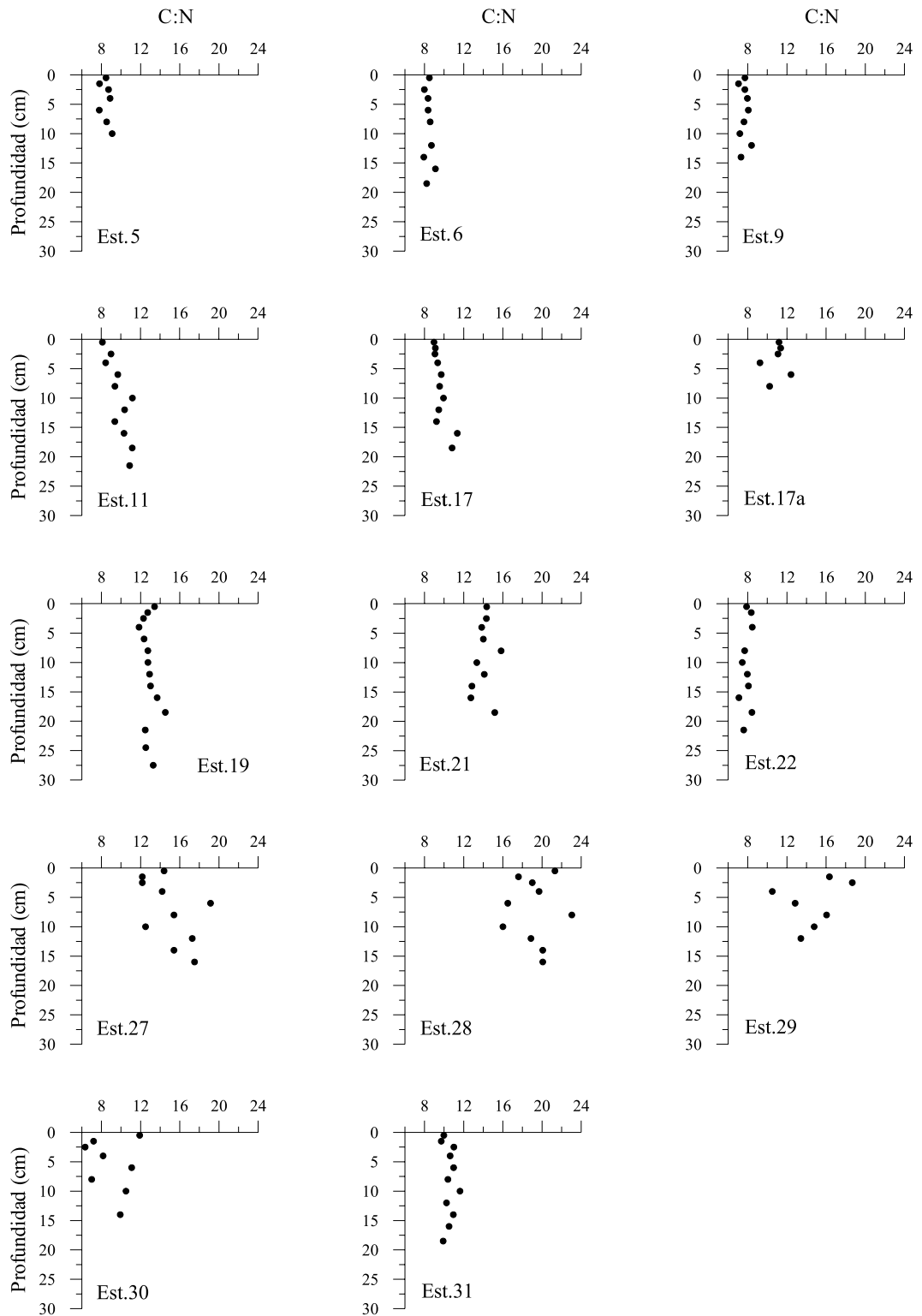


Fig. 8: Distribución vertical de la relación C:N ($\mu\text{g-át C}\cdot\text{g}^{-1} / \mu\text{g-át N}\cdot\text{g}^{-1}$) en las columnas de sedimento (0-30 cm).
 Fig. 8: C:N ratio ($\mu\text{g-át C}\cdot\text{g}^{-1} / \mu\text{g-át N}\cdot\text{g}^{-1}$) vertical distribution in the sediment columns (0-30 cm).

