

**CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS, ENTRE
BOCA DEL GUAFO Y FIORDO AYSÉN
(CRUCERO CIMAR 7 FIORDOS)***

PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS BETWEEN
BOCA DEL GUAFO AND AYSÉN FJORD
(CIMAR 7 FIORDOS CRUISE)*

NELSON SILVA ¹
DAFNE GUZMÁN ^{1, 2}

¹ Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
Av. Altamirano 1480, Valparaíso.

E-mail: nsilva@ucv.cl

² Universidad del Mar.
Carmen 446, Cerro Placeres, Valparaíso.

Recepción: 20 de junio de 2004 - Versión corregida aceptada: 19 de abril de 2006.

RESUMEN

El crucero oceanográfico CIMAR 7 Fiordos se realizó en dos etapas, la primera entre el 7 y el 21 de julio 2001 (46 estaciones) y la segunda entre el 11 y 27 de noviembre 2001 (47 estaciones), abarcando desde la boca del Guafo (43° 30' S) hasta el fiordo Aysén (45° 30' S). En cada una de las etapas se registró la temperatura y salinidad. Además, se tomaron muestras de agua para el análisis de oxígeno disuelto y nutrientes (fosfato, nitrato y silicato). Las estaciones oceanográficas utilizadas para este estudio se distribuyeron a lo largo de la boca del Guafo, canal Moraleda y fiordo Aysén. Con esta información se prepararon secciones verticales para cada una de las características antes mencionadas, realizándose un análisis de la variabilidad estacional e interanual al comparar con otros cruceros realizados en la zona.

La distribución vertical confirma la existencia de una estructura vertical de dos capas para la mayoría de las variables oceanográficas analizadas. La capa superficial se caracterizó por presentar mayor variabilidad mientras que la capa profunda, fue más homogénea. La capa superficial presentó aguas más cálidas, oxigenadas, menos salinas y con un menor contenido de nutrientes, que las aguas de la capa profunda. Escapa a este patrón general la cabeza del fiordo Aysén, donde la temperatura de la capa superficial en invierno fue menor que en la capa profunda, mientras que el silicato de la capa superficial en ambas estaciones, fue más alto que en la capa profunda. No se detectaron zonas anóxicas durante el crucero.

La salinidad y oxígeno disuelto no presentaron diferencias estacionales notables entre ambas etapas del crucero. La temperatura fue más alta en primavera que en invierno, presentándose una termoclina estacional débil. Los nutrientes presentaron una estructura de dos capas en primavera, mientras que en invierno la estructura vertical fue más homogénea.

El análisis de la distribución vertical de variables físicas y químicas del agua en las estaciones oceanográficas, y diagramas T-S, permitieron determinar la presencia de dos masas de agua en los 200 m superiores en la zona oceánica. Estas correspondieron al Agua Superficial Subantártica (ASAA) y a remanentes del Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). En la zona de los canales y fiordos existe una mezcla del ASAA con Agua Dulce (AD) proveniente de los ríos, lluvia y deshielo, lo que generó dos cuerpos de agua, Agua Subantártica Modificada (ASAAM) y Agua Estuarina (AE). En la medida que las aguas oceánicas se introducen por la boca del Guafo hacia los canales y fiordos interiores se produce una mezcla con AD, disminuyendo paulatinamente la salinidad y generándose progresivamente cantidades variables de ASAAM

* Proyecto CONA-C7F 01-17.

y de AE. Dependiendo de la proporción de agua dulce/agua mar el AE se subdividió en: Agua Estuarina Salada (AE-Salada; 21 a 31 psu), Agua Estuarina Salobre (AE-Salobre; 11 a 21 psu) y Agua Estuarina Dulce (AE-Dulce; >2 a 11 psu). Como AD, se consideró aquellas con contenido salino de 0 a \leq 2 psu.

Palabras claves: Temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes, estuarios, canales, fiordos, masas de agua, Chile.

ABSTRACT

The CIMAR 7 Fiordos oceanographic cruise covered the area from Boca del Guafo (43° 30' S) to Aysén Fjord (45° 30' S) and consisted of two legs: the first between 7 and 21 July 2001 (46 stations) and the second between 11 and 27 November 2001 (47 stations). Temperature and salinity were taken during each leg, as were water samples for dissolved oxygen and nutrient analyses (phosphate, nitrate, and silicate). The oceanographic stations used for this research were distributed along the Boca del Guafo, Moraleda Channel, and Aysén Fjord. Vertical sections were prepared for each of the characteristics mentioned above, and seasonal and interannual variability were analyzed through comparisons with other cruises carried out in the area.

The vertical distribution confirms the existence of a vertical structure of two layers for most of the oceanographic variables analyzed. The surface layer was characterized by greater variability whereas the deeper layer was more homogeneous. The surface layer consisted of warmer, oxygenated, less saline waters and lower in nutrient, than those of the deep layer. The only exception to this pattern was found at the head of Aysén Fjord; the wintertime temperature of the surface layer was less than that of the deep layer and, in both seasons, silicate in the surface layer was greater than in the deep layer. No anoxic zones were detected during the cruise.

No seasonal differences were noticeable for salinity and dissolved oxygen between the two legs of the cruise. Temperatures were higher in spring than in winter and a weak seasonal thermocline was observed. Nutrients were distributed in two layers in spring, but in winter the vertical structure was more homogenous.

The analysis of the vertical distribution of physical and chemical variables in the water at the oceanographic stations and T-S diagrams allowed the determination of the presence of two water masses in the upper 200 m of the oceanic zone. These were the Subantarctic Surface Waters (SAAW) and remnants of the Equatorial Subsurface Waters (AESS). In the channel and fjord area, the SAAW are mixed with freshwater (AD) from rivers, rain, and ice melting, which generates two bodies of water: Modified Subantarctic Waters (ASAAM) and Estuarine Waters (AE). As the oceanic waters enter through Boca del Guafo and move towards the interior channels and fjords, they are mixed with AD, gradually decreasing salinity and progressively generating variable amounts of ASAAM and AE. Depending on the proportion of fresh water/sea water, the AE is subdivided into: Salty Estuarine Waters (AE-Salada; 21 to 31 psu), Brackish Estuarine Waters (AE-Salobre; 11 to 21 psu), and Fresh Estuarine Waters (AE-dulce; >2 to 11 psu). Waters with salinities from 0 to \leq 2 psu are considered to be AD.

Key words: Temperature, salinity, dissolved oxygen, nutrients, estuaries, channels, fjords, water masses, Chile.

INTRODUCCIÓN

El sistema de fiordos y canales australes de Chile es una zona relativamente protegida, con importantes aportes de fosfatos y nitratos desde la zona oceánica y silicatos desde los ríos y una circulación de tipo estuarina, debido a los aportes de agua dulce producto de la alta pluviosidad, ríos y deshielos de glaciares. Esta zona junto con las costas de Alaska, Columbia Británica, Islandia, Groenlandia, Noruega y Nueva Zelandia, conforman las mayores zonas estuarinas del mundo (Cameron & Pritchard, 1963).

Los estuarios, en general, son zonas altamente productivas, conteniendo más organismos vivos que en cualquier otra parte de los océanos (Wolff, 1980). Por otra parte, al ser zonas protegidas de las inclemencias del tiempo atmosférico y tener un fácil acceso a la navegación, algunos de ellos han sido utilizados por el hombre para su desarrollo. Esto ha provocado que estas zonas estén siendo intervenidas por diferentes actividades antropogénicas que se efectúan en ellas o en sus alrededores, ya sea por explotación de sus recursos naturales (acuicultura, pesquería y silvicultura entre otros), por el turismo,

o por el crecimiento de centros urbanos e industriales. Estas actividades pueden producir en el tiempo alteraciones de las condiciones naturales del sistema, ya sea en forma general o local, causando daños al ecosistema estuarino. Este desarrollo es todavía incipiente en la zona de fiordos y canales chilenos, por lo que es importante realizar investigación oceanográfica, con el fin de establecer las líneas bases ambientales en las condiciones lo más prístinas posible, de modo de estar en condiciones de cuantificar los cambios que puedan ocurrir en el futuro y en lo posible, poder predecirlos mediante modelos.

En la actualidad, la zona de fiordos y canales chilenos está siendo intervenida fuertemente por actividades forestales, turísticas y acuicultura, lo que afectan directamente esta zona estuarina, aunque no necesariamente en forma negativa. Sin embargo, estas actividades provocan el ingreso de una gran cantidad de materia orgánica particulada y disuelta al sistema, alterando las condiciones naturales del estuario, lo cual podría llegar a causar grandes daños en el sistema natural.

La investigación oceanográfica en el área comprendida entre el golfo Corcovado y laguna San Rafael, en cuanto a temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes de la columna de agua, se remite básicamente a los trabajos de Brattström & Dahl (1951), Pickard (1971; 1973), Pickard & Stanton (1980), Vargas (1983), Sievers & Prado (1994), Silva *et al.* (1995; 1997; 1998) y Guzmán & Silva (2002), entre otros.

Una de las características hidrográficas relevante de la zona de estudio es la presencia de una constricción de baja profundidad (50 - 60 m), frente a la isla Meninea (45° 16' S y 73° 38' W), la que se ubica en el extremo sur del canal Moraleda. Este estrechamiento, que Silva *et al.* (1995) denominaron "constricción de Meninea", separa al canal Moraleda de los canales Aysén, Quitralco, Cupquelán, Costa y Elefantes formando dos microcuencas, una al norte y otra al sur de ella. La microcuenca norte está conectada al mar por la boca del Guafo y tiene una profundidad media del orden de 250 m. La microcuenca sur, con una profundidad media del orden de 150 m, está semi aislada de la influencia del océano, debido al efecto de "represa" que ejerce la constricción de Meninea. Ella puede ser considerada como compuesta por dos "brazos" uno hacia el sur que incluye el canal Costa, estero y golfo Elefantes y otro hacia el este, que incluye el fiordo Aysén. Esta constricción juega un papel fundamental en la circulación, tiempo de residencia y características físicas y químicas de estas microcuencas (Silva *et al.*, 2000).

La variabilidad temporal de las características oceanográficas físicas y químicas de la zona, no ha sido posible estudiarla con la intensidad de muestreo necesario y su conocimiento se basa en los resultados de muestreos oceanográficos semestrales. El presente trabajo tiene como objetivo establecer una comparación temporal de las condiciones oceanográficas en la zona boca del Guafo hasta el fiordo Aysén, utilizando para ello los resultados obtenidos durante el crucero CIMAR 7 Fiordos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio se encuentra ubicada entre la boca del Guafo (43° 30' S) al sur de la isla de Chiloé y el fiordo Aysén (45° 30' S) (Fig. 1). El muestreo fue realizado en dos etapas, la primera entre el 7 y el 21 de julio de 2001 (46 estaciones) y la segunda entre el 11 y el 27 de noviembre de 2001 (47 estaciones). El muestreo de las estaciones oceanográficas fue realizado con el AGOR 60 "Vidal Gormaz" de la Armada de Chile, como parte del proyecto multidisciplinario CIMAR 7 Fiordos.

La temperatura y salinidad fue registrada con un CTD Seabird modelo 19, adosado a un sistema de roseta con 24 botellas Niskin para la toma de muestras de agua a profundidades estándar. Las muestras para oxígeno disuelto fueron analizadas a bordo de acuerdo al método de Winkler modificado por Carpenter (1965). Los valores de saturación de oxígeno disuelto se calcularon en base al algoritmo de Weiss (1970).

Las muestras para los análisis de nutrientes fueron tomadas en botellas asépticas de polietileno de alta densidad (50 ml), fijadas con gotas de cloruro mercuríco diluido y se congelaron a -25 °C. Los análisis de nutrientes se realizaron posteriormente en la Escuela de Ciencias del Mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso mediante un autoanizador de nutrientes, de acuerdo a las técnicas de Atlas *et al.* (1971).

Para el análisis de la información se seleccionaron las estaciones que componen una sección desde la boca del Guafo hasta la cabeza del fiordo Aysén. Para ésta se prepararon secciones verticales de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, sigma-t, fosfato, nitrato y silicato.

