

**CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA Y MASAS DE AGUA EN LOS CANALES  
AUSTRALES DE CHILE ENTRE BOCA DEL GUAFO Y GOLFO ELEFANTES  
(CRUCERO CIMAR FIORDO 4)**

PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERIZATION AND WATER MASSES OF THE SOUTHERN  
CHANNELS OF CHILE BETWEEN BOCA DEL GUAFO AND GOLFO ELEFANTES  
(CIMAR FIORDO 4 CRUISE)

DAFNE GUZMÁN Z.  
NELSON SILVA S.  
Escuela de Ciencias del Mar,  
Universidad Católica de Valparaíso  
e-mail:nsilva@ucv.cl

*Recepción: 11 de mayo 2001 – Versión corregida aceptada: 20 de diciembre de 2001*

RESUMEN

El crucero oceanográfico Cimar-Fiordo 4, se realizó en dos etapas: del 28 de septiembre al 9 de octubre de 1998 y del 26 de febrero al 5 de marzo de 1999, abarcando desde la boca del Guafo (43° 30' S) a golfo Elefantes (46° 40' S). En cada una de las etapas se registró temperatura, salinidad, y se tomaron muestras de agua en 48 y 37 estaciones oceanográficas respectivamente para el análisis de oxígeno disuelto, pH y nutrientes (fosfato y nitrato). Las estaciones se distribuyeron a lo largo de la boca del Guafo, canal Moraleda, canal Costa, estero Elefantes y golfo Elefantes, incluyendo el seno Aysén. Con la información así obtenida, se prepararon secciones verticales para cada una de las características antes mencionadas, realizándose un análisis del efecto estacional e interanual al comparar con otros cruceros realizados en la zona.

La distribución vertical confirma la permanencia y extensión de una estructura 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 superior presentó aguas más cálidas, oxigenadas, ligeramente básicas, menos salinas y con un menor contenido de nutrientes que las aguas de la capa profunda. Durante el estudio no se detectaron zonas anóxicas. Las concentraciones más bajas que se registraron, fueron valores menores a 2,5 ml·L<sup>-1</sup>.

El análisis de la distribución vertical de variables físicas y químicas del agua en las estaciones oceanográficas y los diagramas T-S, permitieron determinar la presencia de tres masas de agua en la zona oceánica, entre los 0 y 400 m. Estas correspondieron al Agua Superficial Subantártica (ASAA), remanentes del Agua Ecuatorial Subsuperficial (AEES) y el Agua Intermedia Antártica (AIAA). En la zona de los canales existe una mezcla del ASAA con Agua Dulce (AD) proveniente de los ríos, lluvia, deshielo de glaciares y ventisqueros, lo que generó dos cuerpos de agua denominados 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, se produce una mezcla con proporciones crecientes de agua dulce, disminuyendo paulatinamente su salinidad y generando progresivamente cantidades variables de ASAAM y de AE.

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

ABSTRACT

The oceanographic cruise Cimar-Fiordo 4, was carried out in two stages: September 28 to October 9 of 1998 and February 26 to March 5 of 1999, covering from the boca del Guafo (43° 30' S)

to Elephant gulf (46° 40' S). In each one of the stages temperature and salinity were registered, and water samples were collected to measure dissolved oxygen, pH and nutrients (phosphate and nitrate), in 48 and 37 oceanographic station respectively. The stations were distributed along the boca del Guafo, Moraleda, Costa, Elephant channels, Elephant gulf and Aysén fjord. With the data obtained, vertical sections were prepared for each one of the oceanographic variables. An analysis of the seasonal and inter annual variability was also performed.

The vertical distribution showed a structure of two layers for the majority of the analyzed oceanographic variables. The superficial layer was characterized by a high variability while the deep layer, was more homogeneous. The upper layer was warmer, oxygenated, basic, less saline and with a lower content of nutrients than the waters of the deep layer. No anoxic areas were detected. The lowest dissolved oxygen value measured was 2.5 ml·L<sup>-1</sup>.

The analysis of the vertical distribution of physical and chemical variables of the water in the oceanographic stations, and T-S diagrams, allowed to determine, between the 0 and 400 m of depth, the presence of three masses of water in the oceanic area. They correspond to Subantarctic Surface Water (ASAA), remnants of equatorial Subsurface Water (AESS) and Antarctic Intermediate Water (AIAA). In the channel area, a mixture of ASAA with fresh Water (AD) coming from the rivers, rain, snow, and iceberg was observed. This mixture generate two bodies of water called Subantarctic Modified Water (ASAAM) and Estuarine Water. As the oceanic waters is introduced by the boca del Guafo towards the heads of the channels, a mixture is taking place with growing proportions of fresh water, diminishing its salinity gradually and generating variable quantities of ASAAM and AE.

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

## INTRODUCCIÓN

En el extremo sur de Chile se encuentra una de las zonas de fiordos y canales más extensas del planeta. Esta zona junto con las costas de Alaska, Columbia Británica, Alaska, Islandia, Groenlandia, Noruega, entre otras, conforman las mayores zonas estuarinas del mundo (Cameron & Pritchard, 1963).

Los estuarios contienen, en general, más organismos vivos que en cualquier otra parte de los océanos (Wolff, 1980), lo cual los hace altamente productivos. Por otra parte, al presentar 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 la instalación de centros de desarrollo marítimo, pesquero y urbano. Esto ha provocado que estas zonas estén siendo intervenidas por las 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 y centros industriales. Estas actividades en el tiempo pueden producir 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 chilenos, por lo que es importante

realizar investigación oceanográfica, para establecer las líneas bases ambientales en las condiciones 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.

La investigación oceanográfica en el área comprendida entre el golfo de 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 y Dahl (1951), Pickard (1971; 1973), Pickard & Stanton (1980), Sievers & Prado (1994), Silva *et al.* (1995; 1997; 1998) & Vargas (1983), entre otros.

Una de las características hidrográficas relevante de la zona de estudio es el estrechamiento y la presencia de una constricción y umbral de baja profundidad (50-60 m), frente a la isla Meninea (45° 16' S y 73° 38' W), el 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 cuencas, al norte y sur de ella. La cuenca norte está conectada al mar por la boca del Guafo y tiene una profundidad media del orden de 250 m. La cuenca 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 separada en dos "brazos", uno hacia el sur compuesto del canal Costa, estero y golfo Elefantes y otro hacia el este, compuesto del seno Aysén. Esta constricción juega un papel fundamental en la circulación, tiempo de residencia y características físicas y químicas de la cuenca sur (Silva *et al.*, 2000).

El presente trabajo, basado en la información oceanográfica recolectada por el crucero Cimar-Fiordo 4, efectúa un análisis de las características oceanográficas entre la boca del Guafo y el estero Elefantes, con el objetivo de ampliar el conocimiento de la variabilidad estacional e interanual, de las condiciones oceanográficas del área.

#### MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio se encuentra ubicada entre la boca del Guafo (43° 30' S) y el golfo Elefantes (46° 40' S), los 72° W y los 74° W. El muestreo de la zona se dividió en dos etapas para obtener datos de condiciones primaverales y estivales. La primera se efectuó entre el 28 de septiembre y el 9 de octubre de 1998 y la segunda del 26 de febrero al 5 de marzo de 1999, con el AGOR "Vidal Gormaz" perteneciente a la Armada de Chile, realizándose un total de 48 y 37 estaciones oceanográficas respectivamente (Fig. 1).

En cada una de las etapas se tomaron, a profundidades estándares, muestras de agua de mar mediante botellas Niskin adosadas a una Roseta, para el análisis de oxígeno disuelto, pH, fosfato y nitrato.

La temperatura, salinidad y oxígeno disuelto se registraron con un CTD, Sea-Bird modelo 19 entre la superficie y el fondo, siendo procesadas mediante el programa SEASOFT 4.22. Con el propósito de calibrar los sensores de salinidad y oxígeno disuelto, se tomaron muestras de agua, las que fueron analizadas con un salinómetro Portasal y con el método de Carpenter (1965) respectivamente. Los valores de saturación de oxígeno se calcularon basándose en el algoritmo de Weiss (1970). Las muestras de pH fueron tomadas con jeringas plásticas de 60 ml, y guardadas en oscuridad a 4 °C hasta el análisis, que no superó una hora después de tomada la muestra. La medición se realizó con un pHmetro Accumet 20 de preci-

sión de 0,001, utilizándose una celda cerrada y termostatazada a 25 °C. Para calibrar el pHmetro, se utilizaron tampones AMP de pH 6,787 y TRIS de pH 8,089 preparados en agua de mar sintética de acuerdo con DOE (1994).

Las muestras de nutrientes (50 ml) se tomaron en botellas asépticas de polietileno de alta densidad; se les agregó dos gotas de cloruro mercúrico diluido y se congelaron a -25 °C. Posteriormente, en tierra, se analizaron mediante un autoanalizador según las técnicas indicadas por Atlas *et al.*, (1971).