0,063 mm fueron predominantes (> 90%). En estas estaciones la porosidad fue superior a 0,8 (Fig. 2).

Por otra parte, Berner (1980), también indica que la porosidad inicial de partículas gruesas, como las arenas, es mucho menos afectada por la química de la superficie. Lo anterior provoca un mayor ordenamiento geométrico, produciendo a su vez valores de porosidad mucho más bajos ($\phi = 0,36$ a $0,46$). Las estaciones 5 y 29, con una mayor proporción de arenas que las estaciones anteriores, presentaron las porosidades más bajas ($\phi < 0,6$) (Fig. 2).

La situación de la estación 29 es más compleja ya que ella está compuesta principalmente por limos y arcillas, sin embargo su porosidad es baja y con discontinuidades importantes (Fig. 2). Esto podría ser el resultado de alteraciones en la tasa de sedimentación o de la composición química del material sedimentado, entre otros. A modo de ejemplo se puede indicar que en esta estación a la misma profundidad en que se encuentra un aumento de la porosidad (5 a 10 cm) (Fig. 2) también hay un aumento del C-orgánico y N-orgánico, por lo tanto una alteración de la composición química del sedimento. Una situación similar se produce en la estaciones 11 y 21 (Figs. 2 y 6).

Se observó que la porosidad, en general, tendió a disminuir con la profundidad, lo que es producto de la compresión resultante de la constante deposición de sedimento. Esto da como resultado una compactación de los sedimentos, expulsando hacia arriba algo de agua intersticial y causando un incremento en la densidad de éste (Berner, 1980). Lo anterior se puede observar que se cumple en la mayoría de las estaciones (Fig. 2). Sin embargo las estaciones que no siguieron esta distribución y en algunos casos la porosidad aumentó hacia el fondo (Est. 11, 22 y 31), lo cual también puede estar asociada a cambios en la tasa de sedimentación, textura o de la composición química del sedimento.

Distribución horizontal del carbono y nitrógeno

La distribución del carbono y nitrógeno orgánico del sedimento superficial de la zona (Figs. 3 y 5), en términos generales, permiten segregar el área en dos zonas, una de alta concentración, entre el extremo norte del canal Moraleda y al norte de la boca del estero Quitralco (Est. 6 a 22 y 31) y la otra de baja concentración, que incluye el estero Cupquelán y golfo Elefantes (Est. 27 a 30). Esta segregación horizontal de carbono y ni-

trógeno orgánico esta de acuerdo con la propuesta por Silva *et al.* (1998a), para esta zona, quienes denominaron a la primera como zona sur y a la segunda, extremo sur.

Según Silva *et al.* (1998a) la mayor o menor concentración de compuestos orgánicos en estas distintas zonas, es el resultado individual o combinado de la presencia o ausencia de: ríos locales (que transportan a los canales, sedimentos terrígenos y edáficos alóctonos), cuencas batimétricas profundas (que actúan como trampas de sedimentos), glaciares y ventisqueros (que liberan material inorgánico fino), producción planctónica (que genera material orgánico marino autóctono) e intensidad de las corrientes (que arrastra los sedimentos más finos).

En el caso de la zona sur, los sedimentos reciben el aporte de la producción marina autóctona y alóctona transportada por los ríos y escurrimiento costero, no recibiendo el aporte directo de sedimentos glaciofluviales producto de la ausencia o lejanía de ventisqueros. La zona extremo sur, además del aporte de la producción marina autóctona y alóctona, recibe el aporte de sedimentos glaciofluviales desde los ventisqueros Erasmo y del San Valentín (Fig. 1).

Los sedimentos superficiales (0-3 cm) de las estaciones de la zona sur (alta concentración), presentaron una mediana de C-orgánico de 1,81% con un rango entre 1,14 y 3,04%, mientras que en el caso de las estaciones de la zona extremo sur (baja concentración), presentaron una mediana de 0,62% con un rango entre 0,14 y 0,90% (Fig. 7). La comparación estadística de las medianas mediante el test de Kolmogorov-Smirnov ($p < 0,01$), indicó que hay diferencias significativas entre la zona sur versus la extremo sur. Estos valores son comparables con los obtenidos por Silva *et al.* (1998a) para esta misma área de estudio, donde en la zona sur obtuvieron un promedio de 1,75% con un rango entre 0,10 y 3,00% y para la zona extremo sur un promedio de 0,40% con un rango entre 0,07 y 0,82%.