La determinación de las masas y cuerpos de agua se realizó mediante el uso de diagramas T-S. El término de masas de agua se consideró para grandes volúmenes de éstas, típico de zonas

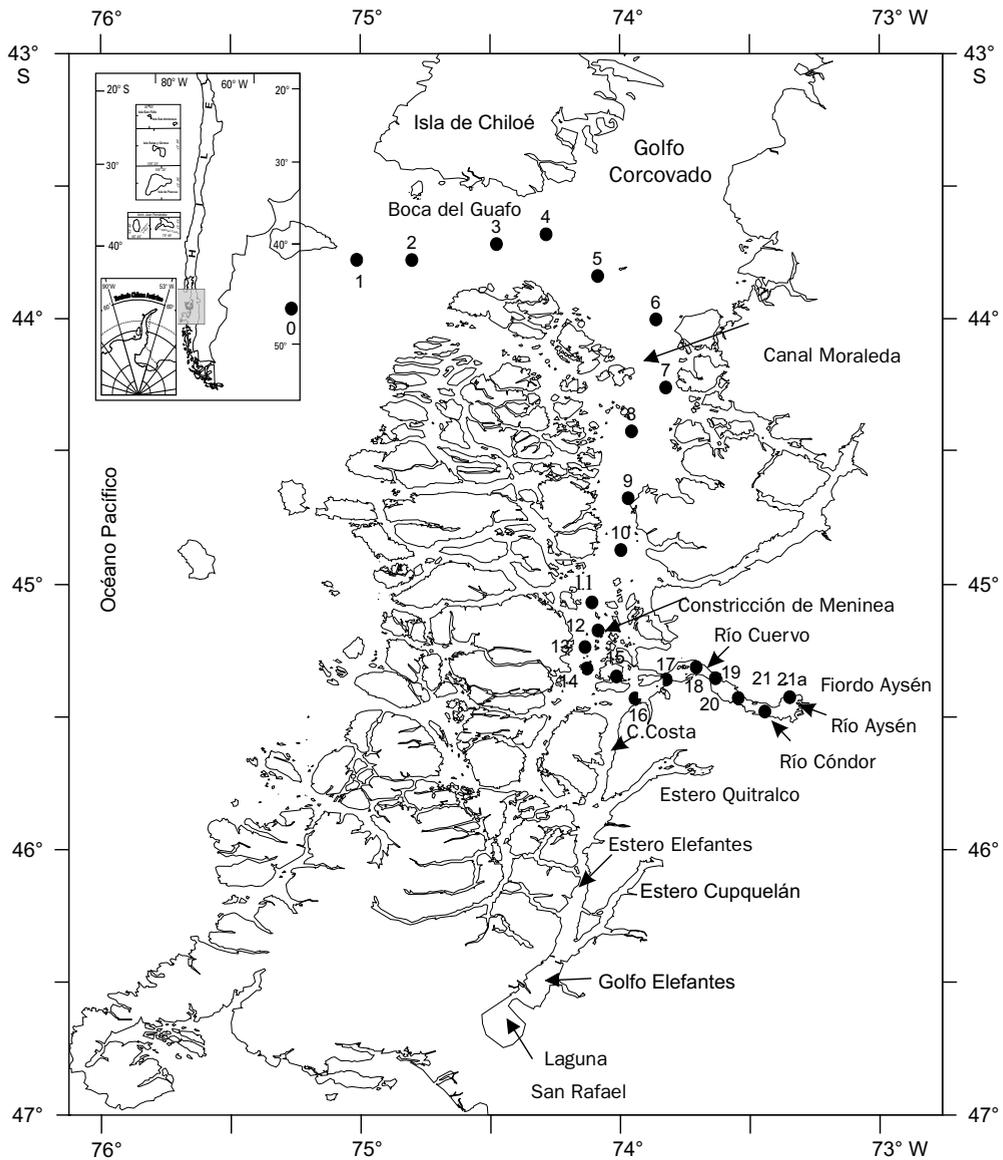


Fig. 1: Distribución de las estaciones oceanográficas realizadas durante el crucero CIMAR 7 Fjords. Etapas 1 y 2.
 Fig. 1: Distribution of oceanographic stations in CIMAR 7 Fjords cruise. Legs 1 and 2.

oceánicas y el término de cuerpo de agua para volúmenes más pequeños, de características más locales, como los que se presentan en la zona de fiordos y canales.

RESULTADOS

Temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes

Crucero de invierno

En invierno la distribución superficial de temperatura fluctuó entre 4,7 y 10,1 °C. Los mayores

valores se ubicaron en la boca del Guafo y los menores en la cabeza del fiordo Aysén (Fig. 2a).

Bajo la superficie, en la boca del Guafo la temperatura de la columna de agua fue relativamente homogénea, con un leve máximo (>10,5 °C), centrado a 50 m y sin presencia de termoclina (Fig. 2a). Desde el canal Moraleda y hasta la constricción de Meninea (Ests. 8 a 12), el agua subsuperficial fue relativamente homogénea pero más fría, con un máximo térmico (>9,5 °C), centrado a 100 m. Al sur de la constricción de Meninea (Ests. 15 a 21), la temperatura de la capa superficial (<10 m) fue menor que la subsuperficial, dando origen a una

termoclina estacional invertida con un gradiente térmico que alcanzó a un máximo de $-0,09\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ en la cabeza del fiordo. Al sur de la constricción las isotermas mayores de $9,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ mostraron un hundimiento y el fiordo presentó temperaturas entre $9,5$ y $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ bajo los 100 m . En la cabeza la temperatura presentó un leve mínimo térmico ($<9,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) centrado entorno a los 100 m . En el sentido horizontal y a 100 m de profundidad, se observó un leve gradiente del orden de $0,02\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}\cdot\text{n.}^{-1}$ (m.n. = milla náutica), donde la mayor temperatura se encontró en la cabeza y la menor en la boca (Fig. 2a).

La distribución superficial de salinidad fluctuó entre $2,0$ y $33,0\text{ psu}$, con los menores valores en la cabeza del fiordo Aysén y los mayores en la boca del Guafo (Fig. 2b). En el canal Moraleda, se observó la presencia de un leve frente salino superficial $0,03\text{ psu}\cdot\text{m}\cdot\text{n.}^{-1}$, entre las estaciones 8 y 12 , mientras que en el fiordo se presentó otro más marcado de $0,2\text{ psu}\cdot\text{m}\cdot\text{n.}^{-1}$, entre las estaciones 15 y 16 .

Bajo la superficie de la boca del Guafo se presentó una columna cuasihomogénea hasta los 125 m . En el canal Moraleda, la salinidad aumentó rápidamente alcanzando valores de 33 psu alrededor de 100 m (Fig. 2b), lo cual dio origen a una haloclina de $0,05\text{ psu}\cdot\text{m}^{-1}$ al norte de Meninea. Bajo la haloclina, la salinidad continuó aumentando más lentamente, superando $34,0\text{ psu}$ bajo los 200 m .

En el fiordo Aysén, se presentó una haloclina fuerte más superficial de alrededor de 25 m de espesor, con un gradiente máximo de $2,5\text{ psu}\cdot\text{m}^{-1}$ 0 m en la cabeza. Bajo esta haloclina, la salinidad aumentó más lentamente, hasta valores mayores de $31,0\text{ psu}$ (Fig. 2b).

El oxígeno disuelto superficial presentó concentraciones entre $6,1$ y $9,0\text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ (87 y 105% de saturación respectivamente, con los menores valores en la boca del Guafo y los mayores en la cabeza del fiordo Aysén (Fig. 2c).

Bajo la superficie, en la boca del Guafo y canal Moraleda, el oxígeno disuelto disminuyó levemente manteniendo una capa bien oxigenada ($>5\text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$) hasta los 100 m (Fig. 2c). A mayores profundidades, la concentración de oxígeno disuelto disminuyó rápidamente hasta concentraciones menores de $4\text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ bajo los 125 m .

En la boca del fiordo Aysén, toda la columna de agua presentó alto contenido de oxígeno disuelto ($>4,5\text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$). En la cabeza, bajo la capa superficial, el oxígeno disuelto disminuyó rápidamente

hasta un mínimo ($<2,5\text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$), centrado a los 100 m de profundidad, para luego volver a aumentar levemente hacia el fondo. En la zona profunda del Aysén y centrado alrededor de 100 m , se presentó un gradiente horizontal de oxígeno disuelto ($\approx 0,07\text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{m}\cdot\text{n.}^{-1}$), con los mayores valores en la cabeza y los menores en la boca (Fig. 2c).

La distribución superficial de nutrientes (Figs. 3a a 3c), fluctuó entre $0,2$ y $1,9\text{ }\mu\text{M}$ para fosfato y $2,7$ y $20,9\text{ }\mu\text{M}$ para nitrato, con las menores concentraciones en la cabeza del fiordo Aysén y las mayores en el canal Moraleda. La distribución superficial de silicato presentó concentraciones que fluctuaron entre 12 y $180\text{ }\mu\text{M}$ con las menores en el golfo Corcovado (Ests. 2 y 3) y las mayores concentraciones hacia la cabeza (Ests. 18 a 21) (Fig. 5c).

Bajo la superficie, en la boca del Guafo el fosfato, nitrato y silicato presentaron una distribución vertical relativamente homogénea, de un espesor entre 10 y 25 m para luego formar un leve mínimo ($<1,6$ <16 y $<8\text{ }\mu\text{M}$ respectivamente) centrado a unos 50 m , el cual desaparece hacia el interior del canal Moraleda. Bajo esta profundidad, los nutrientes aumentaron lentamente hasta valores máximos ($>2,4$ >28 y $>20\text{ }\mu\text{M}$ respectivamente) en el Moraleda (Figs. 3a a 3c). Durante este crucero no se observaron nutriclinas en la boca del Guafo ni en el Moraleda.

En las estaciones al sur de la constricción de Meninea (Ests. 14 a 16), bajo los 10 m y hasta el fondo, el fosfato y nitrato presentaron una capa relativamente homogénea, entre $1,6$ y $2,0\text{ }\mu\text{M}$ de fosfato y 16 y $20\text{ }\mu\text{M}$ de nitrato (Figs. 3a y 3b). El silicato presentó concentraciones altas entre 40 y $60\text{ }\mu\text{M}$ en la capa superficial, para luego al igual que fosfato y nitrato, presentar una capa profunda relativamente homogénea entre 16 y $20\text{ }\mu\text{M}$ (Fig. 3c).

En el fiordo Aysén, el fosfato y nitrato disminuyeron rápidamente en los primeros 25 m (Figs. 3a y 3b), generándose nutriclinas con gradientes máximos de $0,17\text{ }\mu\text{M}\cdot\text{m}^{-1}$ en fosfato y de $1,9\text{ }\mu\text{M}\cdot\text{m}^{-1}$ en nitrato en la cabeza. Bajo la nutriclina, estos nutrientes continuaron aumentando hasta los 50 m para luego formar una capa cuasi homogénea hasta el fondo donde alcanzaron un máximo de $2,2\text{ }\mu\text{M}$ en fosfato y de $20\text{ }\mu\text{M}$ en nitrato.