Con los resultados de los registros del CTD y de los análisis químicos, se prepararon para cada crucero, dos secciones verticales de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH, fosfato y nitrato. La sección 1 abarcó desde la boca del Guafo hasta el seno Aysén, y la sección 2 desde la parte sur del canal Moraleda hasta el golfo Elefantes.

Para detallar las características de la capa superior, donde ocurren los mayores cambios, se usaron dos escalas diferentes. La primera de 0 a 100 m y la otra de 100 m hasta el fondo. La batimetría de las secciones es aproximada y se basó en las respectivas cartas náuticas del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile.

La determinación de las masas de agua y seguimiento de sus desplazamientos hacia el interior de los canales, se realizó mediante la utilización de diagramas T-S y el triángulo de mezcla correspondiente.

#### RESULTADOS

Crucero Cimar-Fiordo 4 etapa 1 (Crucero de primavera temprana)

*Sección boca del Guafo, golfo Corcovado, canal Moraleda, y seno Aysén*

En primavera temprana, la distribución superficial de temperatura fue bastante homogénea, con valores entre 10,3 y 10,8 °C. Los mayores valores se ubicaron en la boca del Guafo y cabeza del seno Aysén (Fig. 2a).

Bajo la superficie y hasta los 75 m (Fig. 2a), en la boca del Guafo se detectó una capa superficial relativamente homogénea, con temperaturas alrededor de 10,5 °C y un gradiente vertical débil (<0,08 °C/10 m). A lo largo del canal

Moraleda y hasta la boca del seno Aysén, bajo la superficie se mantuvo cuasi homotermal. Bajo los 75 m, desde la boca del Guafo hasta la entrada del Moraleda, se apreció una capa profunda más fría ( $<10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y con un gradiente vertical térmico mayor ( $\approx 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ m}$ ), sin generar una termoclina (Fig. 2a). Esta estratificación vertical disminuyó hacia el interior del Moraleda, para desaparecer en las cercanías a la constricción de Meninea (Est. 11 a 15), donde se observó una capa cuasi homotermal de superficie a fondo ( $\Delta T^{\circ}/\Delta z < 0,05\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ m}$ ). La zona profunda de la boca del Guafo y canal Moraleda ( $>150\text{ m}$ ), presentó un leve gradiente horizontal ( $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{milla náutica (mn}^{-1}\text{)}$ ), donde la temperatura aumentó hacia el interior del canal Moraleda (Fig. 2a).

Al interior del seno Aysén, la temperatura superficial fue prácticamente homogénea y cercana a  $10,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Bajo ésta, la temperatura permaneció cuasi homogénea en la boca, mientras que hacia la cabeza, presentó un aumento, lo que generó un leve máximo ( $>11\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) centrado en torno de los 50 m, sin formar una termoclina invertida ( $\Delta T^{\circ}/\Delta z < -0,16\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ m}$ ). La zona profunda ( $> 100\text{ m}$ ), fue relativamente homogénea, sin grandes variaciones térmicas verticales, pero con un leve gradiente horizontal de  $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{mn}^{-1}$ , donde la mayor temperatura se encontró en la cabeza y la menor en la boca (Fig. 2a).

La distribución superficial de salinidad fluctuó entre valores de 15,0 y 32,9 psu (Fig. 2b), donde los menores valores correspondieron a la cabeza del seno Aysén y los mayores a la boca del Guafo. En el canal Moraleda, entre las estaciones 5 y 8, se observó la presencia de un leve frente salino superficial de  $0,001\text{ psu}\cdot\text{mn}^{-1}$ , mientras que en el seno Aysén se presentó otro mucho más marcado de  $0,03\text{ psu}\cdot\text{mn}^{-1}$ .

Bajo la superficie, en la boca del Guafo y canal Moraleda, la salinidad aumentó alcanzando valores mayores a 33,0 psu a los 75 m (Est. 12a). Este cambio en profundidad dio origen a una haloclina con gradientes verticales de  $0,12\text{ psu}/10\text{ m}$  en la boca del Guafo y  $0,5\text{ psu}/10\text{ m}$  en la estación 12. Bajo la haloclina, la salinidad continuó aumentando en forma menos intensa, alcanzando valores mayores a 34,0 psu bajo los 150 m en gran parte de la sección. La salinidad de la zona profunda ( $>150\text{ m}$ ) del Moraleda y boca del Guafo, fue relativamente homogénea ( $>34,0\text{ psu}$ ), sin grandes variaciones verticales, pero con un leve gradiente horizontal ( $0,01\text{ psu}\cdot\text{mn}^{-1}$ ).

En el seno Aysén, el cambio de salinidad fue más intenso que en el resto de la sección, presentando hacia la cabeza una haloclina que abarcó hasta los 25 m, con un gradiente vertical máximo de  $6\text{ psu}/10\text{ m}$ . Bajo esta haloclina, cuyo límite inferior fue la isohalina de 30,0 psu, la salinidad continuó aumentando más lentamente, generando una capa profunda con valores entre 31,0 y 31,4 psu (Fig. 2b).

La distribución superficial de oxígeno disuelto presentó concentraciones entre  $5,5$  y  $8,4\text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$  (87% y 122% de saturación respectivamente), donde los menores valores se encontraron en la estación 2 y los mayores en la cabeza del seno Aysén (Fig. 3a).

Bajo la superficie, el oxígeno disuelto disminuyó levemente manteniendo una capa bien oxigenada ( $>5\text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ ) de unos 50 m de espesor en la zona del Guafo. En el resto de la sección, esta capa fue de unos 25 m de espesor con la excepción de la zona inmediatamente al sur de Meninea, donde la alta oxigenación se profundizó llegando hasta el fondo (Est. 14 a 16) (Fig. 3a). A mayores profundidades, desde la boca del Guafo hasta la constricción de Meninea, la concentración de oxígeno disuelto disminuyó rápidamente, alcanzando concentraciones menores de  $4\text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$  bajo los 75 m en la zona central del canal Moraleda y bajo los 150 m en la boca del Guafo. Las más bajas concentraciones de oxígeno disuelto alcanzaron un mínimo de  $2,5\text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$  alrededor de los 150 m entre las estaciones 9-10 (Fig. 3a).

En el seno Aysén, se produjo una marcada oxiclina bajo la superficie con un gradiente vertical de  $1\text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}/10\text{ m}$ , producto de la presencia de altos valores superficiales de oxígeno disuelto ( $>8\text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ ) y de un mínimo ( $<3\text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ ), centrado a los 100 m hacia la cabeza del seno. En la zona profunda del Aysén ( $>150\text{ m}$ ), se presentó un gradiente horizontal de oxígeno disuelto ( $\approx 0,1\text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{mn}^{-1}$ ), entre la cabeza ( $<3\text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ ) y la boca ( $>5\text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ ) (Fig. 3a).

El pH superficial presentó valores de 7,9 y 8,3 con los menores valores en la parte central del canal Moraleda y los mayores en la cabeza del seno Aysén (Fig. 3b).

Bajo la superficie, desde el canal Moraleda hasta el sur de la constricción de Meninea (Est. 15), el pH disminuyó rápidamente hasta los 50 m a valores de 7,8 en la boca del Guafo y 7,7 en el canal Moraleda, lo que generó una pHclina débil de  $0,06\text{ pH}/10\text{ m}$ . Bajo esta profundidad, el pH disminuyó más lentamente hasta los 100 m,

para luego continuar una capa cuasi homogénea con valores de 7,6 (Fig. 3b).

El seno Aysén presentó bajo la superficie una fuerte pHclina en los primeros 20 m con un máximo gradiente vertical en su cabeza de 0,32 pH/10 m, con un mínimo (<7,4) centrado a 100 m. En la zona profunda del seno (>150 m), se presentó un fuerte gradiente horizontal ( $\approx 0,01$  pH·mn<sup>-1</sup>), entre la cabeza (<7,4) y la boca (>7,7) (Fig. 3b).

La distribución superficial de nutrientes presentó concentraciones que fluctuaron entre 0,3 y 1,0  $\mu$ M para fosfato (Fig. 4a) y 0,2 y 6,5  $\mu$ M para nitrato (Fig. 4b), con los menores valores en la cabeza del seno Aysén (Est. 18-20) y los mayores en la boca del Guafo (Est. 3).