Para N-orgánico los sedimentos superficiales de las estaciones de la zona sur (alta concentración), presentaron una mediana de 0,22% con un rango entre 0,12 y 0,46%, mientras que en el caso de las estaciones de la zona extremo sur (baja concentración), presentaron una mediana de 0,06% con un rango entre 0,01 y 0,07% (Fig. 7). De acuerdo al test de Kolmogorov-Smirnov ($p < 0,01$), hay diferencias significativas entre la zona sur versus la extremo sur. Estos valores, al igual que para el C-orgánico, son comparables con los obtenidos por

Silva *et al.* (1998a), donde para la zona sur obtuvieron un promedio de 0,19% con un rango entre 0,00 y 0,41% y para la zona extremo sur un promedio de 0,04% con un rango entre 0,00 y 0,08%.

Al comparar esta zona de estudio con otras zonas de fiordos, tales como las del noroeste de Canadá, específicamente el estuario del Lower St Lawrence y su tributario el fiordo Saguenay ($\approx 47^\circ - 49^\circ \text{N}$ y $67^\circ - 71^\circ \text{W}$), los valores de C-orgánico para el estuario del Lower St. Lawrence son, en general, comparables con los de la zona sur observados por Silva *et al.* (1998a). Para este estuario, los valores de C-orgánico, en los tres centímetros superiores, fluctuaron entre 1,80 y 2,00% (Louchouart *et al.*, 1997). Sin embargo, en el fiordo Saguenay, que es afluente del estuario Lower St. Lawrence, estos fueron mayores, entre 2,1 y 3,80%. En este último caso los mayores valores de C-orgánico se deben a que el fiordo Saguenay está afectado por un mayor aporte alóctono que el estuario Lower St. Lawrence, lo que pudieron inferir basado en sus mayores valores de lignina ($1,3$ a $1,8 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ v/s $2,5$ y $4,2 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$), debido a los aportes al fiordo de desechos de industrias papeleras ubicadas en la zona (Louchouart *et al.*, 1997).

Para el caso de valores de N-orgánico de la zona sur, son más altos que los valores de N-orgánico del estuario Lower St. Lawrence donde estos, en los tres centímetros superiores, fluctuaron entre 0,14 y 0,17% (Louchouart *et al.*, 1997). Por su parte, en el fiordo Saguenay, el N-total también presentó valores comparativamente bajos, entre 0,11 y 0,22%. En ambos casos, los menores valores de nitrógeno total, comparados con la zona austral chilena, se deben a que el estuario Lower St Lawrence y fiordo Saguenay reciben un mayor aporte terrígeno, comparativamente más pobre en nitrógeno que el de origen marino.

En cuanto al C-inorgánico, tanto la zona sur como extremo sur, presentaron concentraciones bajas (Fig. 4). Esto concuerda con lo observado por Silva *et al.* (1998a) para la misma área.

Distribución vertical de carbono y nitrógeno

En cuanto a la distribución vertical de C-orgánico y N-orgánico, los perfiles de las estaciones presentaron, en general, escasa variación de sus concentraciones con la profundidad (Est. 5, 6, 17, 27, 28 y 30) (Fig. 6). Sin embargo, existe un grupo de estaciones cuya variabilidad fue mayor (Est. 9, 11, 17a, 19, 21, 22, 29 y 31). Es importante notar, que las estaciones que mostraron una com-

parativamente alta o baja concentración en superficie, también lo hicieron en el resto de la columna de sedimentos analizada.

La baja variabilidad de C-orgánico y N-orgánico en los primeros 30 cm de la columna de sedimentos, se atribuye a la presencia de una capa relativamente homogénea producto de bioperturbación. Las zonas óxicas se caracterizan por distribuciones químicas relativamente homogéneas debido a la actividad bioperturbadora de organismos biológicos, en cambio, los sedimentos reductores, no afectados por bioperturbación, son más aptos para presentar gradientes de concentración (Aller, 1982).