El silicato en el fiordo Aysén, presentó una situación diferente a la de los otros dos nutrientes. En los primeros 10 m presentó las concentraciones más altas ($>60\text{ }\mu\text{M}$; Fig. 3c), lo que generó

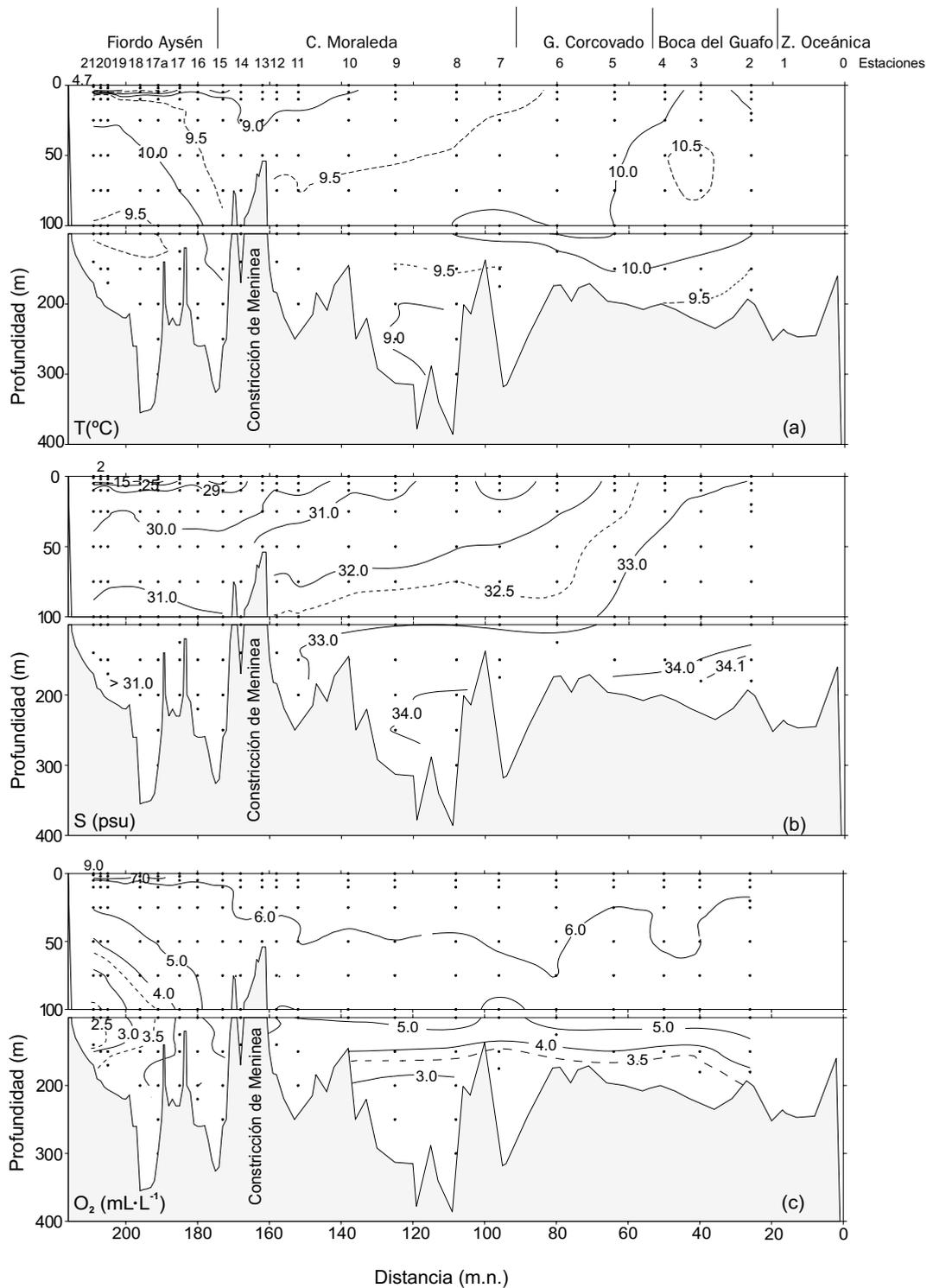


Fig. 2: Distribución vertical de (a) temperatura, (b) salinidad y (c) oxígeno disuelto en la sección zona oceánica - fiordo Aysén (CIMAR 7 Fiordos, etapa 1).

Fig. 2: Vertical distribution of (a) temperature, (b) salinity, and (c) dissolved oxygen in the oceanic zone - Aysén Fjord section (CIMAR 7 Fiordos, leg 1).

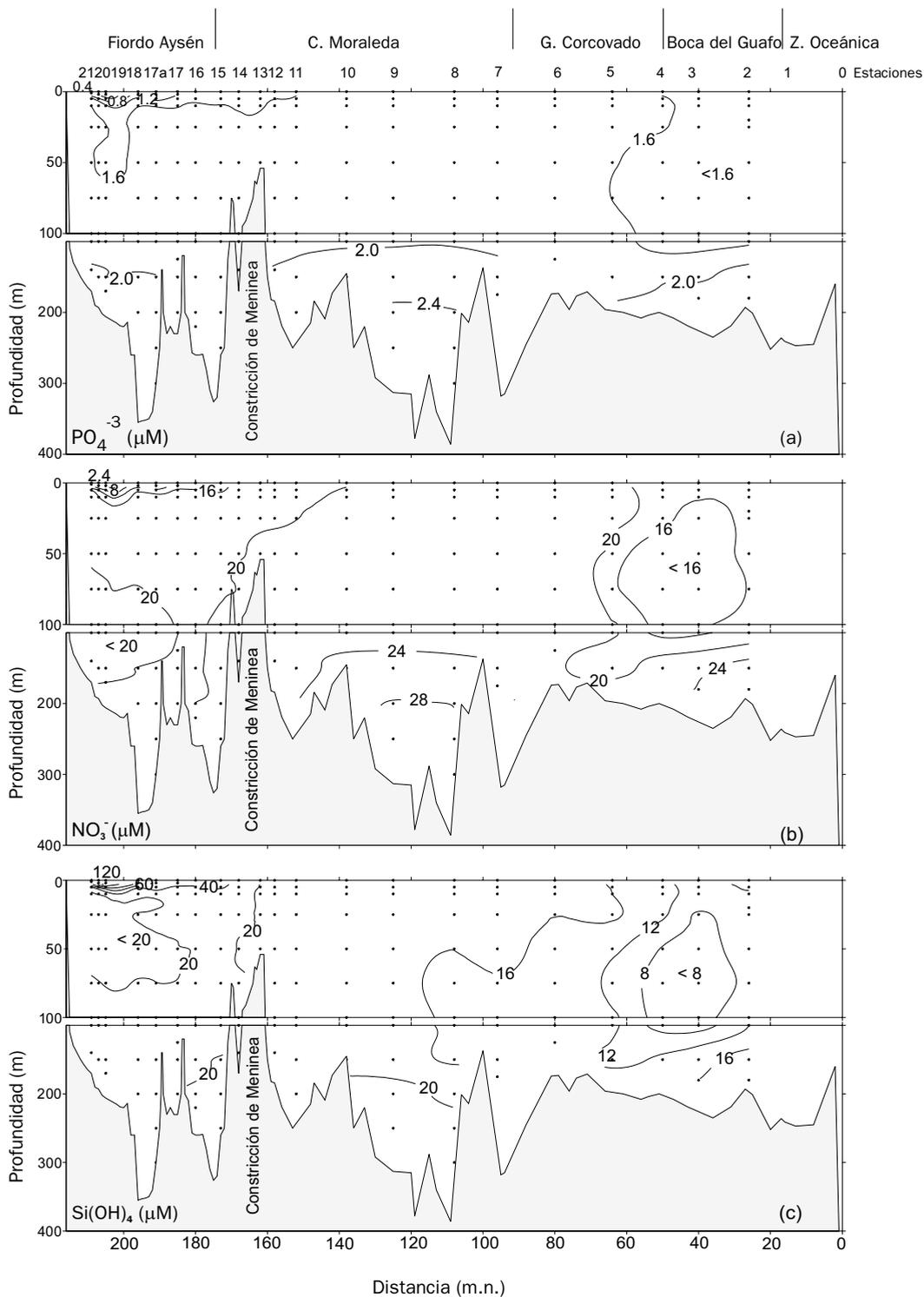


Fig. 3: Distribución vertical de (a) fosfato, (b) nitrato y (c) silicato, en la sección zona oceánica - fiordo Aysén (CIMAR 7 Fiordos, etapa 1).

Fig. 3: Vertical distribution of (a) phosphate, (b) nitrate, and (c) silicate, in the oceanic zone - Aysén Fjord section (CIMAR 7 Fiordos, leg 1).

Tabla I. Concentraciones de fosfato, nitrato y silicato en el agua de los ríos durante la primera etapa.

Table I. Phosphate, nitrate and silicate concentrations in river water during CIMAR 7 Fiordos cruise, leg 1.

Río	Fosfato (μM)	Nitrato (μM)	Silicato (μM)
Cuervo	0,17	0,2	167
Cóndor	0,08	1,3	27

una silicoclina invertida con un gradiente máximo de $11 \mu\text{M}\cdot\text{m}^{-1}$ en la cabeza. Esto generó un mínimo ($<20 \mu\text{M}$) centrado a 25 m, bajo el cual el silicato aumentó levemente ($>20 \mu\text{M}$) alrededor de 50 m y luego formar una capa cuasi homogénea hasta el fondo.

El aporte de agua dulce de los ríos Cuervo y Cóndor, afluentes del fiordo Aysén, fue bajo en fosfato y nitrato y altos en silicato (Tabla I).

Crucero de primavera

En primavera la distribución superficial de temperatura fluctuó entre $10,3$ y $11,9$ °C, con los menores valores en la boca del fiordo Aysén y los mayores en el canal Moraleda (Fig. 4a).

En los 10 m superiores, desde la boca del Guafo hasta la constricción de Meninea (Est. 13), se presentó una capa cuasi homotermal. Bajo esta capa, la temperatura disminuyó hasta alrededor de 10 °C a 75 m de profundidad, generándose una termoclina estacional leve de alrededor de $0,02$ °C·m⁻¹, para luego disminuir más lentamente hasta valores alrededor de 9 °C cerca del fondo. Al sur de Meninea (Ests. 14 y 15) se observó una columna prácticamente homotermal desde superficie a fondo (Fig. 4a).

En la capa superficial de la cabeza del fiordo Aysén, se presentó una termoclina estacional débil con un gradiente de $0,08$ °C·m⁻¹, para luego disminuir a valores menores de $9,5$ °C alrededor de los 75 m y luego aumentar sobre 10 °C (Fig. 5a). La zona profunda del fiordo (>100 m), fue casi homotermal en toda la microcuenca, con temperaturas de alrededor de 10 °C (Fig. 4a).

La salinidad superficial presentó valores entre $1,3$ y $32,8$ psu, con los menores valores en la cabeza del fiordo Aysén y los mayores en la boca del Guafo (Fig. 4b). En el canal Moraleda, se presentó un frente salino superficial ($\approx 0,15$ psu·m·n.⁻¹; Ests. 9 a 10), mientras que en el fiordo se presentó otro mucho más marcado ($\approx 1,3$ psu·m·n.⁻¹; Ests. 16 a 17).

Bajo la superficie de la boca del Guafo y canal Moraleda, la salinidad aumentó rápidamente a 33 psu alrededor de los 75 m (Fig. 4b), dando origen a

una haloclina de $0,013$ psu·m⁻¹ en la boca del Guafo y de $0,04$ psu·m⁻¹ al norte de Meninea. En los 100 m superiores de la zona sur del Moraleda (Ests. 10 a 15), la salinidad fue más estratificada. A mayores profundidades, la salinidad aumentó sobre $34,0$ psu bajo los 150 m en la zona norte de la sección (Fig. 4b).

En el fiordo Aysén, la salinidad bajo la superficie aumentó rápidamente dando origen a una fuerte haloclina en los 10 m superiores, con un gradiente máximo de $2,5$ psu·m⁻¹ en la cabeza. A mayor profundidad, la salinidad aumentó más lentamente alcanzando valores mayores de $31,0$ psu en el fondo (Fig. 4b).

La distribución superficial de oxígeno disuelto presentó concentraciones entre $5,9$ y $8,2$ mL·L⁻¹ (95 y 105% de saturación respectivamente), con el menor valor en el golfo Corcovado y el mayor en la cabeza del fiordo Aysén (Fig. 4c).

Bajo la superficie el oxígeno disuelto disminuyó lentamente, manteniéndose una capa bien oxigenada (>5 mL·L⁻¹) de alrededor de 75 m en la boca del Guafo y canal Moraleda (Fig. 4c). A mayor profundidad el oxígeno disuelto continuó disminuyendo hasta concentraciones menores de $3,5$ mL·L⁻¹ cerca del fondo.

En la cabeza del fiordo Aysén, bajo la superficie, el oxígeno disuelto disminuyó rápidamente en profundidad hasta un mínimo centrado a los 100 m de profundidad ($<2,5$ mL·L⁻¹). En la boca el oxígeno disuelto presentó una columna bien oxigenada (>4 mL·L⁻¹) de superficie a fondo (Fig. 4c).