Bajo la superficie, los nutrientes aumentaron rápidamente hasta alrededor de los 25 m, donde alcanzaron concentraciones de fosfato de 1  $\mu$ M en la boca del Guafo a 1,6  $\mu$ M en el Moraleda y 8  $\mu$ M en la boca del Guafo a 14  $\mu$ M en el Moraleda (Fig. 4a y 4b) de nitrato. Esto dio origen a la formación de nutriclinas de 0,2  $\mu$ M /10 m para fosfato y de 0,3  $\mu$ M /10 m para nitrato en la boca del Guafo y de 0,3  $\mu$ M /10 m para fosfato y de 5,0  $\mu$ M /10 m para nitrato en el canal Moraleda. Bajo las nutriclinas, los nutrientes aumentaron más lentamente hasta los 150 m, donde continuó una capa cuasi homogénea con concentraciones de 2  $\mu$ M para fosfato y de 24  $\mu$ M para nitrato (Figs. 4a y 4b). En las estaciones al sur de la constricción (Est. 14 - 16), bajo los 25 m y hasta el fondo, se presentó una capa relativamente homogénea con concentraciones entre 1,4 y 1,6  $\mu$ M de fosfato y entre 15,0 y 17,0  $\mu$ M de nitrato (Figs. 4a y 4b).

En el seno Aysén, los nutrientes aumentaron rápidamente en los primeros 25 m (Figs. 4a y 4b), lo que generó nutriclinas con gradientes de 0,6  $\mu$ M/10 m en fosfato y de 7,0  $\mu$ M/10 m en nitrato. Bajo la nutriclina, las concentraciones aumentaron lentamente hasta formar, en la cabeza, un máximo de fosfato y nitrato de 1,6  $\mu$ M y 20  $\mu$ M respectivamente. Los nutrientes de la zona profunda (>150 m), fueron relativamente homogéneos, pero con un leve gradiente horizontal (0,01  $\mu$ M HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>·mn<sup>-1</sup> y 0,2  $\mu$ M NO<sub>3</sub><sup>-</sup>·mn<sup>-1</sup>).

#### *Sección sur de la constricción de Meninea, canal Costa, estero Elefantes y golfo Elefantes*

La distribución superficial de temperatura se presentó homogénea con valores entre 8,7 y 10,8 °C. Los menores se ubicaron en la cabeza

del golfo Elefantes y los mayores en el extremo norte de la sección (Fig. 5a).

Bajo la superficie (Fig. 5a), en la zona sur del canal Moraleda al canal Costa, la columna de agua se presentó bastante homogénea, con temperaturas de 10,5 a 10,8 °C, lo que dio origen a una capa homotermal en las estaciones 11 a 24, la que abarcó casi hasta el fondo. En el tramo comprendido por el estero Elefantes y golfo Elefantes (Est. 25 a 27), la temperatura disminuyó en el sentido horizontal, pero manteniendo una distribución vertical uniforme, y se generó un frente térmico de 0,1 °C·mn<sup>-1</sup>.

La distribución superficial de salinidad presentó valores entre 21,3 a 30,0 psu (Fig. 5b), donde los valores menores estuvieron en la cabeza del golfo Elefantes y los mayores en el extremo norte de la sección (Est. 12-13). Entre el estero Elefantes y el golfo Elefantes, se observó la presencia de un fuerte frente salino superficial con un gradiente horizontal de 0,3 psu·mn<sup>-1</sup>.

Bajo la superficie del canal Moraleda (Est. 11 a 12), la salinidad aumentó rápidamente en los primeros 50 m, lo que generó una haloclina de 0,7 psu/10 m. Al sur de Meninea (Est. 14 a 24), la salinidad formó una haloclina de 0,5 psu/10 m, alcanzando valores de 32 psu cerca del fondo (Fig. 5b). Al igual que para la temperatura, entre el estero Elefantes y golfo Elefantes (Est. 25 a 27), la salinidad disminuyó rápidamente en el sentido horizontal, lo que generó un frente salino de 0,24 psu·mn<sup>-1</sup>.

La distribución superficial de oxígeno disuelto (Fig. 5c) presentó concentraciones de 6,4 y 7,5 ml·L<sup>-1</sup> (98% y 117% de saturación respectivamente), en donde los menores valores se encontraron en el estero Elefantes (Est. 24) y los mayores en el canal Moraleda (Est. 11).

Bajo la superficie del canal Moraleda (Est. 11 a 12), el oxígeno disuelto mantuvo una capa bien oxigenada (>5 ml·L<sup>-1</sup>) de unos 50 m de espesor (Fig. 5c). Bajo esta capa, el oxígeno disuelto disminuyó rápidamente a concentraciones menores a 4 ml·L<sup>-1</sup> cerca del fondo (Fig. 5c).

Entre el canal Costa y el golfo Elefantes, la concentración de oxígeno presentó valores cuasi homogéneos de 5 ml·L<sup>-1</sup> hasta el fondo en toda la cuenca (Fig. 5c).

La distribución superficial de nutrientes presentó concentraciones que fluctuaron entre 0,6 y 1,3  $\mu$ M para fosfato (Fig. 6a) y 0,3 y 11,0  $\mu$ M

para nitrato (Fig. 6b), ubicándose los menores valores en la estación 15 y los mayores en las cercanías del estero Elefantes (Est. 24).

Bajo la superficie del canal Moraleda (Est. 11 a 12), el fosfato y nitrato aumentaron rápidamente hasta valores de 1,6 y 16  $\mu\text{M}$  a los 25 m respectivamente (Fig. 6a y 6b). A partir de esta capa, la concentración de estos nutrientes aumentó más lentamente hasta el fondo, donde alcanzaron concentraciones de 2 y 20  $\mu\text{M}$  respectivamente (Fig. 6a y 6b).

Bajo la superficie, de los canales Costa a golfo Elefantes, los nutrientes aumentaron levemente hasta valores de 1,2 y 12  $\mu\text{M}$ , a los 25 m (Figs. 6a y b). En las estaciones 15 y 22, donde los valores superficiales fueron menores, estos nutrientes formaron una leve nutriclina con valores de 0,3  $\mu\text{M}/10$  m para fosfato y de 4,5  $\mu\text{M}/10$  m para nitrato. En la porción profunda de la sección, y al igual que el oxígeno disuelto, se presentó una capa relativamente homogénea con concentraciones de alrededor de 1,6  $\mu\text{M}$  de fosfato y 16  $\mu\text{M}$  de nitrato.

Crucero Cimarr-Fiordo 4 etapa 2 (Crucero de verano)

*Sección boca del Guafo, canal Moraleda, canal Costa y seno Aysén*

En verano la distribución superficial de temperatura fluctuó entre 11,5 y 14,2  $^{\circ}\text{C}$ , donde los menores valores se ubicaron en la parte central del canal Moraleda (Est. 8) y los mayores en la boca del Guafo y cabeza del seno Aysén (Fig. 7a).

Entre la superficie y hasta los 10 m se presentó una capa casi homotermal, desde la boca del Guafo hasta el sur de la constricción de Meninea (Est. 14). Bajo esta capa, la temperatura disminuyó en profundidad hasta los 100 m alcanzando temperaturas de 10  $^{\circ}\text{C}$ , lo que generó una termoclina leve de 0,3  $^{\circ}\text{C}/10$  m (Fig. 7a). A mayores profundidades, la temperatura disminuyó hasta alcanzar valores de 8,5  $^{\circ}\text{C}$  en el fondo (Fig. 7a). Al sur de Meninea (Est. 14), se observó una columna casi homotermal entre los 75 m y el fondo.

Bajo la superficie de la cabeza del seno Aysén, se presentó una termoclina superficial fuerte con un gradiente de 1,1  $^{\circ}\text{C}/10$  m. Luego, la temperatura disminuyó a valores menores de 11 $^{\circ}\text{C}$  para volver a aumentar ligeramente en profundidad. Esto generó un mínimo térmico

subsuperficial (<11  $^{\circ}\text{C}$ ), centrado a los 75 m (Fig. 7a). La zona profunda (>150 m) fue casi homotermal en toda la cuenca (Fig. 7a).

La distribución superficial de salinidad presentó valores entre 9,6 y 33,0 psu, donde los menores correspondieron a las estaciones de la cabeza del seno Aysén y los mayores a la boca del Guafo (Fig. 7b). En el canal Moraleda, (entre las estaciones 8 y 9), se observó la presencia de un frente salino superficial ( $\approx 0,2$  psu·m $^{-1}$ ), al igual que en el seno Aysén, siendo en este último más marcado con gradientes de 0,5 psu·m $^{-1}$ .

Bajo la superficie, la salinidad en la boca del Guafo, fue relativamente homogénea hasta los 100 m, donde presentó valores de 33,5 psu (Fig. 7b). En el canal Moraleda, la salinidad en esta capa fue más heterogénea, debido a las aguas menos salinas que vienen desde el interior. A mayores profundidades, la salinidad aumentó alcanzando valores mayores a 34,0 psu en el fondo (Fig. 7b). Entre las estaciones 10 y 12, alrededor de los 50 m, se observó la presencia de una haloclina de 0,4 psu/10 m.

En el caso del seno Aysén, la salinidad bajo la superficie aumentó rápidamente, lo que dio origen a una haloclina en los 25 m superiores, con un gradiente de 10 psu/10 m, en la cabeza. A mayor profundidad, la salinidad continuó aumentando mas lentamente hasta el fondo donde alcanzó valores de 31,8 psu en la cabeza y 32,2 psu en la boca (Fig. 7b).