De acuerdo a Silva *et al.* (1995 y 1997), los canales de esta zona son profundos (100 - 400 m), con valores de oxígeno disuelto en la columna de agua superiores a $3 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$, excepto para algunas zonas ubicadas en los canales Jacaf, Puyuguapi, Ventisquero y seno Aysén, donde se observaron valores entre $1,5$ y $2,5 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ cerca del fondo. Silva *et al.* (1998b) indican que la circulación estuarina positiva de la zona permite la ventilación de las capas más profundas de los canales, no habiendo detectado zonas anóxicas, al menos hasta la profundidad de muestreo (5 - 10 m sobre el fondo).

En algunas estaciones se presentó una distribución vertical con una variación cercana a una disminución exponencial en C-orgánico y N-orgánico (Est. 11, 17a, 17 y 22) (Fig. 6). Esto se debería a que en estas estaciones habría una escasa o nula bioperturbación, una tasa de sedimentación más bien constante y que el material depositado ha tenido una composición química relativamente estable en el tiempo. Esta distribución vertical exponencial es típica de situaciones en que los procesos diagenéticos de la materia orgánica, ocurren de acuerdo a una cinética de primer orden (Berner, 1980; Rojas 2002).

En cuanto a los perfiles que presentan variabilidad, pero que no disminuyen sus concentraciones de C-orgánico y N-orgánico en forma exponencial (Est. 6, 9, 19, 21, 27, 28, 29, 30 y 31), pueden explicarse, entre otras, en base a alguna o varias de las siguientes posibilidades: a) bioperturbación, b) que el material que ha sido depositado a través del tiempo no ha sido de características químicas similares, c) que la tasa de sedimentación no ha sido constante o d) que ha habido situaciones como deslizamientos o intrusiones de material externo, lo que corresponde a perturbaciones históricas de la columna de sedimento. La estación 21 parece ser un buen

ejemplo de lo anterior, ya que mediciones independientes muestran inflexiones similares entre los 7 y 12 cm de la columna tanto en C-orgánico, como en N-orgánico (Fig. 6), textura y porosidad (Fig. 2), lo cual se puede interpretar como la presencia, a esta profundidad, de un material de distinto origen o depositado a una tasa diferente que el resto de la columna o intrusión de material externo.

Relación C:N

Distribución C:N superficial

Los sedimentos superficiales (0-3 cm) de las estaciones de la zona sur, presentaron una mediana de C:N de 9,41 con un rango entre 7,06 y 14,35 (Fig. 7), valor que es levemente mayor al valor de la composición elemental indicada por Redfield *et al.* (1963) para el fitoplancton (6,63). En el caso de las estaciones de la zona del extremo sur, presentaron una mediana de C:N de 14,40 con un rango entre 6,34 y 21,32 (Fig. 7) la que de acuerdo al test de Kolmogorov-Smirnov ($p < 0,01$), fue significativamente diferente de la mediana de la zona sur.

Silva *et al.* (1998a) indican que el mayor valor de C:N observado en los sedimentos en el área se debería, en parte, a que en aguas costeras los aportes de material biogénico de origen alóctono alteran la señal del aporte marino autóctono, por lo que entonces el material orgánico que llega a los sedimentos no sería exclusivamente de origen planctónico. Esto es de esperar en una zona con una gran cantidad de vegetación terrestre alrededor de los canales y fiordos, ya que el material edáfico de origen terrestre tiene valores medios C:N mucho más altos, 80 según Deevy (1973) y 127 según Delwiche & Likens, (1977), 100-500 según Composter (2002), y su ingreso al sedimento marino haría que el valor C:N de éste aumente. Por otra parte, estos autores también indican que los mayores valores C:N podrían ser, en alguna medida, el resultado de la depositación de material marino que ha sufrido degradación preferencial de nitrogenados durante su sedimentación (Jorgensen, 1996).