Centrado alrededor de los 100 m de profundidad, en el fiordo se presentó una zona con un alto gradiente horizontal de oxígeno disuelto ($\approx 0,06$ mL·L⁻¹·m·n.⁻¹), entre la cabeza ($<2,5$ mL·L⁻¹) y la boca (>4 mL·L⁻¹). Bajo esta zona, el oxígeno disuelto fue más homogéneo y fluctuó alrededor de $4,5$ mL·L⁻¹ (Fig. 4c).

La distribución superficial de nutrientes presentó concentraciones de fosfato y nitrato que fluctuaron entre $0,2$ y $1,2$ μM y $0,1$ y $12,9$ μM respectivamente (Figs. 5a y 5b), ubicándose los

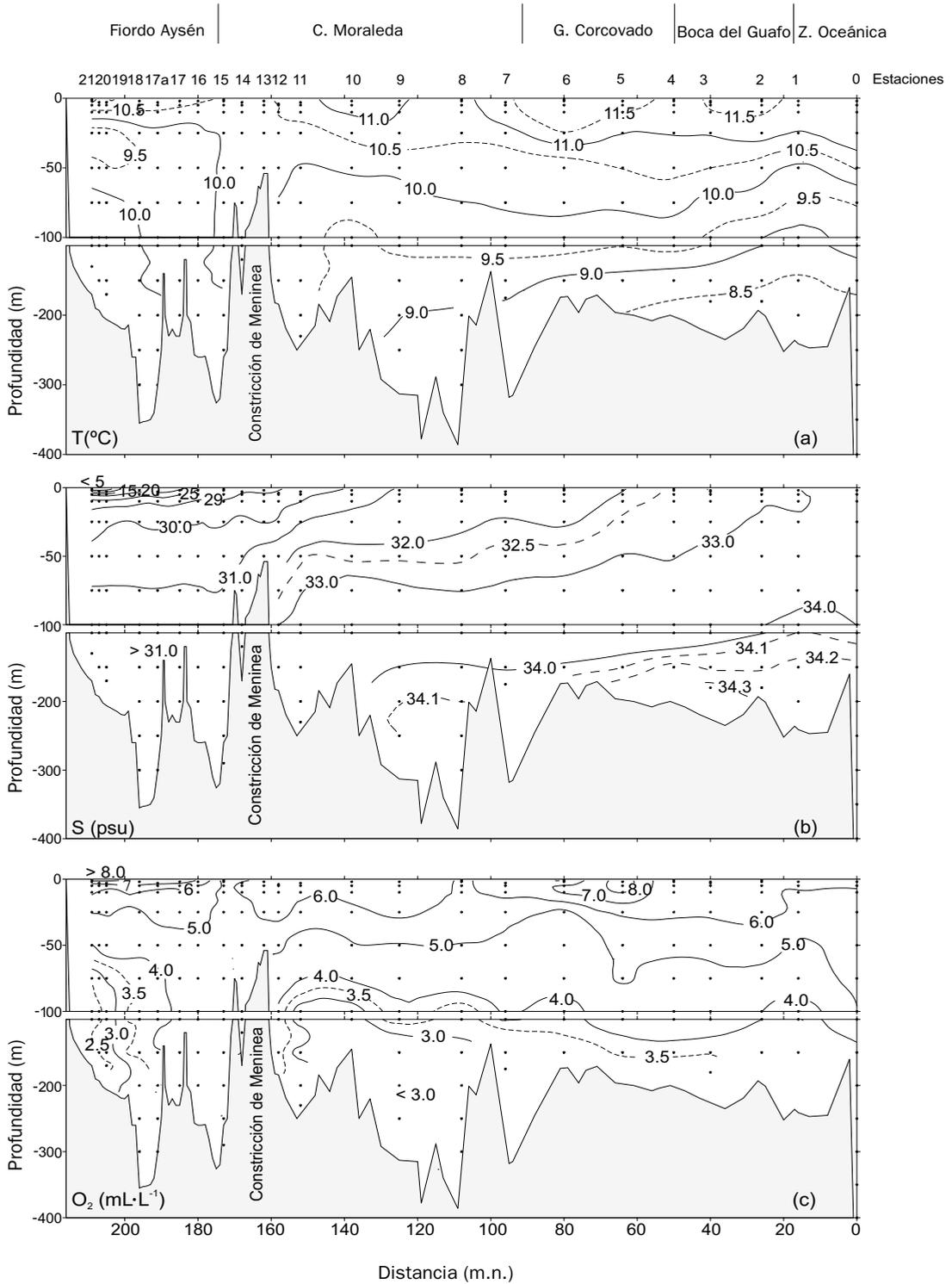


Fig. 4: Distribución vertical de (a) temperatura, (b) salinidad y (c) oxígeno disuelto en la sección zona oceánica - fiordo Aysén (CIMAR 7 Fiordos, etapa 2).

Fig. 4: Vertical distribution of (a) temperature, (b) salinity, and (c) dissolved oxygen in the oceanic zone - Aysén fjord section (CIMAR 7 Fiordos, leg 2).

menores valores en la cabeza del fiordo Aysén (Ests. 18 a 20) y los mayores en la parte sur del canal Moraleda (Est. 14). La distribución superficial de silicato presentó concentraciones que fluctuaron entre 2 y 82 μM con las menores en el golfo Corcovado (Ests. 5-6) y las mayores concentraciones hacia la cabeza (Ests. 18 a 20) (Fig. 5c).

Bajo la superficie, en la boca del Guafo y canal Moraleda, los nutrientes presentaron una capa entre 10 a 25 m con una distribución relativamente homogénea. Bajo ésta, las concentraciones aumentaron lentamente para alcanzar valores mayores de 2,0 μM en fosfato, 24 μM en nitrato y 16 μM en silicato alrededor de 150 m y luego mantenerse relativamente homogéneas hasta el fondo (Figs. 5a a 5c). Lo anterior originó una nutriclina con un gradiente máximo de $\approx 0,01 \mu\text{M}\cdot\text{m}^{-1}$ para fosfato y de $\approx 0,2 \mu\text{M}\cdot\text{m}^{-1}$ para nitrato. El silicato no presentó nutriclina.

En el fiordo Aysén, el fosfato y nitrato disminuyeron rápidamente en los primeros 25 m (Figs. 5a y 5b), generándose nutriclinas en la cabeza con gradientes máximos de $0,04 \mu\text{M}\cdot\text{m}^{-1}$ en fosfato y de $0,4 \mu\text{M}\cdot\text{m}^{-1}$ en nitrato. Bajo la nutriclina, estos nutrientes continuaron aumentando hasta los 50 m para luego formar una capa casi homogénea hasta el fondo donde alcanzaron valores mayores de 2,0 μM en fosfato y de 20 μM en nitrato.

El silicato en el fiordo Aysén, presentó una situación diferente a la de los otros dos nutrientes. En los primeros 10 m presentó las concentraciones más altas ($>60 \mu\text{M}$; Fig. 5c), lo que generó una silicoclina invertida con un gradiente máximo de $10 \mu\text{M}\cdot\text{m}^{-1}$ en la cabeza. Esto generó un mínimo ($<16 \mu\text{M}$) centrado a 25 m, bajo el cual el silicato aumentó a 20 μM alrededor de 50 m para luego formar una capa casi homogénea hasta el fondo.

El aporte de agua dulce de los ríos Cuervo, Cóndor y Aysén, afluentes del fiordo Aysén, fue bajo en fosfato y nitrato y altos en silicato (Tabla II).

Masas y cuerpos de agua

El análisis del diagrama T-S de la estación oceánica de la sección (Est. 0), permitió identificar, en los primeros 500 m, al Agua Superficial Subantártica (ASAA), remanentes del Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) y el Agua Intermedia Antártica (AIAA) (Fig. 6). Con los diagramas T-S, las distribuciones de salinidad de las estaciones interiores de la sección (Ests. 3 a 21a) y las definiciones propuestas por Guzmán y Silva (2002), se identificaron los cuerpos de Agua Subantártica Modificada (ASAAM; 31 a 33 psu), Agua Estuarina Salada (AE-Salada; 21 a 31 psu), Agua Estuarina Salobre (AE-Salobre; 11 a 21 psu), Agua Estuarina Dulce (AE-Dulce; >2 a 11 psu) y Agua Dulce (AD; 0 a ≤ 2 psu) (Figs. 7a y 7b).

Durante el crucero de invierno, el ASAA se presentó como una capa de unos 110 m de espesor en la boca del Guafo, la que se adelgazó y profundizó hacia el interior del canal Moraleda (Fig. 7a). El ASAAM se presentó como una capa superficial delgada, de unos 15 m de espesor en la parte interior de la boca del Guafo, para luego aumentar en espesor hacia la zona central del Moraleda. En la zona sur del Moraleda, este cuerpo de agua dejó de presentarse en superficie. En la zona de la constricción de Meninea el ASAAM sobrepasó el umbral, e ingresó al interior de la microcuenca del fiordo Aysén, donde abarcó desde los 80 m de hasta el fondo. En el interior del fiordo Aysén el AD sólo fue observada en un par de estaciones de la cabeza como una capa de 2 m espesor, mientras que el AE-Dulce también se presentó hacia la cabeza como una delgada capa superficial de 5 a 8 m de espesor abarcando una extensión de unas 13 m.n. Bajo el AE-Dulce se presentó AE-Salobre con un espesor de alrededor de 10 m con una extensión de casi dos tercios del fiordo. El AE-Salada cubrió todo el resto del fiordo hasta los 100 m. El AESS se presentó desde la boca del Guafo, donde se ubicó bajo los 100 m, hasta la zona profunda de la microcuenca del Moraleda, donde se ubicó bajo los 150 m.

Tabla II. Concentraciones de fosfato, nitrato y silicato en el agua de los ríos durante la segunda etapa.
Table II. Phosphate, nitrate and silicate concentrations in river water during CIMAR 7 Fiordos cruise, leg 2.

Río	Fosfato (μM)	Nitrato (μM)	Silicato (μM)
Cuervo	0,15	N.D.	57
Cóndor	0,03	0,6	11
Aysén	0,08	0,3	29