La distribución superficial de oxígeno disuelto presentó concentraciones entre 5,5 y 7,1 ml·L $^{-1}$  (87% y 104% de saturación respectivamente), con el menor valor en el centro de la sección y el mayor en la cabeza del seno Aysén (Fig. 8a).

Bajo la superficie, el oxígeno disuelto disminuyó lentamente, manteniéndose una capa bien oxigenada (>5 ml·L $^{-1}$ ) de alrededor de 25 - 50 m de espesor en toda la sección (Fig. 8a). A mayor profundidad, el oxígeno disuelto continuó disminuyendo hasta concentraciones menores de 4 ml·L $^{-1}$  bajo los 75 m en la zona central del canal Moraleda y bajo los 100 m en la zona de la boca del Guafo, formando un mínimo de 2,7 ml·L $^{-1}$  alrededor de los 150 m entre las estaciones 9-10 (Fig. 8a).

En el seno Aysén, se produjo una oxiclina, con un gradiente vertical de 2,8 ml·L $^{-1}$  /10 m, producto de la presencia de un mínimo de 2,0

$\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$  centrado alrededor de los 50 m en el sector de la cabeza. En la zona profunda ( $>100$  m), entre la cabeza y la boca, la distribución de oxígeno fue relativamente homogénea ( $4 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ ) (Fig. 8a)

La distribución superficial de pH presentó valores entre 7,7 en la estación 18 y 7,9 en la cabeza del Aysén y la boca del Guafo (Fig. 8b).

Bajo la superficie, desde el extremo norte del canal Moraleda hasta el norte de la constricción de Meninea (Est. 10), el pH disminuyó rápidamente hasta los 50 m, donde alcanzó valores de 7,7. Luego disminuyó más lentamente hasta los 100 m, para continuar con una capa profunda casi homogénea, con valores de pH de alrededor de 7,6 en canal Moraleda (Fig. 8b).

En el seno Aysén, bajo la superficie, se produjo una pHclina en los primeros 25 m con un gradiente vertical de  $0,16 \text{ pH}/10 \text{ m}$ , producto de la presencia de un mínimo de 7,36, centrado alrededor de los 50 m en la cabeza. En la zona profunda ( $>100$  m), entre la cabeza y la boca, la distribución de pH fue casi homogénea y del orden de 7,6 (Fig. 8b).

La distribución superficial de nutrientes presentó concentraciones que fluctuaron entre 0,2 y  $1,6 \mu\text{M}$  para fosfato (Fig. 9a) y 0,3 y  $13,7 \mu\text{M}$  para nitrato (Fig. 9b), ubicándose los menores valores en la cabeza del seno Aysén (Est. 18-20) y los mayores en la parte central del canal Moraleda (Est. 10).

Bajo la superficie, en la boca del Guafo y canal Moraleda, el fosfato aumentó lentamente para alcanzar valores de  $2,0 \mu\text{M}$  a unos 100 m y luego mantenerse relativamente homogéneo hasta el fondo (Fig. 9a). En el caso del nitrato se observó una delgada capa de unos 10 m de espesor con concentraciones relativamente homogéneas, para luego aumentar rápidamente hasta alrededor de 75 m, donde alcanzaron concentraciones de  $20 \mu\text{M}$  (Fig. 9b). Lo anterior dio origen a una nutriclina de  $0,6 \mu\text{M}/10 \text{ m}$  para nitrato. Bajo la nutriclina, el nitrato siguió aumentando más lentamente con la profundidad hasta valores mayores de  $24 \mu\text{M}$  (Fig. 9b).

En el seno Aysén, producto de las bajas concentraciones superficiales, los nutrientes aumentaron rápidamente los primeros 25 m (Fig. 9a y 9b), generándose nutriclinas con gradientes de  $0,6 \mu\text{M}/10 \text{ m}$  en fosfato y de  $8,0 \mu\text{M}/10 \text{ m}$  en nitrato. Bajo la nutriclina, estos nutrientes continuaron aumentando para formar

un máximo de  $2,0 \mu\text{M}$  centrado alrededor de los 75 m para el fosfato y de  $23 \mu\text{M}$  a los 50 m para el nitrato. Los nutrientes de la zona profunda ( $>100$  m), fueron casi homogéneos, con concentraciones de  $1,7 \mu\text{M}$  en fosfato y  $17 \mu\text{M}$  en nitrato (Figs. 9a y 9b).

#### *Sección sur de la constricción de Meninea, canal Costa, estero Elefantes y golfo Elefantes*

La distribución superficial de temperatura fluctuó entre  $10,5$  y  $13,0$  °C, donde los valores menores se ubicaron en la cabeza del golfo Elefantes y los mayores se ubicaron en el extremo norte de la sección (Fig. 10a).

Bajo la superficie de las estaciones 11 a 13 (Moraleda), la temperatura disminuyó lentamente, lo que generó una termoclina débil ( $\approx 0,4$  °C/ $10 \text{ m}$ ), centrada a unos 50 m. A mayor profundidad la temperatura continuó disminuyendo lentamente, alcanzando valores menores a  $10$  °C en el fondo (Fig. 10a). Hacia la cuenca del canal Costa y estero Elefantes, la columna de agua fue casi homogénea y con valores de  $11,5$  °C.

La distribución superficial de salinidad fluctuó entre 19,3 y 31,3 psu, donde los menores valores correspondieron a las estaciones de la cabeza del golfo Elefantes y los mayores al norte de la sección (Est. 13) (Fig. 10b). A partir de la estación 13, se pudo observar un frente salino superficial, el que fue interrumpido en la estación 23, para luego continuar nuevamente. Este frente fue más intenso entre las estaciones 24 y 27, donde alcanzó  $0,33 \text{ psu}\cdot\text{m}^{-1}$ .

En la zona norte de la sección (Est. 11 a 12), bajo la superficie, la salinidad aumentó paulatinamente hasta los 75 m, donde alcanzó valores de 33,4 psu, con un gradiente vertical de  $0,3 \text{ psu}/10 \text{ m}$ , lo que dio origen a la formación de una haloclina débil. Bajo esta haloclina, la salinidad continuó aumentando en forma menos intensa, para alcanzar valores mayores de 33,5 psu en el fondo. Por el contrario, al sur de la constricción, las salinidades en el fondo fueron menores y del orden de 32,2 psu (Fig. 10b).

En el canal Costa, la salinidad bajo la superficie aumentó rápidamente, lo que dio origen a una haloclina, a los 25 m, la cual tuvo un gradiente de  $\approx 1,3 \text{ psu}/10 \text{ m}$ , centrada a unos 50 m en la estación 15. Luego la salinidad continuó aumentando más lentamente hacia el fondo hasta valores mayores de 32 psu. En la zona del estero y golfo Elefantes (Est. 25 a 27), la salinidad tendió a mantener una distribución

vertical uniforme de superficie a fondo (Fig. 10b), lo que generó un frente salino de  $0,34 \text{ psu} \cdot \text{m}^{-1}$ .

La distribución superficial de oxígeno disuelto presentó concentraciones entre  $5,2$  y  $6,7 \text{ ml} \cdot \text{L}^{-1}$  (83 y 97% de saturación de oxígeno respectivamente), en donde los menores valores se encontraron en el centro de la sección (Est. 23) y los mayores en las cercanías del golfo Elefantes (Fig. 10c).

Bajo la superficie, el oxígeno disuelto disminuyó, manteniendo una capa bien oxigenada ( $>5 \text{ ml} \cdot \text{L}^{-1}$ ) de unos 25 m de espesor en toda la sección (Fig. 10c). En la zona norte de la sección (Est. 11 y 12), bajo esta capa bien oxigenada, éste disminuyó lentamente hasta concentraciones menores a  $3,5 \text{ ml} \cdot \text{L}^{-1}$  en el fondo (Fig. 10c). Al sur de la constricción de Meninea, las aguas se presentaron casi homogéneas y más oxigenadas que en la parte norte de la sección, con valores menores a  $4,5 \text{ ml} \cdot \text{L}^{-1}$ , bajo los 75 m (Fig. 10c). En la zona del golfo Elefantes, la situación es diferente, ya que toda la columna (100 m) se mantuvo con valores superiores a  $5 \text{ ml} \cdot \text{L}^{-1}$  (Fig. 10c).

La distribución superficial de nutrientes presentó concentraciones que fluctuaron entre  $0,6$  y  $1,5 \mu\text{M}$  para fosfato (Fig. 11a) y  $4,0$  y  $13,5 \mu\text{M}$  para nitrato (Fig. 11b), ubicándose los menores valores en el canal Costa (Est. 15) y los mayores en el estero Elefantes (Est. 23 y 24).