Al analizar los valores C:N promedio en los 3 cm superficiales de una sección océano-costa, se observó que estos valores fueron aumentando, en general, desde el golfo Corcovado (Est. 5; C:N = 8,33) hasta la cabeza del seno Aysén (Est. 21; C:N = 14,33) (Figs. 1 y 9). Este aumento de tipo exponencial del valor de los promedios del C:N, implica un aumento creciente del aporte

de material alóctono en el sedimento de los canales, en la medida que se va desde las estaciones más cercanas al océano hacia las estaciones en la cabeza del estuario. Esto es atribuido al hecho que las estaciones del seno Aysén, tienen una mayor influencia de aportes fluviales de ríos locales (Aysén, Cuervo y Cóndor entre otros), los que aumentan el aporte del sedimento terrígeno y por lo tanto el C:N.

Pinto & Bonert (1999) evaluaron la contribución de materia orgánica de origen terrestre y de origen marino mediante el uso de biomarcadores lipídicos. Para ello analizaron los hidrocarburos alifáticos presentes en el sedimento superficial (0-3 cm) obtenido en las estaciones 6 y 11 en el canal Moraleda y la estaciones 17, 19 y 21 en el seno Aysén, encontrando que el Índice de Carbono Preferencial (ICP) de hidrocarburos alifáticos, presentaba un aumento desde el extremo norte del Moraleda (ICP = 2,5), hasta la cabeza del seno Aysén (ICP = 10,7). Estos autores indican que ello implica una presencia de dos tipos de aporte claramente definidos; para las estaciones del Moraleda el ICP es más bajo, característico de materia orgánica de origen planctónico y para el seno Aysén el ICP es más alto, lo que implica un aumento en el aporte de origen terrígeno.

Lo anterior es coincidente con el aumento de los valores C:N indicado anteriormente. El ICP entrega una evidencia independiente sobre la validez de hipótesis de que los sedimentos de la zona tienen principalmente un aporte autóctono con cantidades crecientes de material alóctono, en la medida que éste está más cerca de las cabezas de los canales o fiordos.

Louchouart *et al.* (1997) observó que en el estuario Lower St. Lawrence los valores C:N de los sedimentos superficiales son más bajos comparados con los de su tributario, el fiordo Saguenay, (13-14 v/s 22-25). Esto estuvo relacionado con el hecho de que el estuario, que está más cerca del océano que el fiordo, tiene una proporción más alta de materia orgánica marina autóctona, recibiendo una menor fracción de la materia orgánica terrígena que la que se deposita en el fiordo Saguenay. Esto queda de manifiesto cuando se comparan la cantidades de lignina del sedimento de ambos (1,2 - 1,7 mg·g⁻¹ v/s 2,5 - 4,2 mg·g⁻¹).

Al comparar los sedimentos superficiales de la zona sur, con los del fiordo Saguenay y los del estuario Lower St. Lawrence, que los que tampoco están afectados por la presencia de ventisqueros, éstos presentan valores C:N más bajos que los del

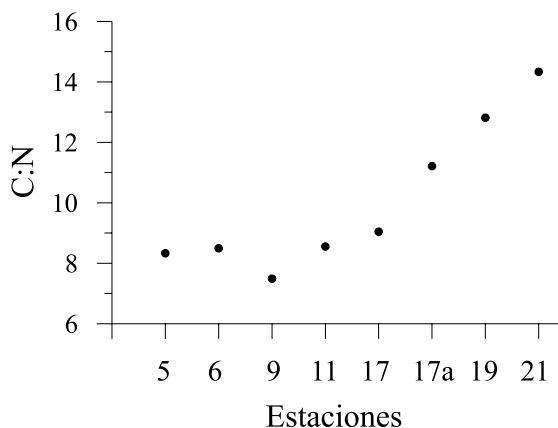


Fig. 9: Distribución horizontal de la relación C:N ($\mu\text{g-át C}\cdot\text{g}^{-1} / \mu\text{g-át N}\cdot\text{g}^{-1}$) en sedimentos superficiales (0 - 3 cm), para las estaciones del canal Moraleda y seno Aysén.

Fig. 9: C:N ratio ($\mu\text{g-át C}\cdot\text{g}^{-1} / \mu\text{g-át N}\cdot\text{g}^{-1}$) horizontal distribution in surface sediments (0 - 3 cm). Moraleda channel to Aysén fjord stations.

fiorde Saguenay (7-14 v/s 22-25) y que los de estuario Lower St. Lawrence (7-14 v/s 13-14).