N.D. no detectado

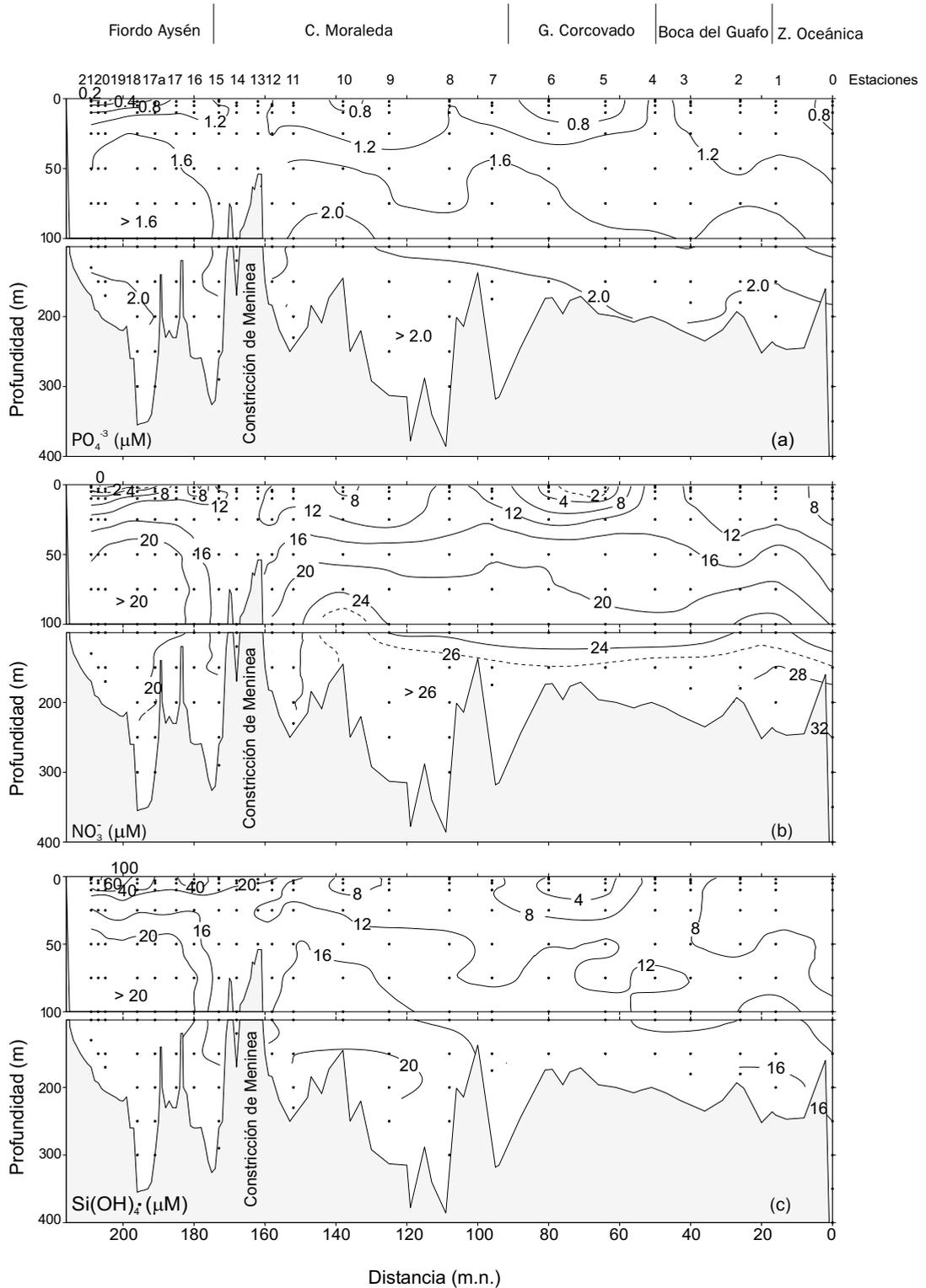


Fig. 5: Distribución vertical de (a) fosfato, (b) nitrato y (c) silicato, en la sección zona oceánica - fiordo Aysén (CIMAR 7 Fiordos, etapa 2).

Fig. 5: Vertical distribution of (a) phosphate, (b) nitrate, and (c) silicate, in the oceanic zone - Aysén fjord section (CIMAR 7 Fiordos, leg 2).

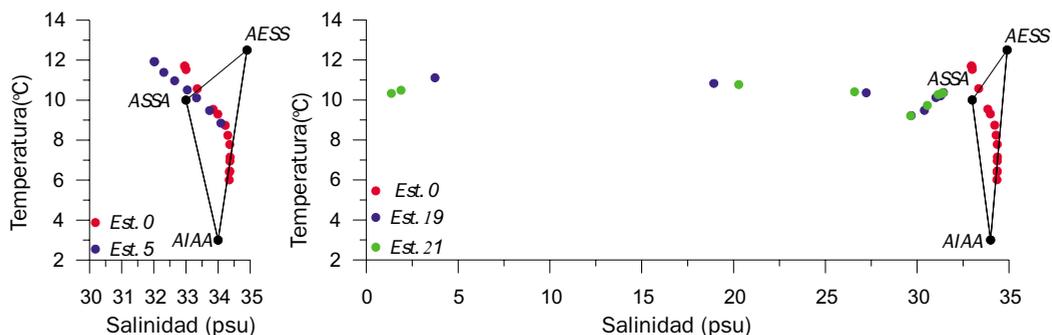


Fig. 6: Diagramas T-S para estaciones en la boca del Guafo (Est. 0) y en el fiordo Aysén (Ests. 19 y 21) del crucero CIMAR 7 Fiordos, etapa 2.

Fig. 6: T-S diagram for stations in Boca del Guafo (Sta. 0) and Aysén Fjord (Sta. 19 and 21), CIMAR 7 Fiordos, leg 2.

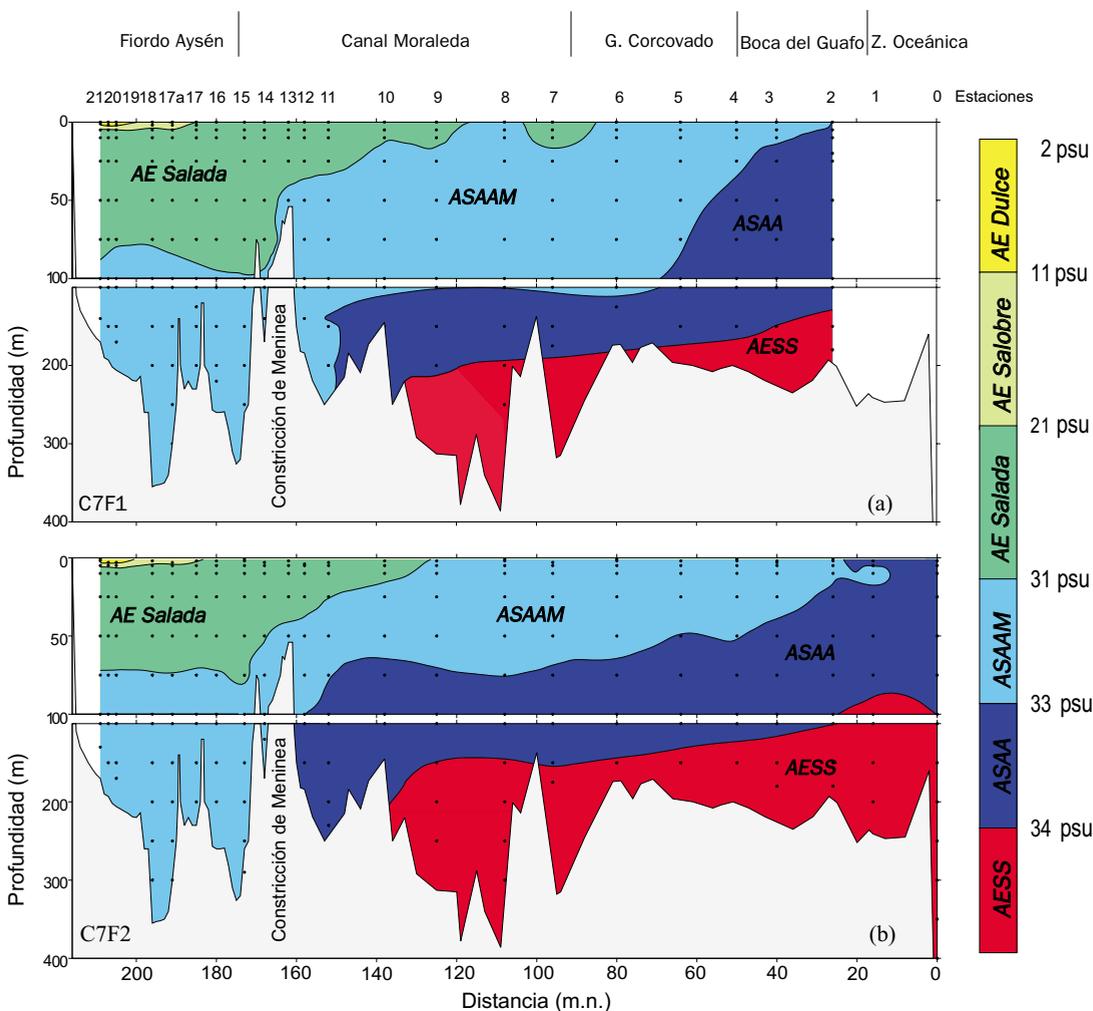


Fig. 7: Masas y cuerpos de agua presentes en el crucero CIMAR 7 Fiordos, separadas en base a los valores salinidad. (a) Etapa 1 y (b) Etapa 2. ASAA = Agua Subantártica; AEES = Agua Ecuatorial Subsuperficial y AIAA = Agua Intermedia Antártica. AE = Agua estuarina.

Fig. 7: Water masses and water bodies from the CIMAR 7 Fiordos cruise, separated by salinity. (a) leg 1 and (b) leg 2. ASAA = Subantarctic Water; ASAA = Modified Subantarctic Water; AEES = Equatorial Subsurface Water, and AE = Estuarine Water.

Durante el crucero de primavera, el ASAA se presentó en la boca del Guafo, como una capa de 100 m de espesor, la que se fue profundizando hacia el Moraleda para ubicarse bajo la superficie, como una capa de unos 50 m de espesor en la zona central de este canal (Fig. 7b). El ASAAM se presentó como una capa superficial delgada, de unos 25 m de espesor en la boca del Guafo, para luego aumentar en espesor hasta 75 m hacia la zona central del Moraleda y dejándose de presentar en superficie. En la zona de la constricción de Meninea el ASAAM sobrepasó el umbral e ingresó al interior de la microcuenca del fiordo Aysén, donde abarcó desde los 75 m de profundidad hasta el fondo. En el interior del fiordo el AD fue observada sólo en un par de estaciones de la cabeza como una capa de 2 m de espesor. El AE-Dulce se presentó hacia la cabeza como una delgada capa superficial de 8 a 15 m de espesor y abarcó una extensión de unas 16 m.n. Bajo el AE-Dulce se presentó AE-Salobre con un espesor de alrededor de 10 m, abarcando una extensión de casi los dos tercios superiores del fiordo. El AE-Salada cubrió el resto del fiordo hasta los 75 m. El AESS se presentó desde la boca del Guafo, donde se ubicó bajo los 75 m, hasta la zona profunda de la microcuenca del Moraleda, donde se ubicó bajo los 125 m.

DISCUSIÓN

Temperatura

Debido a las variaciones anuales de la radiación solar, típica de zonas ubicadas en latitudes intermedias, la distribución vertical de temperatura no presentó un patrón similar en ambas etapas del crucero CIMAR 7 Fiordos. En invierno, se presentó una capa relativamente fría y homogénea hasta los 150 m en la boca del Guafo y canal Moraleda (Ests. 1 a 9), sin presencia de termoclina (Fig. 2a). En el crucero de primavera el calentamiento superficial típico del inicio de la estación estival, provocó el calentamiento de la capa superficial, generándose una termoclina estacional débil entre los 25 y 100 m, y luego una capa más homogénea hacia el fondo (Fig. 4a).

En ambos cruceros bajo los 200 m, en el Moraleda las temperaturas tendieron a ser similares ($<9,0$ °C), lo que indica que esta capa profunda fue relativamente estable. Para comparar esta información con otros cruceros realizados en la misma zona, sólo se dispone de CIMAR 1 Fiordos (primavera 1995; Silva *et al.*, 1997) y

CIMAR 4 Fiordos, etapa 1 (primavera 1998; Guzmán & Silva, 2002), observándose que éstos presentaron temperaturas similares a las de CIMAR 7 Fiordos dentro de un rango de $\pm 0,5$ °C. Ello implicaría una relativa estabilidad térmica interanual de la zona profunda desde la boca del Guafo hasta la constricción de Meninea. Sin embargo, la información disponible aún es escasa para realizar una afirmación definitiva.

En la microcuenca al sur de la constricción de Meninea, la situación es diferente a la de la microcuenca norte, ya que en invierno el fiordo Aysén presentó una termoclina estacional invertida y en primavera una termoclina estacional normal débil (Figs. 2a y 4a). Lo anterior se ajusta al modelo conceptual de Silva *et al.* (1997), para el ciclo estacional de fluctuaciones térmicas verticales de la cabeza del fiordo. En este caso, las bajas temperaturas superficiales invernales y la termoclina invertida fueron el resultado del aporte de aguas del río Aysén más frías en esta época. La mayor temperatura primaveral y la incipiente termoclina estacional normal, se debió no sólo al calentamiento superficial propio de la cercanía de la estación estival, sino que también a la mayor temperatura del agua del río en esta época del año.

Al comparar las temperaturas de la zona profunda (>100 m) de la microcuenca del Aysén, éstas muestran una tendencia a la homogeneidad vertical, pero también una diferencia a lo largo de ella, además de la variabilidad estacional. En invierno se presentaron mayores temperaturas en la cabeza que en la boca del fiordo, mientras que en primavera las mayores temperaturas se presentaron en la boca (Figs. 2a y 4a). En términos generales, la microcuenca sur fue alrededor de $0,5$ °C más fría en invierno que en primavera (Figs. 2a y 4a).