Al norte de la constricción de Meninea, en los primeros 25 m, se presentaron concentraciones de fosfato y nitrato relativamente altas ( $1,2$  y  $12 \mu\text{M}$  respectivamente), las que aumentaron levemente hacia el fondo donde se alcanzaron concentraciones mayores a  $2 \mu\text{M}$  para fosfato y de  $24 \mu\text{M}$  para nitrato (Fig. 11a y 11b). En las estaciones al sur de la constricción (Est. 14 - 23), las concentraciones en los primeros 50 m fueron similares a las de la zona norte ( $1,2$  y  $12 \mu\text{M}$ ), aumentando lentamente hasta concentraciones de  $1,6 \mu\text{M}$  en fosfato y  $16 \mu\text{M}$  en nitrato (Figs. 11a y 11b).

## DISCUSIÓN

### Temperatura

Producto de 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 Fiordo 4. En la etapa de primavera, se presentó una capa relativamente fría ( $<11 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y casi homogénea hasta los 75 m en las estaciones más oceánicas (Est. 1 a 4), la que se fue profundizando hacia el interior del canal Moraleda. Bajo esta capa casi homogénea, la temperatura disminuyó hacia el fondo, sin alcanzar a formar una termoclina (Figs. 2a y 5a).

La situación del crucero de verano, fue muy diferente a la de primavera, ya que el calentamiento superficial típico de la estación estival provocó, en general, un aumento de la temperatura de la capa superficial ( $>12 \text{ }^\circ\text{C}$ ), que dio paso a una termoclina débil con gradientes máximos de  $0,6 \text{ }^\circ\text{C}/10 \text{ m}$  entre los 25 y 150 m, para luego continuar disminuyendo más lentamente (Figs. 7a y 10a).

Bajo los 100 m, en general, en ambos cruces las temperaturas tendieron a ser similares y fluctuaron entre  $8,5$  y  $10,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , lo que indicaría que esta capa fue relativamente estable. Al comparar con otros cruces realizados en la misma zona como es el caso del Hudson (verano 1970) (Silva *et al.*, 1995) y Cimar-Fiordo 1 (primavera 1995) (Silva *et al.*, 1998), las temperaturas en esta misma zona y profundidad son similares a las de Cimar-Fiordo 4 dentro de un rango de  $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ello implicaría una relativa estabilidad térmica de la zona profunda, desde la boca del Guafo hasta la constricción de Meninea.

En el caso de la superficie de la cuenca sur, la diferencia principal entre los cruces se debe a que en el verano se apreció una intensa termoclina superficial en el seno Aysén, mientras que en primavera esto no ocurrió. Ello parece ser el resultado no sólo del calentamiento superficial propio de la estación estival, sino que también del aporte de aguas del río Aysén más o menos cálidas dependiendo de la estación del año. Esto parece ser más claro en el caso del crucero de verano, donde la temperatura en la cabeza del seno Aysén fue la más alta de todo el crucero ( $>14 \text{ }^\circ\text{C}$ ) (Fig. 7a).

Al comparar las temperaturas de la zona profunda ( $>100 \text{ m}$ ) de la cuenca sur, éstas muestran una tendencia a la homogeneidad vertical, pero también una variabilidad estacional, siendo los períodos más fríos los de primavera ( $\approx 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y los más cálidos los de verano ( $\approx 11 \text{ }^\circ\text{C}$ ) (Figs. 2a, 5a, 7a, y 10 a).

Estas diferencias térmicas que ocurren en la zona profunda de la cuenca sur, pueden expli-



carse en base al modelo de circulación vertical propuesto por Silva *et al.* (1995), en el cual aguas del nivel de 30-60 m pasan al sur de la constricción de Meninea hundiéndose y llenando de esta manera la cuenca. De este modo, en verano, el agua a este nivel será más cálida que en primavera, produciendo las diferencias antes indicadas. Lo anterior implicaría que las aguas de la cuenca sur, al menos en la zona más cercana a la constricción de Meninea se estarían renovando en forma estacional (primaveral-estival). Esto sería coincidente con las estimaciones del tiempo de renovación de 6 meses de esta cuenca calculado por Guzmán (2000), en base a un modelo de balance de agua y sal.

Una de las características importantes en la distribución de la temperatura en el seno Aysén, es la tendencia a la estabilidad térmica que se presenta en 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 larga permanencia de las aguas en la zona.

Otra de las características térmicas notables, fue la diferencia de temperatura entre las cuencas al norte y al sur de Meninea. Esta última presentó leves diferencias con valores del orden de 10 a 11 °C, mientras que la cuenca norte presentó diferencias térmicas mayores entre la boca del Guafo y el interior del canal Moraleda con valores de 8,5 a 10,5 °C respectivamente (Figs. 2a, 5a, 7a y 10a). Esta característica parece ser un rasgo permanente del área, ya que también han sido observado en los cruceros Hudson (marzo 1970) y Cimar-Fiordo 1 (octubre 1995).

### Salinidad

Debido al diferente aporte de aguas dulces durante los distintos periodos estacionales en que se desarrollaron los cruceros, la distribución vertical de salinidad no presentó un patrón similar en ambas etapas del crucero Cimar-Fiordo 4. En el crucero de primavera, las bajas salinidades de la capa superficial (i.e. <32 psu) se extendieron a lo largo del canal Moraleda, situación que no ocurrió en verano, en que esta isohalina sólo abarcó hasta la mitad de este canal (Figs. 2b y 7b). La salinidad en el crucero de primavera tendió a ser más estratificada que en verano, lo cual coincide con la distribución vertical de salinidad de Cimar-Fiordo 1, realizada en primavera (Silva *et al.*, 1997). Sin embargo, los resultados del

Hudson (verano 1970) no son coincidentes con lo anterior, ya que salinidades menores a 31 psu alcanzaron hasta el golfo Corcovado, generando una estratificación vertical importante, similar a las de primavera de 1995 y 1998. Lo anterior sugiere que además de la variabilidad estacional de salinidad de la capa superficial, también habría un factor interanual. Este factor puede estar relacionado con años más o menos lluviosos.

Las bajas salinidades superficiales y las mayores salinidades profundas originan una haloclina subsuperficial de intensidad variable, entre los 25 y 50 m. Ella fue más frecuente en la zona de canales internos, producto de las menores salinidades superficiales de éstos. La presencia de haloclina generó una estructura de dos capas, la que fue más notoria en el seno Aysén. Sin embargo, hay situaciones en que esta haloclina estuvo ausente, como ocurrió en las estaciones oceánicas de la boca del Guafo en Cimar-Fiordo 4-2, donde no se presentaron las bajas salinidades superficiales (Fig. 7b).

En la capa profunda, bajo los 100 m, la distribución de salinidad desde la boca del Guafo hasta la constricción de Meninea en el canal Moraleda, parece relativamente estable en espacio y tiempo. En los diferentes cruceros analizados, independiente de la estación y del año, ésta fue superior a 33,5 psu, presentando una zona de máxima salinidad (>34,0) bajo los 150 m en la primera mitad de esta sección (Figs. 2b y 7b). Estos altos valores salinos, provenientes de la zona oceánica no logran pasar al sur de la constricción de Meninea por efectos topográficos.

En la cuenca sur, la situación fue diferente con respecto a la cuenca norte, ya que en ambos cruceros en la zona del seno Aysén se presentó una intensa haloclina superficial de unos 10 a 25 m de espesor a lo largo de todo el seno (Figs. 2b y 7 b). Esta haloclina es una característica permanente de esta zona; sin embargo, su intensidad es muy variable, debido a la fluctuación de los valores superficiales de salinidad en la cabeza. Es así como en el crucero Hudson el mínimo de salinidad fue de 4 psu (Silva *et al.*, 1995), en el Aysén 1 y 2 menor de 2 psu (Sievers y Prado, 1994), en Cimar-Fiordo 1 menor de 0,6 psu (Silva *et al.*, 1997) en Cimar-Fiordo 4-1 menor de 16 psu y Cimar Fiordo 4-2 menor de 10 psu. Estas diferencias parecen ser producto de la magnitud del caudal del río y la fase de la marea en el momento del muestreo.

En profundidad, desde los 75 m hasta el fondo (300 m), las salinidades de la cuenca sur tendieron a ser más uniformes con valores de alrededor de 31 a 32 psu, presentándose los valores más altos en el crucero de verano de 1999. Estos valores de salinidad en la zona profunda de la cuenca sur, parecen ser permanentes, ya que se han mantenido en los seis cruces realizados en la zona: Hudson (Silva *et al.*, 1995), Aysén 1 y 2 (Sievers & Prado, 1994) Cimar-Fiordo 1 (Silva *et al.*, 1997), Cimar-Fiordo 4-1 y Cimar-Fiordo 4-2.