En base a las comparaciones anteriores, se estima que el sedimento de la zona más cercana al océano y que presenta valores C:N superficiales menores (Est. 5 a 11; C:N = 8 - 9), es preferentemente autóctono o de origen marino, con algún grado de degradación. En el caso de las estaciones interiores (Est. 17 a 21; C:N = 9 - 14), el sedimento también sería autóctono, pero con cantidades crecientes de material edáfico, en la medida que se está más cerca a zonas de desembocaduras de ríos (Fig. 9). Valores independientes de $\delta^{13}\text{C}$, indican que en las estaciones 21 y 19 existe un importante aporte de carbono de origen terrestre en el sedimento del seno Aysén (Pinto & Bonert, 1999).

Los mayores valores de la zona del extremo sur (mediana de C:N = 14,40), respecto a los de la zona sur (mediana de C:N = 9,41) (Fig. 7), pueden tener su explicación en un mayor aporte de material alóctono o menor aporte de material autóctono en la zona. Como parece no existir una diferencia importante en la densidad de vegetación entre la zona sur y el extremo sur, fuente de material alóctono, una menor producción primaria planctónica de la zona extremo sur, parece ser la explicación más adecuada a las diferencias observadas en las medianas del C:N.

Una comparativamente menor producción primaria, provocaría que a aportes similares al sedimento de material alóctono provocaría un aumento de la relación C:N en la zona extremo sur, ya que habría una mayor proporción de material más

rico en carbono. Desafortunadamente no se tienen datos de ICP ni de $\delta^{13}\text{C}$, por lo que no es posible tener una medición independiente para apoyar esta hipótesis.

Distribución C:N vertical

Con respecto a la distribución vertical de la razón C:N para los segmentos individuales, sólo las estaciones 11 y 17 presentaron, en general, un aumento vertical paulatino con la profundidad hasta unos 12-14 cm de profundidad (Fig. 8). La degradación preferencial de compuestos nitrogenados provoca el aumento de la relación C:N en profundidad lo cual está relacionado con las características Redox del sedimento (Price, 1976; Jorgensen, 1996). Este aumento de C:N y disminución exponencial de C-orgánico y N-orgánico se debería a que la mineralización de la materia orgánica, se produjo a través de un proceso diagenético secuencial de primer orden de acuerdo a lo propuesto por Berner (1980) y Boudreau, (1997) y a lo demostrado por Rojas (2002) para estas estaciones.

Los perfiles verticales C:N de las estaciones 5, 6, 9, 22 y 31 presentaron muy poca variación en profundidad (Fig. 8), esto se interpretó como la presencia de sedimento con una calidad química similar en la columna. Por otra parte, las estaciones 27, 28, 29 y 30 tuvieron una significativa variabilidad en la distribución vertical de la relación C:N, no presentando un gradiente vertical definido (Fig. 8).

La alta variabilidad de la razón C:N, de las estaciones anteriores, como sus altos valores al-

canzados (12 a 24) (Fig. 8), pueden ser explicados en base a dos hipótesis. Una, podría ser una calidad levemente diferente de la composición química del sedimento en cada estrato, pero como sus concentraciones son comparativamente bajas (C-orgánico < 800 $\mu\text{g-}\hat{\text{a}}\text{t C}\cdot\text{g}^{-1}$ y N-orgánico < 70 $\mu\text{g-}\hat{\text{a}}\text{t N}\cdot\text{g}^{-1}$), cualquier variación menor en uno de los componentes repercutirá con altas variaciones del valor C:N. Por otra parte, se podría pensar que debido a las bajas concentraciones a que se trabajó, pequeños errores en el análisis químico repercutirían con altas variaciones en el valor C:N. La estación 5 presenta una situación similar a las estaciones 27, 28, 29 y 30 presentando bajas concentraciones de C-orgánico y N-orgánico. Sin embargo, los valores C:N y dispersión de la estación 5 no fueron tan altos como lo que mostraron las estaciones 27, 28, 29 y 30. Por otra parte, los análisis de C-orgánico y N-orgánico fueron calibrados con muestras certificadas, por lo que la hipótesis de la presencia una calidad levemente diferente en la composición química del sedimento en cada estrato, parece ser la más adecuada para explicar la alta variabilidad observada.