Las diferencias térmicas pueden ser explicadas sobre la base del modelo conceptual de circulación vertical propuesto para la zona por Silva *et al.* (1995), en el cual aguas del nivel de 30-60 m pasan al sur de la constricción de Meninea hundiéndose, debido a su mayor densidad y llegando de esta manera a la microcuenca sur. Luego en invierno el agua a este nivel será más fría que en primavera produciendo las diferencias antes indicadas. Ello puede ser observado en el hundimiento, al sur de la constricción de Meninea, de aguas entre $9,0$ y $10,0$ °C en invierno y entre $10,0$ y $10,5$ °C en primavera (Figs. 2a y 4a). Lo anterior implicaría que las aguas de la microcuenca sur, al menos en la zona más cercana a la constricción de Meninea, se esta-

rían renovando en forma estacional. Esta misma situación fue observada por Guzmán & Silva (2002), al analizar los resultados de cruceros de primavera y verano de CIMAR 4 Fiordos para esta misma sección.

Una de las características importantes en la distribución de la temperatura en el fiordo Aysén es la tendencia a la estabilidad térmica que presenta la zona profunda de éste (>75 m). En general en los cuatro cruceros considerados anteriormente, sus valores oscilaron alrededor de 10,5 y 11,5 °C, lo cual implica también una importante estabilidad térmica de las aguas en la zona

Otra característica térmica notable, fue la diferencia de temperatura entre las microcuencas al norte y al sur de Meninea. Esta última presentó diferencias menores (10 a 11 °C), mientras que la microcuenca norte presentó diferencias mayores (8,5 a 10,0 °C) (Figs. 2a y 4a). Esta característica es un rasgo permanente del área ya que también fue observada en otros cuatro cruceros realizados en la zona: Hudson-Chile 70, verano 1970 (Silva *et al.*, 1995); CIMAR 1 Fiordos, primavera 1995 (Silva *et al.*, 1997); CIMAR 4 Fiordos, etapa 1, primavera 1998 y etapa 2, verano 1999 (Guzmán & Silva, 2002).

Salinidad

La salinidad de la capa superficial no presentó diferencias notables entre las dos etapas del CIMAR 7 Fiordos. Los valores superficiales en la cabeza del fiordo fueron similares (<2 psu) y la extensión hacia el océano de las bajas salinidades (*i.e.* <20 psu) alcanzaron hasta las islas Cinco Hermanos (Est. 17) en ambos cruces (Figs. 2b y 4b). Hacia el océano, salinidades superficiales de 32 psu fueron observadas hasta la estación 5. La información histórica de la Dirección General de Aguas sobre caudales del río Aysén para el mes de julio y octubre de 2001 indica medias mensuales de 552 y 585 m³·s⁻¹, por lo que ello podría explicar, en parte, la similitud observada, como también podría explicar la distribución de salinidad de CIMAR 1 Fiordos (primavera 1995; Silva *et al.*, 1997). Sin embargo, esto no siempre ocurre, tal es el caso de CIMAR 4 Fiordos, etapa 1 (primavera 1998) en que la isohalina de 20 psu llegó sólo hasta la estación 19 y la salinidad superficial en la cabeza del fiordo fue de 16 psu (Silva *et al.*, 1997).

Al norte de la constricción de Meninea y hasta la boca del Guafo, las bajas salinidades superficiales y las mayores profundas originaron

una haloclina subsuperficial de intensidad variable, entre los 25 y 50 m, la que en el fiordo Aysén, fue más intensa, permanente y superficial (entre 5 y 25 m). Esto dio origen a una estructura de dos capas a lo largo de toda la sección. Sin embargo, hay situaciones en que esta haloclina ha estado ausente, como en el caso de las estaciones oceánicas de este crucero (Figs. 2a y 4c) o de CIMAR 4 Fiordos, etapa 2, donde no se presentaron las bajas salinidades superficiales y la columna fue cuasi homohalina (Guzmán & Silva, 2002).

En la capa profunda, bajo los 100 m, la distribución de salinidad desde la boca del Guafo hasta la constricción de Meninea, parece relativamente estable en espacio y tiempo. En los seis cruceros realizados en la zona (Hudson-Chile 70, verano 1970; CIMAR 1 Fiordos, primavera 1995; CIMAR 4 Fiordos, etapa 1, primavera 1998; CIMAR 4 Fiordos, etapa 2, verano 1999; CIMAR 7 Fiordos, etapa 1, invierno 2001 y CIMAR 7 Fiordos, etapa 2, primavera 2001), independiente de la estación y del año, la salinidad bajo los 100 m fue, en general, superior a 33,0 psu, con máximos mayores de 34,0 psu bajo los 150 m en los primeros dos tercios de esta sección. Estas altas salinidades, provenientes de la zona oceánica, no logran pasar al sur de la constricción de Meninea por el efecto de represa que ésta ejerce.

En la microcuenca del fiordo Aysén la situación fue diferente respecto a la microcuenca al norte de Meninea, ya que en ambas etapas se presentó una intensa haloclina superficial de unos 10 a 25 m de espesor a lo largo de casi todo el fiordo (Figs. 2b y 4 b). Esta haloclina, que es generada principalmente por el importante caudal del río Aysén (promedio anual del orden de 600 m³·s⁻¹; Guzmán, 2004), es una característica permanente de esta zona. Sin embargo, su intensidad y extensión a lo largo del fiordo es muy variable, debido a las fluctuaciones del caudal del río, de la fase de la marea y de la circulación local, en el momento del muestreo en su cabeza. Los valores superficiales de salinidad en la cabeza del fiordo y la extensión del agua de salinidades menores de 21 psu (AE-salobre y AE-dulce), se indican en la Tabla III.

Desde los 75 m hasta el fondo, las salinidades de la microcuenca del fiordo Aysén fueron más homogéneas, que los de la microcuenca norte, con valores de alrededor de 31 a 32 psu. La salinidad en esta zona profunda es estable, ya que estos valores han sido observados en los once cruceros realizados en la zona: Hudson-Chile 70

Tabla III. Caudal promedio mensual del río Aysén ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) (Datos: Dirección General de Agua, Ministerio de Obras Públicas) y salinidad superficial en la cabeza del fiordo para cada uno de los cruceros realizados en la zona.
 Table III. Aysén river monthly mean flow ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), (data from Dirección General de Agua, Ministerio de Obras Públicas) and surface salinity in the fjord's head for every oceanographic cruise performed in the area.

Crucero	Muestreo mes/año	Caudal del río Aysén ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Salinidad en la estación cabeza (psu)	Extensión <21 psu (m.n.)
Hudson-Chile70	03/1970	251 ⁽¹⁾	4	12
Aysén I	09/1991	627 ⁽¹⁾	<2	25
Aysén II	01/1992	427 ⁽¹⁾	<2	25
Aysén III	05/1992	439 ⁽¹⁾	22	-----
Aysén IV	08/1992	922 ⁽¹⁾	3	20
Aysén V	12/1992	472 ⁽¹⁾	< 2	25
C1F	10/1995	602 ⁽²⁾	0,6	15
C4F-1	10/1998	441 ⁽²⁾	16	10
C4F-2	03/1999	251 ⁽²⁾	10	15
C7F-1	07/2001	252 ⁽³⁾	2	10
C7F-2	10/2001	585 ⁽²⁾	1,8	10

⁽¹⁾ media mensual del promedio histórico 1995-2000.

⁽²⁾ media mensual del año del crucero.

⁽³⁾ media mensual del año del crucero basado en 13 días de medición.

(Silva *et al.*, 1995); Aysén 1 y 2 (Sievers & Prado, 1994); Aysén 3, 4 y 5 (Sievers, com. pers.); CIMAR 1 Fiordos (Silva *et al.*, 1997); CIMAR 4 Fiordos, etapas 1 y 2 (Guzmán & Silva, 2002) y CIMAR 7 Fiordos, etapas 1 y 2.

Al comparar las zonas profundas de las microcuencas al sur y norte de la constricción de Meninea, se observó que la microcuenca del fiordo Aysén tiende a ser más homogénea y menos salina que la microcuenca norte (Figs. 2b y 4b). Al igual que en el caso de la temperatura, estas menores salinidades, pueden ser explicadas en base al modelo conceptual de circulación vertical propuesto por Silva *et al.* (1995), en el cual el agua del nivel de 30-60 m sobrepasa la constricción de Meninea hundiéndose en la microcuenca sur, llenándola de aguas con salinidades en un rango relativamente estrecho (31 a 32 psu). Por el contrario, la parte profunda de la microcuenca norte, se llena con agua más salina (33,5 a 34,1 psu) que ingresa desde la zona oceánica a través de la boca del Guafo. Esta característica es un rasgo permanente del área ya que también ha sido observada en los otros cuatro cruceros realizados en la zona (Silva *et al.*, 1995; 1997; Guzmán & Silva, 2002).

Oxígeno disuelto

La distribución vertical de oxígeno disuelto, en general, presentó las mayores concentraciones en la superficie y disminuyó con profundidad. Esto es el resultado del intercambio con la atmósfera y de la fotosíntesis que ocurre en las capas superficiales, aumentando el contenido de

oxígeno disuelto y de la degradación de la materia orgánica en la zona profunda la que consume oxígeno disuelto. Este tipo de distribución vertical fue observado en toda la zona de estudio (Figs. 2c y 4c).

Al comparar ambas etapas del crucero CIMAR 7 Fiordos no se observaron, en general, diferencias notables en el contenido de oxígeno disuelto entre ellas (Figs. 2c y 4c). La diferencia más destacable se presentó en la capa superficial de la cabeza del Aysén, donde en el crucero de invierno el oxígeno disuelto fue más alto que en el de primavera ($9 \text{ v/s } 8 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$). Esto se explicaría por una mayor solubilidad de oxígeno debido a las menores temperaturas invernales.

En la capa más profunda (>100 m) desde la zona de la boca del Guafo hasta la constricción de Meninea, tanto en invierno como en primavera, la concentración de oxígeno disuelto fue similar (Figs. 2c y 4c), lo que indicaría una cierta estabilidad en esta capa.

La presencia del mínimo de oxígeno disuelto (<3 $\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$) bajo los 150 m en el Moraleda fue nuevamente observada en CIMAR 7 Fiordos (Figs. 2c y 4c), por lo que ella corresponde a un rasgo característico del área habiendo sido observada en los otros cuatro cruceros realizados en la zona (Silva *et al.*, 1995; 1997; Guzmán & Silva, 2002). La presencia de estas bajas concentraciones se explica, en parte, por advección de aguas oceánicas poco oxigenadas y por procesos de descomposición *in situ* de materia orgánica

proveniente de la capa superficial, además de una circulación restringida debido a la conformación topográfica de la microcuenca.

En el fiordo Aysén la distribución horizontal del oxígeno disuelto en la capa subsuperficial (50 a 150 m), presentó concentraciones altas en la boca y bajas, en la cabeza (Figs. 2c y 4c), lo que generó un gradiente horizontal de $0,06 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{m}\cdot\text{n}^{-1}$. Este gradiente horizontal puede ser explicado en función de la circulación estuarina tipo cuña salina y de los procesos biogeoquímicos que aquí ocurren. De acuerdo al modelo conceptual propuesto por Silva *et al.* (1995), el agua de la zona profunda en la boca del Aysén, proviene desde el canal Moraleda la cual pasa por sobre la constricción de Meninea, hundiéndose hasta el fondo debido a su mayor densidad. Como esta agua es bien oxigenada ($5 \text{ a } 6 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$), ya que proviene del estrato 40 - 60 m, ventila toda la columna de agua de la boca del fiordo. En la medida que el agua bien oxigenada se desplaza hacia el interior del fiordo, su oxígeno disuelto va disminuyendo producto de la respiración, del material orgánico que cae desde la superficie y del aporte de materia orgánica que trae el río Aysén a la cabeza del fiordo, donde se alcanzaron las concentraciones de oxígeno disuelto más bajas ($<2,5 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$; Figs. 2c y 4c). A lo anterior hay que agregar el aporte de agua dulce del río lo cual produce una fuerte estratificación de densidad, que dificulta la difusión vertical del oxígeno disuelto desde la capa superficial hacia la capa profunda, actuando como un sello y disminuyendo la ventilación. Guzmán (2004), en un estudio del tiempo de residencia del agua del fiordo Aysén, calculó que las aguas de la capa profunda de la cabeza permanecen alrededor del triple del tiempo respecto a las de la boca ($7 \text{ días por km}^{-3} \text{ v/s } 2,2 \text{ días por km}^{-3}$), lo cual disminuye la ventilación de la cabeza, favoreciendo la presencia del mínimo de oxígeno disuelto en su zona profunda.