Al comparar las zonas profundas de la cuenca al sur y norte de la constricción de Meninea, se observa que la cuenca sur es mucho más homogénea y menos salina que la cuenca norte (Figs. 2b, 5b, 7b y 10b). Al igual que en el caso de la temperatura, estas menores salinidades pueden ser explicadas en base al modelo de circulación vertical propuesto por Silva *et al.*, (1995), en el cual el agua del nivel de 30-60 m pasa al sur de la constricción de Meninea hundiéndose y llenándola de aguas con salinidades en un rango relativamente estrecho (31 a 32 psu). De este modo, y dependiendo de la salinidad de ese nivel, la cuenca sur se llenará con agua más o menos salina. Por el contrario, la parte profunda de la cuenca norte se llena con agua más salina (33,5 a 34,1 psu) que ingresa directamente desde la zona oceánica.

#### Oxígeno y pH

Tanto la distribución vertical de oxígeno disuelto como la de pH presentan características similares en profundidad. Esto se debe a que ambas variables se encuentran afectadas por procesos biogeoquímicos, como la fotosíntesis, y la respiración y remineralización. Ambos procesos producen cambios en la concentración de  $\text{CO}_2$ , alterando el equilibrio del tampón carbonato - bicarbonato y por lo tanto el pH. Debido a esta estrecha relación que existe entre estas dos variables, se analizarán en forma conjunta.

La tendencia general de las distribuciones verticales de oxígeno disuelto y pH, es a presentar las mayores concentraciones en la superficie y disminuir con la profundidad. Esto es el resultado, por una parte, del intercambio con la atmósfera y por otra de la fotosíntesis que ocurre en las capas superficiales aumentando el contenido de oxígeno disuelto, disminuyendo el  $\text{CO}_2$  y aumentando el pH. Este tipo de distribución fue observado en gran parte de la zona de estudio, a excepción de las estaciones inmediatamente al sur de Meninea (Est. 14 y 15) en

que los valores tendieron a mantenerse constantes en profundidad.

Al comparar los cruces, se observó que en primavera (Cimar-Fiordo 4-1), se presentaron valores superficiales de oxígeno disuelto y pH más altos que en verano (Cimar-Fiordo 4-2). Esto puede ser producto, por una parte a una mayor fotosíntesis y por otra a una mayor solubilidad del oxígeno, debido a las menores temperaturas y salinidades de primavera. Estos mayores valores son coincidentes con lo observado por Silva *et al.* (1998).

En la capa más profunda (>100 m) desde la zona de la boca del Guafo hasta la constricción de Meninea, tanto en primavera como en verano, la concentración de oxígeno disuelto fue similar y fluctuó entre 3,0 a 4,0  $\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$ , lo que indicaría cierta estabilidad de esta capa (Figs. 3a y 8a).

Bajo los 150 m se observó en primavera y en verano, la presencia de una capa de mínimo oxígeno disuelto (<3,0  $\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$ ) y bajo pH (<7,6). Esta capa de mínimo oxígeno también fue observada en el crucero Hudson (Silva *et al.*, 1995) y Cimar-Fiordo 1 (Silva *et al.*, 1998), mientras que la de pH sólo se observó en Cimar-Fiordo 1. La presencia de estas bajas concentraciones se explica, en parte, por advección desde la zona oceánica de aguas poco oxigenadas y más ácidas y por procesos de descomposición de materia orgánica proveniente de la capa superficial, además de una circulación más restringida en las micro cuencas que se forman en el canal Moraleda (Figs. 3a, 3b, 8a y 8b).

En la distribución horizontal subsuperficial (50 a 150 m) de oxígeno disuelto y pH en el seno Aysén, se observó que hacia la boca, las concentraciones son altas (4,5 - 5,5  $\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$ ; 7,7 pH) mientras que hacia la cabeza éstas son bajas (2,5 - 3,5  $\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$ ; 7,4 pH), (Figs. 3a, 3b, 8a y 8b), lo que genera un gradiente horizontal de 0,1  $\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{mn}^{-1}$  y 0,01  $\text{pH}\cdot\text{mn}^{-1}$  respectivamente. Éste se puede explicar en función de la circulación y de los procesos biogeoquímicos que aquí ocurren.

De acuerdo con el modelo propuesto por Silva *et al.* (1995), en la zona de la cabeza del Aysén, el agua ingresa desde la zona del canal Moraleda por sobre la constricción de Meninea, renovándose semestralmente (Guzmán, 2000). De allí que el agua en esta zona es relativamente bien oxigenada y de pH comparativamente alto en toda la columna de agua.

En la medida que el agua se desplaza hacia el interior del seno, el oxígeno disuelto y el pH van disminuyendo, de modo que en la cabeza del seno Aysén, se observaron las más bajas concentraciones de oxígeno disuelto ( $\approx 2,5 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ ) y más bajos pH ( $< 7,5$ ) en ambos cruceros (Figs. 3a, 3b, 8a y 8b). En primavera, estas bajas concentraciones se centraron alrededor de los 100 m. En verano este núcleo de mínimo oxígeno fue más superficial centrado a los 50 m.

En la cabeza de este fiordo, existe una fuerte estratificación de densidad debido al aporte de agua dulce por el río Aysén, la que a su vez dificulta la difusión vertical del oxígeno disuelto desde la capa superficial hacia la capa profunda, disminuyendo la ventilación. Guzmán (2000) calculó que el tiempo de renovación de las aguas de la zona de la cabeza del Aysén, es de dos años, lo cual favorecería el consumo de oxígeno disuelto por mayor permanencia del agua en la microcuenca.

Esta característica es un rasgo permanente del Aysén, ya que también fue observada en los cruceros primavera y verano anteriormente realizados: Hudson (Silva *et al.*, 1995), Aysén I y II (Sievers & Prado, 1994) y Cimar-Fiordo 1 (Silva *et al.*, 1998). Siendo el crucero de verano de 1999 aquel que presentara los valores más bajos (aproximadamente  $2,0 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$  y pH 7,35).

#### Compuestos micronutrientes

Los micronutrientes en la capa superficial suelen ser bajos, debido al consumo por parte del fitoplancton que vive en ella. En el caso de los estuarios, se añade el efecto de la dilución con aguas dulces de bajo contenido de nutrientes proveniente de la lluvia y ríos (de  $0,11 \mu\text{M}$  para fosfato y  $0,05 \mu\text{M}$  para nitrato, promedio de los ríos de la zona). Producto de lo anterior, la distribución vertical de micronutrientes (nitrato y fosfato) presentó, en general, una estructura de dos capas: una superior de baja concentración de nutrientes de unos 20 m de espesor y otra más profunda, con mayores concentraciones de nutrientes, producto de la presencia de aguas marinas más ricas en nutrientes.

En la capa superficial (i.e. 10 m), en gran parte de la zona de estudio, el crucero de primavera (1998) presentó concentraciones de nutrientes inferiores al de verano (1999), con diferencias de  $0,4 \mu\text{M}$  para fosfato y  $4 \mu\text{M}$  para nitrato (Figs. 4a, 4b, 9a y 9b). La explicación de estas menores concentraciones invernales pareciera estar en la mayor proporción de agua

dulce en la mezcla, lo que se infiere de los menores valores de salinidad de este crucero que en el de verano. En el caso del crucero Cimar-Fiordo 1 (primavera 1995), (Silva *et al.*, 1997), la distribución de salinidad y nutrientes de la capa superficial fue similar a lo obtenido en Cimar-Fiordo 4-1 (primavera de 1998). Pese a la similitud indicada, esto no puede tomarse como una relación directa, ya que como se dijo anteriormente, el plancton es otro factor que altera la concentración de los nutrientes y este no ha sido considerado en este trabajo. De hecho, Silva *et al.*, (1997) no obtuvieron una buena relación al correlacionar linealmente las concentraciones de nitrato y fosfato versus la salinidad y propusieron como explicación a la falta de linealidad el consumo de nutrientes por parte del fitoplancton. Por otra parte, los múltiples aportes de agua dulce a los largos del trayecto entre la cabeza del Aysén y el océano, también pueden alterar la conservatividad de la mezcla.

Bajo la capa superficial, los nutrientes aumentaron rápidamente con la profundidad, lo que dio origen a la fosfatoclina y nitratoclina centrada a unos 25 m en el crucero de primavera (Figs. 4a, 4b, 9a y 9b). En el caso del crucero de verano, la fosfatoclina sólo se apreció en la cabeza del seno Aysén, no presentándose en el resto del crucero. Por el contrario, la nitratoclina estuvo presente en el crucero de verano, aunque con menor intensidad que en primavera.

La capa profunda bajo los 150 m de la zona boca del Guafo - canal Moraleda, hasta el norte de Meninea, se presentó con altos valores, con menor variabilidad que la capa superior. La presencia de estas altas concentraciones se explican en base a la existencia de procesos de descomposición de materia orgánica proveniente de la capa superficial y al efecto del ingreso de aguas ricas en nutrientes desde la zona oceánica, las que corresponden a remanentes del Agua Ecuatorial Subsuperficial (Silva *et al.*, 1997).