CONCLUSIONES

La composición granulométrica estuvo conformada predominantemente por material limo-arcilloso para la zona de estudio y estuvo asociada a las altas concentraciones de C-orgánico y N-orgánico. En los casos de altos contenidos de arenas, éstas estuvieron asociadas a bajas concentraciones de C-orgánico y N-orgánico.

En las zonas que se encuentran bajo la influencia de glaciares, se observó alto porcentaje de limos y arcillas y un bajo porcentaje de C-orgánico y N-orgánico, lo cual fue atribuido, por una parte, a una menor producción primaria de la zona y por otra, a un importante aporte de material fino con un alto contenido inorgánico de origen erosivo glacial, el que provoca la dilución del material orgánico y, por lo tanto, disminuyendo más aún la concentración de éste.

La distribución vertical del contenido de C-orgánico y N-orgánico del sedimento (0-30 cm), presentó en algunas estaciones una distribución vertical cuasi homogénea, lo cual fue interpretado como el resultado de la presencia de sedimento bioperturbado. Otras estaciones presentaron una distribución con mayor variabilidad y sin una tendencia definida, lo cual fue interpretado como la presencia de depositación de sedimento con características físicas y químicas di-

ferentes. Finalmente, algunas estaciones presentaron una disminución de la concentración de componentes orgánicos en forma prácticamente exponencial, lo cual fue interpretado como áreas de degradación del material orgánico de acuerdo a una cinética de primer orden.

Basado en la distribución horizontal de los contenidos de C-orgánico, N-orgánico y la razón C:N del sedimento, el área fue dividida en dos zonas estadísticamente diferentes, una denominada sur (con mayor concentración de componentes orgánicos) y la otra extremo sur (con menor concentración de componentes orgánicos). Esta segregación concuerda con la propuesta por Silva *et al.*, 1998a.

Los valores C:N del sedimento superficial mostraron un gradiente horizontal creciente, aumentando desde la zona oceánica (C:N = 8,33) hasta la cabeza del estuario (C:N = 14,33). Esto fue atribuido a un mayor aporte de material alóctono edáfico al sedimento en los canales continentales, que en los canales oceánicos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer:

Al Ministerio de Hacienda, Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) y Comité Oceanográfico Nacional (CONA), por el financiamiento parcial del presente estudio. Al proyecto FONDEF 2-41 (CERIO), por el aporte de instrumental utilizado en los análisis químicos.

A los comandantes del AGOR "Vidal Gormaz", CF. Sr. Rodolfo Storaker y CF. Gastón Lillo, sus oficiales y tripulación por su apoyo a bordo en la toma de las muestras en las respectivas etapas del crucero Cimar 4 Fiordos.

A la Dra. Laura Farías por sus sugerencias para el análisis de la información. A los señores técnicos muestreadores Reinaldo Rehhof y Francisco Gallardo, por su esmerado trabajo a bordo en la toma de las muestras. A las señoritas María Angélica Varas, Edith Tapia y Brunilda Menares por su dedicada labor en los análisis químicos y mecánicos de las muestras de sedimento.

A un revisor anónimo, por sus valiosas sugerencias en la revisión del dactiloscrito.

El material incluido en este trabajo, es parte de la Tesis para optar al Título de Oceanógrafo del primer autor.