Nutrientes

En términos generales, la distribución vertical de fosfato y nitrato presentó una estructura de dos capas, una superficial de unos 5 a 20 m de espesor, con bajas concentraciones y una profunda, mayor de 50 m, con altos contenidos de nutrientes (Figs. 3a, 3b, 5a y 5b). Esta estructura corresponde a una estructura vertical "tipo nutrientes" y es típica del área, ya que ha sido observada en varios cruceros anteriores realizados en la zona (Silva *et al.*, 1997; Guzmán & Silva (2002). Sin embargo, existen excepciones las que se discutirán más adelante.

Las bajas concentraciones de fosfato y nitrato en la capa superficial se deben, en general, al consumo por parte del fitoplancton y en el caso de los estuarios de la zona austral de Chile, se añade el efecto de la dilución del agua de mar por aguas de ríos con bajo contenido de ellos (Tablas I y II). Esto último hace que las concentraciones en las estaciones del fiordo sean más bajas, que las de la zona oceánica (Figs. 3a, 3b, 5a y 5b).

El silicato presentó una distribución superficial con diferencias notables respecto a las de fosfato y nitrato. Hacia la cabeza del fiordo, donde se recibe el mayor aporte de agua de río, rica en silicato (Tablas I y II), se presentó una delgada capa superficial (2 a 10 m), de muy alto contenido de silicato ($40\text{-}100 \mu\text{M}$), la que se extendió alrededor de 40 m.n. hacia la boca. En el caso de las estaciones con mayor influencia oceánica ($S > 25 \text{ psu}$; Figs. 2b y 4b), la distribución superficial del silicato presentó una capa superficial con bajas concentraciones (Figs. 3c y 5c), producto del consumo por el fitoplancton al igual que el fosfato y nitrato.

En invierno, en la zona oceánica-boca del Guafo-canal Moraleda, el fosfato y nitrato presentaron una distribución vertical cuasi homogénea de altas concentraciones no presentando nutriclinas. El fiordo Aysén escapó a este patrón, al recibir aportes de ríos aledaños pobres en fosfato y nitrato, lo que generó una capa superficial de bajo contenido de fosfato y nitrato y nutriclinas centradas a unos 15 m (Figs. 3a, 3b). En el caso del crucero de primavera, la concentración de fosfato y nitrato en la capa superficial fue baja en todo el crucero para luego aumentar rápidamente con la profundidad, dando origen a nutriclinas centradas a unos 15 m en el fiordo Aysén y a unos 25 m en el canal Moraleda y boca del Guafo. Bajo las nutriclinas, la concentración continuó aumentando más lentamente hasta el fondo, formando una capa profunda cuasi homogénea de alta concentración (Figs. 5a y 5b).

Lo anterior provocó diferencias estacionales de alrededor de $0,4 \mu\text{M}$ para fosfato, $4 \mu\text{M}$ para nitrato y $8 \mu\text{M}$ para silicato, para la capa superficial del tramo océano a constricción de Meninea, siendo mayores los valores en invierno (Figs. 3a a 3c y 5a a 5c). Una explicación sobre la base de un mayor o menor aporte de agua dulce, pobre en fosfato y nitrato, no parece ser adecuada en este caso, ya que las salinidades en ambos cruceros fueron similares (Figs. 2b y 4b). Las mayores concentraciones del tramo zona oceánica a constricción de Meninea en el crucero invernal julio podrían ser el

resultado de un menor consumo por el fitoplancton. Sin embargo, el origen de la presencia de esta capa casi homogénea en toda la columna de agua no es claro sobre la base de la información disponible al momento, siendo la primera vez que ella ha sido observada en la zona.

En ambos cruceros, las altas concentraciones de silicato de la capa superficial del fiordo Aysén, disminuyeron rápidamente con la profundidad dando origen a una silicoclina invertida centrada a unos 5-10 m y un mínimo alrededor de 25 m, para luego aumentar lentamente hacia el fondo, dando origen a una capa profunda casi homogénea (Figs. 3c y 5c).

Al comparar las zonas profundas (>150 m) de las microcuencas al sur y norte de la constricción de Meninea, se observó que la microcuenca del fiordo Aysén presenta un gradiente horizontal en la concentración de nutrientes con las mayores concentraciones en la cabeza, mientras que la microcuenca norte el gradiente de nutrientes es vertical, con las mayores concentraciones en el fondo (Figs. 3a a 3c, 5a a 5c). Al igual que en el caso de las variables anteriores, las menores concentraciones de nutrientes de la microcuenca del fiordo Aysén, también pueden ser explicadas en base al modelo conceptual de circulación vertical propuesto por Silva *et al.* (1995), en el cual agua del nivel de 30-60 m sobrepasa la constricción de Meninea hundiéndose en la microcuenca sur. Debido a esto la zona de la boca del fiordo Aysén se llena con agua de concentraciones similares de nutrientes ($\approx 1,6$ a $1,8 \mu\text{M}$ en fosfato y ≈ 16 a $18 \mu\text{M}$ en nitrato y silicato). En la medida que el agua se desplaza hacia el interior del fiordo, los nutrientes disueltos van aumentando producto de la respiración o degradación *in situ* del material particulado que cae desde la capa superficial, alcanzándose las concentraciones de nutrientes más altas en la cabeza del fiordo (Figs. 3a a 3c y 5a a 5c). A lo anterior hay que agregar el aporte de material orgánico y de agua dulce del río Aysén en la cabeza del fiordo. El primero aumenta la cantidad de materia orgánica en el fondo a ser respirada elevando los niveles de nutrientes y disminuyendo el oxígeno disuelto y el segundo genera una fuerte estratificación de densidad que dificulta la difusión vertical de nutrientes hacia y desde la capa superficial.

En el caso de la parte profunda de la microcuenca norte, desde la boca del Guafo hasta el norte de la constricción de Meninea, ésta se llena con agua que ingresa directamente desde la zona oceánica, la cual es más rica en nutrientes (Figs. 3a a 3c y 5a a 5c). A ello debe agregarse la existencia de procesos de descomposición *in situ* de material

particulado proveniente de la capa superficial, lo cual aumenta localmente la concentración de nutrientes del agua marina entrante. Esta característica es un rasgo permanente del área ya que también han sido observado en los cruceros CIMAR 1 Fjordos, primavera 1995 (Silva *et al.*, 1997); CIMAR 4 Fjordos, etapa 1, primavera 1998 y etapa 2, verano 1999 (Guzmán & Silva, 2002).

Masas de agua

En la zona austral de Chile, frente a la isla de Chiloé y al archipiélago de los Chonos, se presentan tres masas de agua en los primeros 800 m, las que de acuerdo a Silva & Neshyba (1979-1980), corresponden al ASAA, remanentes del AESS y Agua Intermedia Antártica (AIAA). En el caso de la estación oceánica del crucero CIMAR 7 Fjordos, etapa 2 (Est. O), que alcanzó hasta 500 m, el análisis de los diagramas T-S permitió definir la presencia del ASAA en los primeros 150 m y remanentes del AESS entre los 150 y los 400 m y la parte superior del AIAA entre los 400 m y el fondo (Fig. 6a).

El ASAA se ubica en la capa superficial en la zona sur, extendiéndose hasta alrededor de los 150 m. De acuerdo a Rojas & Silva (1996), la capa superficial frente a Chiloé se caracteriza por temperaturas moderadas (9°C a 14°C), salinidades relativamente bajas ($33,0$ a $34,4$ psu) y alto contenido de oxígeno disuelto (6 a $7 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$) y de acuerdo a Silva *et al.* (1998), los nutrientes se caracterizan por valores de alrededor de $0,6$ a $1,2 \mu\text{M}$ en fosfato, de 1 a $11 \mu\text{M}$ en nitrato y de 0 a $12 \mu\text{M}$ en silicato. El AESS, que adquiere sus características frente al Perú, es transportada hacia el sur hasta la altura del golfo de Penas ($\approx 48^\circ\text{S}$) por la corriente Subsuperficial Chile-Perú (Silva & Neshyba, 1979). En la zona de origen, esta masa se caracteriza por un máximo de salinidad y de nutrientes y un mínimo de oxígeno disuelto (Silva & Konow, 1975). Frente a Chiloé el AESS aún puede ser identificada, entre los 150 y 200 m, por remanentes de su máximo en la salinidad ($\approx 34,1$ - $34,2$ psu) y su mínimo en el contenido de oxígeno disuelto (≈ 3 a $4 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$) y de su máximo de nutrientes ($\approx 2,1$ a $2,3 \mu\text{M}$ fosfato; ≈ 24 a $30 \mu\text{M}$ nitrato y ≈ 14 a $16 \mu\text{M}$ silicato) (Silva *et al.*, 1998),

De acuerdo a Silva *et al.* (1998), debido a lo desmembrado de la costa, de la dirección general sudeste de la Corriente Circumpolar Antártica que choca contra la costa y de los vientos predominantes del noroeste, parte del ASAA, ubicada en la capa superficial y de los remanentes del AESS, ubicados en la capa subsuperficial, penetran hacia los canales y mares interiores de la zona. En la

medida que el ASAA se introduce por los canales la capa superficial se va mezclando con cantidades variables de Agua Dulce (AD), provenientes de la abundante pluviosidad, aporte fluvial y derretimiento de glaciares de la zona, generándose un importante sistema estuarino. Debido a que el AIAA se encuentra muy profunda (>300 m) y a la baja profundidad del umbral costero en la boca del Guafo (150 - 180 m), esta masa de agua no puede ingresar al interior de la zona de canales.

La intrusión del ASAA y AESS hacia el interior de los fiordos y canales al norte del golfo de Penas (48° 46' S) fue analizada por Silva *et al.* (1995 y 1998), mediante el seguimiento comparativo de los "desplazamientos" de los T-S de cada estación interior de los canales, respecto a la posición del T-S de la estación oceánica, en el respectivo triángulo de mezcla. Esta técnica les permitió concluir que el ASAA, en la zona boca del Guafo a fiordo Aysén, se mezcla rápidamente con cantidades variables de AD, proveniente de los ríos interiores, lluvia y derretimiento de glaciares, generando una zona estuarina con salinidades variables entre 2 y 33 psu, dependiendo de su cercanía de las fuentes de agua participantes en la mezcla (ASAA y AD).

Debido a la gran variación de salinidad observada, Silva *et al.* (1998), propusieron subdividir esta mezcla resultante en varios cuerpos de agua, de acuerdo a sus características de salinidad. Para ello consideraron que las aguas de la capa superficial con salinidades mayores a 33,0 psu deberían ser consideradas como ASAA propiamente tal y aguas entre 33,0 y 32,0 psu como ASAAM. Sin embargo, en el presente trabajo y al igual que lo hicieron Guzmán & Silva (2002), se consideró más adecuado considerar como ASAAM aguas entre 33 y 31 psu, ya esto permite identificar de mejor forma las aguas subantárticas modificadas que logran pasar sobre la constricción de Meninea, llenando la zona profunda de las microcuencas al sur de ella.

Mediante el análisis de los límites salinos antes descritos, se pudo definir la distribución vertical de las masas y cuerpos agua presentes en la zona (Figs. 6, 7a y 7b).

La presencia de AD en ambos cruceros, fue registrada en el CIMAR 7 Fiordos como una capa delgada de 2 m de espesor, sólo en un par de estaciones de la cabeza del fiordo. Ella estuvo caracterizada por sus muy bajas salinidades (0,5 a 2,0 psu), fosfatos (<0,2 μM) y nitratos (<2 μM) y muy altos silicatos (>60 μM). El AD no siempre ha sido encontrada en la cabeza del fiordo y de

11 oportunidades en que ésta se ha muestreado, sólo en 6 ha sido detectada por sus salinidades iguales o inferiores a 2 psu (Tabla III). En otras dos oportunidades el agua de la cabeza prácticamente ha sido agua dulce, ya que en ellas la salinidad ha sido 3 a 4 psu.