Al igual que en el caso del oxígeno disuelto y el pH, una de las características más interesantes en la distribución horizontal subsuperficial (50 a 150 m) del fosfato y nitrato, es la que se presenta en el seno Aysén. En ella se observó que hacia la boca, las concentraciones son comparativamente bajas ( $\approx 1,6 \mu\text{M}$  en fosfato y  $16 \mu\text{M}$  en nitrato) mientras que hacia la cabeza, éstas son más altas ( $\approx 2 \mu\text{M}$  en fosfato y  $20 \mu\text{M}$  en nitrato), (Figs.

4a, 4b, 9a y 9b), lo que genera un gradiente horizontal de  $0,007 \mu\text{M HPO}_4^{2-} \cdot \text{m}^{-1}$  y  $0,07 \mu\text{M NO}_3^- \cdot \text{m}^{-1}$ . Este importante gradiente entre la boca y la cabeza se puede explicar en función de la circulación y de los procesos biogeoquímicos que aquí ocurren.

Como se dijo anteriormente, la boca del seno tendría una tasa de renovación semestral, mientras que la cabeza tendría una renovación bianual. Esto se refleja en que el agua en esta zona sea comparativamente de menor contenido de nutrientes, la cual posteriormente se desplaza hacia el interior del fiordo Aysén, como agua de fondo llenando la cuenca.

En la medida que el agua se desplaza hacia el interior del seno, los nutrientes van aumentando de modo que en la cabeza del seno Aysén, se observaron altas concentraciones de oxígeno disuelto ( $>1,8 \mu\text{M}$  para fosfato y  $>20 \mu\text{M}$  para nitrato) en ambos cruceros (Figs. 4a, 4b, 9a y 9b). En el crucero de primavera, estas altas concentraciones se centraron alrededor de los 100 m; sin embargo, en la etapa de verano este núcleo de nutrientes fue más superficial centrado a los 50 m.

Al igual que en el oxígeno disuelto y pH, una posible explicación de las altas concentraciones en las variables anteriores en la zona profunda de la cabeza del Aysén es la mineralización de la materia orgánica y la baja tasa de renovación lo que generaría los máximos observados de fosfato y nitrato.

Otra de las características notables de la zona de estudio, fueron las diferencias en las concentraciones de nutrientes entre la cuenca al norte y al sur de Meninea. Mientras que la cuenca sur tuvo concentraciones de nutrientes comparativamente más homogéneas y más bajas, la cuenca norte fue más heterogénea y rica en ellos, (Figs. 6a, 6b, 9a y 9b). Esta característica es un rasgo permanente del área, ya que también fue observado en el Cimar-Fiordo 1, (Silva *et al.*, 1997).

#### 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 con Silva y Neshyba (1979-1980), corresponden al Agua Superficial Subantártica (ASAA), remanentes del Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) y el Agua Inter-

media Antártica (AIAA) (Fig. 12). En el caso de la estación oceánica de ambas etapas del crucero Cimar-Fiordo 4 (Est. 1), que por su ubicación geográfica tuvo sólo 200 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 el fondo.

El ASAA se ubica en la capa superficial en la zona sur, extendiéndose hasta alrededor de los 150 m. De acuerdo con los datos del Atlas Oceanográfico de Chile (Rojas & Silva, 1996), la capa superficial frente a Chiloé se caracteriza por temperaturas moderadas ( $9^\circ\text{C}$  a  $14^\circ\text{C}$ ), salinidades relativamente bajas (33,0 a 34,4 psu), y alto contenido de oxígeno disuelto (6 a  $7 \text{ ml} \cdot \text{L}^{-1}$ ). Los nutrientes se caracterizan por valores de  $\approx 0,6$  a  $1,2 \mu\text{M}$  fosfato;  $\approx 1$  a  $11 \mu\text{M}$  nitrato y  $\approx 0$  a  $12 \mu\text{M}$  silicato (Silva *et al.*, 1998).

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 nutrientes y un mínimo en 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), de su mínimo en el contenido de oxígeno disuelto ( $\approx 3$  a  $4 \text{ ml} \cdot \text{L}^{-1}$ ) y de su máximo de nutrientes ( $\approx 2,1$  a  $2,3 \mu\text{M}$  fosfato;  $\approx 24$  a  $30 \mu\text{M}$  nitrato y  $\approx 14$  a  $16 \mu\text{M}$  silicato) (Silva *et al.*, 1998).

De acuerdo con Silva *et al.*, (1998) debido a lo desmembrado de la costa, a la dirección general sudeste de la Corriente Circumpolar Antártica que choca contra la costa y a 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 golfos interiores de la zona. En la medida que el ASAA se introduce por los canales, éste se va mezclando, en la capa superficial, con cantidades variables de Agua Dulce (AD), que a su vez ingresa a los canales producto de la abundante pluviosidad, del aporte fluvial y del derretimiento de los glaciares que existen en la zona, generándose un importante sistema estuarino.

Para el análisis de la intrusión de las masas de agua hacia el interior de los canales y su grado de mezcla con AD, al igual que lo hizo

Silva *et al.* (1995; 1998), se usó un método de seguimiento del "desplazamiento" de los respectivos T-S de cada estación de acuerdo con la posición del T-S de la estación oceánica en el triángulo de mezcla respectivo. Como el ASAA es una masa de agua de la capa superficial, su temperatura exhibe un ciclo anual producto de los cambios de radiación solar y, por lo tanto, fue necesario definir dos pares T-S tipo para ella, uno para la época de primavera temprana y otro para la época estival. Basándose en los datos mensuales de temperatura y salinidad del área (Rojas & Silva, 1996), se escogió, para la zona frente a la boca del Guafo, el par T-S 10,0 °C y 33,0 psu correspondiente a septiembre - octubre, y el par T-S 14,0 °C y 33,0 psu para marzo, meses en que se realizaron ambos cruceros.

La zona frente a la boca del Guafo, corresponde a aquella donde se estima que se encuentra el ASAA original que penetra hacia el interior de los canales y por lo tanto el agua que participará en la mezcla. Con respecto a los pares T-S tipo del AESS y AIAA, que corresponden a aguas más profundas que el ASAA no son afectados por los cambios anuales de la radiación solar, por ende se utilizaron los pares propuestos por Silva & Konow (1975), que corresponden a: AESS = 12,5 °C y 34,9 psu; AIAA = 3 °C y 34,0 psu.

Con los pares T-S antes indicados, se construyó un par de triángulos de mezcla (primavera y verano) y en éste se graficaron las estaciones más oceánicas (Est. 1) de los cruceros Cimar-Fiordo 4-1 y 4-2 (Fig. 12).

La selección de los valores T-S tipo de AD es más complicada, ya que si bien el AD aportada por los ríos tiene una salinidad prácticamente igual a 0-1 psu (ó 0 - 1g/kg), su temperatura depende principalmente de la ubicación geográfica de la fuente de agua que genera el río (*i.e.* precipitación líquida o sólida, deshielo de glaciares, hielos de ventisqueros) y período del año (verano, primavera). Por lo tanto, que las diversas fuentes de AD no necesariamente deben tener la misma temperatura en diferentes épocas y zonas. Por ejemplo, el seno Aysén tiene una hoya hidrográfica con tributarios asociados principalmente a aportes meteóricos (lluvia y nieve), mientras que el golfo Elefantes además de los aportes meteóricos, tiene aportes glaciares y ventisqueros asociados a Campo de Hielos Norte, de allí que es posible esperar un AD más fría en este último.

Al analizar la secuencia de gráficos T-S y los respectivos triángulos de mezcla desde la zona oceánica hasta la cabeza de los canales interiores, en ambas etapas del crucero Cimar-Fiordo 4 (Figs. 13, 14 y 15), se puede indicar que en las estaciones de la boca del Guafo (Est. 1 a 4), la mayor parte del diagrama T-S se ubicó dentro del triángulo ASAA - AESS - AIAA, debido a la escasa influencia del AD de los canales. En cuanto al AIAA, ésta no puede penetrar al interior de los canales por encontrarse por debajo del umbral de profundidad de la Boca del Guafo ( $\approx 180$  m).

A medida que las estaciones se fueron ubicando hacia el interior del canal Moraleda (Est. 5 a la 12), se observó que el diagrama T-S fue "saliendo" progresivamente del triángulo de mezcla hasta que en la estación 13, a la altura de la constricción de Meninea, se ubicó totalmente fuera de él. Este "desplazamiento" del diagrama T-S se debe a un aumento progresivo de la mezcla con aguas menos salinas proveniente de canales interiores. Por la baja profundidad de la constricción de Meninea sólo la porción superior de la columna de agua puede pasar al sur. Sin embargo, la proporción de agua dulce de la columna ha aumentado a un nivel tal, que el T-S deja de estar incluido en el triángulo de mezcla original, generándose ahora sólo una mezcla lineal entre el ASAA y el AD. Esto hace que el T-S vaya distanciándose cada vez más del triángulo de mezcla, en la medida que se acerca a la fuente de AD, alcanzando una separación máxima en la estación 27 en el golfo Elefantes y en la estación 21 en la cabeza del seno Aysén (Figs. 13, 14 y 15).