REFERENCIAS

- Ahumada, R., A. Rudolph & N. Silva. 1996. Contenido de carbono total, carbono orgánico, carbono inorgánico, nitrógeno orgánico y fósforo total, en los sedimentos de los fiordos de Campos de Hielo Sur. *Cienc. Tecnol. Mar*, 19: 123-132.
- Aller, R. 1982. The effects of macrobenthos on chemical properties of marine sediments and overlying water. En: *Animal-Sediments relations*. McCall, P. L. and M. J. S. Tevesz (eds.), pp. 53-102. Plenum Press, New York.
- Avaria, S., D. Cassis, P. Muñoz & P. Vera. 1997. Distribución del microfitoplancton marino en aguas interiores del sur de Chile en octubre de 1995 (Crucero Cimar-Fiordo 1). *Cienc. Tecnol. Mar*, 20: 107-123.
- 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.
- Boudreau, B. 1997. *Diagenetic models and their implementation: modelling transport and reactions in aquatic sediments*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 414 pp.
- Composter. 2002. Carbon to nitrogen ratio. <http://www.digitalseed.com/composter/science/cnratio.html>. Consulta: 29 marzo de 2002.
- Cowie, G. & J. Hedges. 1992. Sources and reactivities of amino acids in the coastal marine environment. *Limnol. Oceanog.*, 37: 703-724.
- Deevy, E. 1973. Sulfur, nitrogen and carbon in the biosphere. En *Carbon and the Biosphere* (Eds. G.M. Woodwell and E.V. Peacan) USAEC, Washington, D.C., pp. 182-190.
- Delwiche, C. & G. Likens. 1977. Biological response to fossil fuel combustion products. In: *Global Chemical Cycles and their alterations by man* (Ed. W. Stumm) Dahlem Kohferenzen, Berlin, pp. 73-88.
- 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 Willey and Sons. New York, 452 pp.
- Jorgensen, B., M. Bang & T. Blackburn. 1990. Anaerobic mineralization in marine sediments from the Baltic Sea-North Sea transition. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 59: 39-54.
- Jorgensen, B. 1996. Material flux in the sediment. En: B. Jorgensen and K. Richardson (eds.). *Coastal and Estuarine Studies*. American Geophysical Union, pp. 115-135.
- Louchouart, P., M. Lucotte, R. Canuel, J. Gagné & 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.
- Pinto, L. & C. Bonert. 1999. Estimación de las distintas fuentes de carbono orgánico y su estabilidad en sedimentos entre Corcovado y Elefantes mediante biomarcadores lipídicos. Libro de Resúmenes del Taller de Resultados del Crucero Cimar 4 Fiordos. 9-10 Septiembre, Valparaíso, pp. 41-44.
- Price, B. 1976. Chemical diagenesis in sediment. En: J. Riley and R. Chester (eds.). *Chemical Oceanography Volume 6*. Academic Press, London, pp. 01-58.
- Ramírez, B. 1996. Distribución de la biomasa pigmentaria en los canales australes. Comité Oceanográfico Nacional-Chile, Libro de Resúmenes de Resultados Crucero Cimar-Fiordo 1, Valparaíso 9 - 10 de octubre, pp. 74-75.
- Redfield, A., B. Ketchum & F. Richards. 1963. The influence of organisms on the composition of water. En: M. N. Hill (ed.). *The Sea*, Vol. 2. Wiley-Interscience, pp. 26-77.
- 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.
- SERNAPESCA. 1999. Anuario estadístico de pesca 1999. Servicio Nacional de Pesca, Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Chile. Valparaíso, 291 pp.
- Silva, N., H. Sievers & R. Prado. 1995. Características oceanográficas y una proposición de

- circulación, para algunos canales australes de Chile entre 41° 20' S y 46° 40' S. *Rev. Biol. Mar., Valparaíso*, 30 (2): 207-254.
- Silva, N., C. Calvete & H. Sievers. 1997. Características oceanográficas físicas y químicas de canales australes chilenos entre Puerto Montt y laguna San Rafael (Crucero Cimar-Fiordo 1). *Cienc. Technol. Mar*, 20: 23-106.
 - Silva, N., J. Maturana, I. Sepúlveda & R. Ahumada. 1998a. 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-Fiordo 1). *Cienc. Technol. Mar*, 21: 49-74.
 - Silva, N., C. Calvete & H. Sievers. 1998b. Masas de agua y circulación general para algunos canales australes entre Puerto Montt y laguna San Rafael, Chile (Crucero Cimar-Fiordo 1). *Cienc. Technol. Mar*, 21: 17-48.
 - Silva, N., V. de Vidts & J. Sepúlveda. 2001. Materia orgánica, C y N, su distribución y estequiometría, en sedimentos superficiales de la región central de los fiordos y canales australes de Chile (Crucero Cimar-Fiordo 2). *Cienc. Technol. Mar*, 24: 23-40.
 - Stumm, W. & J. Morgan. 1981. *Aquatic Chemistry. An introduction emphasizing chemical equilibria in natural water*. John Wiley & Sons, New York, 780 pp.
 - Willard, H., N. Furman & C. Bricker. 1956. *Análisis químico cuantitativo*. Marín, S.A., Barcelona, 557 pp.