Las bajas concentraciones de nutrientes registradas en los ríos Cuervo y Cóndor en el muestreo de primavera respecto al de invierno (Tablas I y II), se podrían explicar en función del caudal promedio de río Aysén (Tabla III), que se encuentra en la misma hoyía hidrográfica que el Cuervo y Cóndor (Fig. 1). El mayor caudal de octubre que en julio provocaría una descarga más rápida de las aguas dulces, produciéndose una dilución de los nutrientes disueltos transportados por los ríos. Esta hipótesis no pudo ser contrastada debido a que no se dispuso de los datos de caudales de los ríos Cuervo y Cóndor para esas fechas y asumiendo que los tres ríos tienen un comportamiento similar en las fluctuaciones sus caudales.

El AE-Dulce, AE-Salobre y AE-Salada se presentaron en ambas etapas del crucero, con diferencias en espesor y extensión (Figs. 7a y 7b). El AE-Dulce se presentó en la cabeza como una delgada capa superficial de 5 a 15 m de espesor, abarcando una extensión entre 12 y 16 m.n. El AE-Salobre se presentó bajo la anterior, como una capa de 10 m de espesor, con una extensión de 25 a 30 m.n. Estos cuerpos de agua no se pueden caracterizar en su contenido de nutrientes en forma individual, ya que en éstas se ubican las respectivas nutriclinas. En general los fosfatos y nitratos de estos tres cuerpos de agua fueron bajos (<0,8 μM y <8 μM , respectivamente) y los silicatos altos (>60 μM). El AE-Salada se presentó bajo las anteriores y cubrió toda la extensión del fiordo, hasta una profundidad de 75 m en el crucero de invierno y de 100 m en el crucero de primavera (Figs. 7a y 7b). Los rangos de variación en la concentración de nutrientes de este cuerpo de agua fueron muy amplios (1,2 μM en fosfato, 12 μM en nitrato y 18 μM en silicato), debido a que abarcó la capa superficial (concentraciones bajas) y la subsuperficial (concentraciones altas).

Sobre la base de las distribuciones de salinidad del los cruceros Hudson-Chile 70 (Silva *et al.*, 1995), Aysén 1 a 4 (Sievers & Prado, 1994) y CIMAR 1 y 4 Fiordos (Silva *et al.*, 1998; Guzmán & Silva, 2002), se puede indicar que estos cuerpos de agua estuarinos siempre se han encontrado presentes en el fiordo Aysén, con la excepción del crucero Aysén 3 en que no se presentó ni el AE-Dulce y ni el AE-Salobre.

El ASAAM se presentó en ambos cruceros como una capa superficial delgada en la zona más oceánica, para luego aumentar en espesor hacia la zona central del Moraleda y hundirse bajo el AE-Salada, continuando hacia el interior de los canales como una capa subsuperficial. En la zona de la constricción de Meninea el ASAAM sobrepasó el umbral ingresando a la microcuenca del fiordo Aysén, llenándola desde los 75 m de hasta el fondo (Figs. 7a y 7b). Sobre la base de las distribuciones de salinidad de los cruceros Hudson-Chile 70, Aysén 1 a 4 y CIMAR 1 y 4 Fiordos (Sievers & Prado, 1994; Silva *et al.*, 1995; 1998; Guzmán & Silva, 2002), se puede indicar que el ASAAM siempre se ha presentado en el fiordo Aysén bajo los 100 m. Este cuerpo de agua al sobrepasar hacia el sur la constricción de Meninea y hundirse por su mayor densidad, produce una ventilación de la microcuenca del Aysén, llenando con aguas bien oxigenadas (4 a $5 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$) la zona profunda de su boca. Hacia el interior el oxígeno disuelto disminuye producto de procesos de descomposición de materia orgánica, la que produce además un aumento de nutrientes. Esto se ve favorecido por el mayor tiempo de residencia del agua de la cabeza del fiordo Aysén, respecto a las de su boca (7 días por km^{-3} v/s 2,2 días por km^{-3} respectivamente; Guzmán, 2004), lo cual favorece la presencia del mínimo de oxígeno disuelto y el máximo de nutrientes en la zona profunda de su cabeza.

El ASAA, caracterizada en la zona por salinidades entre 33 y 34 psu se presentó en la zona de la boca del Guafo como una capa superficial de unos 100 m, que se adelgaza y profundiza hacia el interior del canal Moraleda, debido a la erosión de su límite superior por mezcla con aguas estuarinas que salen hacia el océano (Figs. 7a y 7b). En el canal Moraleda, en invierno el ASAA abarcó desde los 100 m hasta el fondo y en primavera desde los 75 m hasta el fondo. Los rangos de variación en la concentración de nutrientes de este cuerpo de agua fueron muy amplios ($1,2 \mu\text{M}$ en fosfato, $18 \mu\text{M}$ en nitrato y $12 \mu\text{M}$ en silicato), debido a que abarcó la capa superficial (concentraciones bajas) y la profunda (concentraciones altas). En ambos cruceros el ASAA no penetró al sur de la constricción de Meninea y por lo tanto a la microcuenca del fiordo Aysén, ya que ésta impide su paso al igual que lo observado en cruceros anteriores en la zona (Silva *et al.*, 1995; 1998; Guzmán & Silva 2002).

El AESS, caracterizada en la zona por salinidades comparativamente altas (33,9 a 34,2 psu), bajas concentraciones de oxígeno disuelto ($<3,5 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$) y altas concentraciones de nutrientes ($>2,4 \mu\text{M}$

fosfato; $>24 \mu\text{M}$ nitrato; $>16 \mu\text{M}$ silicato), se presentó en la zona profunda de la boca del Guafo bajo los 100 m en el crucero de invierno y bajo los 75 m en el de primavera y en el interior de la microcuenca del Moraleda bajo los 150 m (Figs. 7a y 7b). El AESS, al igual que ASAA, no logró penetrar a la microcuenca del Aysén debido a impedimentos topográficos (Figs. 7a y 7b), por lo que sus relativamente altas salinidades, altos nutrientes y bajas concentraciones de oxígeno disuelto, sólo llegaron hasta la zona central del Moraleda (Figs. 2b, 2c, 3a a 3c, 4b, 4c y 5a a 5c). Esta distribución de masas de agua es lo que provocó que la porción profunda (>100 m) de la microcuenca del Aysén fuera más cálida, oxigenada y menos salina y de menor contenido de nutrientes que la microcuenca del Moraleda.

Los resultados de ambas etapas de CIMAR 7 Fiordos, muestran el mismo patrón de distribución de propiedades descritas para esta zona por Silva *et al.* (1995) con los datos del Hudson-Chile 70 (verano 1970), Silva *et al.* (1998) para los datos de CIMAR 1 Fiordos (primavera 1995) y Guzmán & Silva (2002) con los datos de CIMAR 4-1 Fiordos (primavera) y 4-2 Fiordos (Verano), lo cual implica que éste es una característica permanente del área.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a las siguientes instituciones y personas: Ministerio de Hacienda, Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) y Comité Oceanográfico Nacional (CONA), por el financiamiento parcial del presente estudio según proyecto CONA C7F 01-17. A los oficiales y tripulación del buque oceanográfico AGOR "Vidal Gormaz" de la Armada de Chile. A los técnicos muestreadores Sres. Reinaldo Rehhof (Q.E.P.D.) y Francisco Gallardo, por su abnegada labor en la toma de muestras. A la químico, Srta. María Angélica Varas, por su dedicado trabajo en el análisis de las muestras.

REFERENCIAS

- ATLAS, E., S. HAGER, L. GORDON & P. PARK. 1971. A practical manual for use of the Technicon autoanalyzer in sea water nutrient analyses. O.S.U. Department of Oceanography. Technical Report, 215 pp.
- BRATTSTRÖM, H. & E. DAHL. 1951. Reports of the Lund University. Chile Expedition 1948-1949. I. General account, list of stations, hydrography. Lunds Universities, Arsskrift &

- Kungl. Fysiografiska Sällskapetets Handlingar. 88 pp.
- CAMERON, W. & D. PRITCHARD. 1963. Estuaries. En M.H. Hill (ed.). *The Sea*, 2: 306-324.
- CARPENTER, J. 1965. The Chesapeake Bay Institute Technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnol. Oceanogr.*, 10: 141-143.
- GUZMÁN, D. 2004. Caracterización hidrográfica y oceanográfica y balance de nutrientes en el fiordo Aysén. Tesis para optar al grado de Magíster en Oceanografía, Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 74 pp.
- GUZMÁN, D. & N. SILVA. 2002. Caracterización física y química y masas de agua en los canales australes de Chile entre boca del Guafo y estero Elefantes (crucero CIMAR 4 Fiordos). *Cienc. Tecnol. Mar*, 25(2): 45-76.
- PICKARD, G. 1971. Some physical oceanographic features of inlets of Chile. *J. Fish. Bd. Canada*, 28: 1.077-1.106.
- PICKARD, G. 1973. Water structure in Chilean fjords. *Oceanography of the South Pacific 1972*, comp. R. Fraser, New Zealand Nat. Comm. for UNESCO, pp. 95-104.
- PICKARD, G. L. & B. R. STANTON. 1980. Pacific fjords. A review of their water characteristics, En: H.J. Freeland, D.M. Farmer & C.D. Levings (eds.). *Fjords Oceanography*. Plenum Press, New York y London. *Nato Conferences Series IV: Marine Sciences*, pp. 1-51.
- ROJAS, R. & N. SILVA. 1996. Atlas oceanográfico de Chile (18° 21' S a 50° 00' S), Volumen 1. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, 234 pp.
- SIEVERS, H. & R. PRADO. 1994. Contraste de las características oceanográficas del seno Aysén, Chile, entre invierno y verano (Lat. 45° 20' S). *Rev. Biol. Mar*, 29(2): 167-209.
- SILVA, N., H. SIEVERS & R. PRADO. 1995. Descripción oceanográfica de los canales australes de Chile. Zona Puerto Montt - Laguna San Rafael (41° 20' S, 46° 40' S). *Rev. Biol. Mar*, 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 1 Fiordos). *Cienc. Tecnol. Mar*, 20: 23-106.
- SILVA, N., C. CALVETE & H. SIEVERS. 1998. Masas de agua y circulación general para algunos canales australes entre Puerto Montt y laguna San Rafael, Chile (Crucero CIMAR 1 Fiordos). *Cienc. Tecnol. Mar*, 21: 17-48.
- SILVA, N. & D. KONOW. 1975. Contribución al conocimiento de las masas de agua en el Pacífico Sud-Oriental. Expedición Krill. Crucero 3/4. Julio-agosto 1974. *Rev. Com. Perm. Pacífico Sur*, 3: 63-75.
- SILVA, N. & S. NESHYBA. 1979. On the southernmost extension of the Perú-Chile undercurrent. *Deep-Sea Res.*, 26A: 1.387-1.393.
- SILVA, N. & S. NESHYBA. 1979-1980. Masas de agua y circulación geostrofica frente a la costa de Chile Austral. *Ser. Cient. Inst. Antárt. Chileno*, 25/26: 5-32.
- SILVA, N., D. GUZMÁN & A. VALDENEGRO. 2000. Aysén Sound, Chile. En: S. V. Smith, V. Dupra, J. I. Marshall Crossland & C. J. Crossland (eds.). *Estuarine systems of the South American region: carbon, nitrogen and phosphorus fluxes*. LOICZ Reports and Studies 15, Texel. The Netherlands: pp 55-64.
- VARGAS, G. 1983. Investigación de la sobrevivencia del salmón. Pesca exploratoria realizada por el buque de investigación "Itzumi" y lancha "Alevín". Japan International Cooperation Agency (JICA). Tokyo, Japan, 53 pp.
- WEISS, R. 1970. The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and sea water. *Deep-Sea Res.*, 17: 721-735.
- WOLFF, W. J. 1980. Biotic aspects of the chemistry of estuaries. En: E. Olausson & I. Cato (eds.). *Chemistry and biochemistry of estuaries*. John Wiley & Sons. New York, 252 pp.