El que los diagramas T-S de las estaciones al sur de Meninea no estén incluidos en el triángulo de mezcla, es producto de que el agua con características ecuatoriales subsuperficiales (AESS), que es más profunda que el ASAA, es retenida por las bajas profundidades de la constricción ( $\approx 50$ -60 m). Debido a lo anterior, el agua que logra pasar a la cuenca al sur de Meninea, es sólo de características subantárticas que ha sufrido modificaciones por mezcla con aguas menos salinas provenientes del interior de los canales (Figs. 13, 14 y 15).

Como el agua de los 150 m superiores en el interior de los canales es principalmente de origen subantártico mezclada con cantidades variables de AD, Silva *et al.* (1998) propusieron utilizar el término Agua Subantártica Modificada (ASAAM), para identificar este cuerpo de agua subantártica. Propusieron además, que las aguas de la capa superficial con salinidades

mayores a 33,0 psu sean consideradas como ASAA propiamente tal y aguas entre 33,0 y 32,0 psu como ASAAM. Sin embargo, en el presente trabajo se consideró adecuado ampliar el rango del ASAAM a 31,0 psu, ya que aguas de estas características subantárticas modificadas son las que pasan por sobre la constricción de Meninea llenando parcialmente hacia el sur (canales Costa-Elefante) y hacia el este (seno Aysén) (Figs. 16a y 16b). Debido a lo anterior es que las aguas menores a 31,0 psu serían consideradas como estuarinas (AE) y el AD correspondería a las aguas menores de 2 psu.

La retención del AESS queda claramente indicado por el hecho de que las salinidades relativamente altas de esta agua en la zona (>33,9 psu), no penetran hacia la cuenca sur, ni tampoco lo hacen las bajas concentraciones de oxígeno disuelto (<3,5 ml·L<sup>-1</sup>), o las altas concentraciones de nutrientes (>2,4 μM fosfato; >24 μM nitrato). Estos valores, si bien alejados de los valores originales del AESS en la zona frente al Perú (34,9 psu; <0,25 ml·L<sup>-1</sup>; >2,6 μM fosfato y >32 μM nitrato, *vide* Silva y Konow 1975), aún permiten detectar remanentes de esta masa de agua en el interior del canal Moraleda (Figs. 16a y 16b).

Si se analizan los diagramas T-S de las estaciones al sur de Meninea, tanto hacia la cabeza del Aysén, como hacia el golfo Elefantes, se observa que éstos muestran una tendencia que permite inferir la temperatura del AD que está involucrada en la mezcla lineal entre AD y ASAA. Si se proyectan los valores T-S superficiales de las estaciones al sur de Meninea, hasta interceptar el eje de la salinidad en 0 psu (AD), se obtendrían las temperaturas tipo correspondientes para AD de las respectivas secciones y las cuales serían ≈11 °C para seno Aysén y ≈7 °C para golfo Elefantes en el Cimar-Fiordo 4-1 (primavera) y ≈15 °C para seno Aysén y ≈8 °C para golfo Elefantes en el Cimar-Fiordo 4-2 (verano). Silva *et al.* (1998), calcularon con el mismo procedimiento, una temperatura de 11 °C para el AD de primavera del Aysén, y de 7 °C para el golfo Elefantes. Esto confirma el valor para primavera y ejemplifica las variadas posibilidades del valor de temperatura que tiene el par T-S típico del AD según sea su origen (Figs. 13, 14 y 15).

Silva *et al.* (1995), mediante un análisis similar basado en los datos del crucero Hudson, propusieron un modelo esquemático de circulación general para la zona. Desde el punto de vista de las masas y cuerpos de

agua presentes en la zona, habría una delgada capa superficial (20-30 m) de agua de características estuarinas con baja salinidad que fluye hacia el mar. Bajo la capa superficial habría una capa intermedia (30 - 150 m), en que el ASAA ingresa desde la zona oceánica hacia el interior del Moraleda por la boca del Guafo, mezclándose en su porción superior con AD y aguas de características estuarinas, disminuyendo paulatinamente su salinidad para generar progresivamente cantidades variables de ASAAM. Bajo los 150 m y hasta el fondo, desde la zona oceánica ingresa AESS hacia el Moraleda. Cuando el ASAAM-ASAA-AESS llegan a la constricción de Meninea, el ASAA y AESS quedan retenidas en la cuenca norte, mientras que la porción entre los 30- 60 m logra pasar al sur y debido a su mayor densidad se hunde en la cuenca sur y llenándola en su porción inferior (i.e. >50 m) con agua de características ASAAM (Figs. 16a y 16b). Esta situación de distribución de masas y cuerpos de agua es lo que finalmente provoca que la porción profunda (>100 m) de la cuenca sur sea más cálida, oxigenada y menos salina y de menor contenido de nutrientes que la cuenca norte.

Los resultados de Cimar-Fiordo 4-1 y 4-2, muestran el mismo patrón de distribución de propiedades descritas para esta zona por Silva *et al.* (1995) con los datos del Hudson (verano 1970) y por Silva *et al.* (1998) para los datos de Cimar-Fiordo 1 (primavera 1995), lo cual indica que éste es una característica permanente del área.

## CONCLUSIONES

La distribución vertical de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH, nitrato y fosfato, indica la existencia de una estructura de dos capas, separadas por gradientes verticales de intensidad variable de acuerdo con el grado de influencia de los aportes oceánicos y fluviales. En la capa superficial se presenta una mayor variabilidad, mientras que la capa profunda, se caracteriza por ser más estable y en algunos casos cuasi homogénea.

Los ríos aportan aguas dulces a los estuarios y de bajo contenido de fosfato y nitrato, que provocan que sus aguas superficiales tengan bajas salinidades y sean pobres en nutrientes. Por el contrario, el océano adyacente aporta aguas saladas y más ricas en nutrientes.

Las bajas concentraciones de oxígeno disuelto y altas concentraciones de nutrientes de aguas profundas, próximas a la cabeza del seno Aysén, se deben, en parte, a la descomposición de materia orgánica y a la baja tasa de ventilación de ella, producto de una intensa haloclina superficial y a una lenta renovación de las aguas.

Las bajas concentraciones de oxígeno disuelto y altas concentraciones de nutrientes en la capa profunda de la boca del Guafo y canal Moraleda se deben a la intrusión de aguas oceánicas de origen ecuatorial subsuperficial.

Las masas de agua oceánicas presentes en la zona de los canales son el Agua Subantártica (ASAA) y Agua Ecuatorial Subsoperficial (AESS). Producto de la mezcla del ASAA con agua dulce (AD) proveniente de los ríos, se producen cuerpos de aguas con salinidades intermedias. Al agua con salinidad entre 33 y 31 psu se consideró como un cuerpo de agua Subantártica modificada (ASAAM) y a las aguas con salinidades menores como aguas Estuarinas (AE). Aguas con salinidades inferiores a 2 psu se consideraron como agua dulce (AD).

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a las siguientes instituciones y personas: Ministerio de Hacienda, Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA) y Comité Oceanográfico Nacional (CONA), por el financiamiento del presente estudio. A los Capitanes de Fragata Srs. Rodolfo Storaker y Gastón Lillo, oficiales y tripulación del buque oceanográfico AGOR "Vidal Gormaz" de la Armada de Chile y a los técnicos muestreadores que participaron en ambos cruceros. A la químico, Srta. María Angélica Varas S. por su dedicado trabajo en el análisis de las muestras. Este trabajo es parte de la Tesis de Título de Oceanógrafo de la Srta. Dafne Guzmán.

#### 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. Dept. 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, 88 pp.
- Calvete, C. 1997. Descripción de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y nutrientes inorgánicos, en la zona de canales australes de Chile, entre Puerto Montt y Laguna San Rafael en la primavera de 1995. Tesis para optar al Título de Oceanógrafo, Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso, 136 pp.
- Cameron, W. & D. Pritchard. 1963. Estuaries. En M. H. Hill (ed). The Sea. Vol. 2. New York: 306-324.
- Carpenter, J. 1965. The Chesapeake Bay Institute Technique for the Winkler dissolved oxygen method. Limnol. Oceanogr., 10: 141-143.
- DOE. 1994. Handbook of methods for the analysis of the various parameters of the carbon dioxide system in sea water; version 2. A.G. Dickson and C. Goyet. (eds) (unpublished manuscript).
- Guzmán, D. 2000. Caracterización física y química de los canales australes y estimación del tiempo de residencia y balance de sal, agua y nutrientes en el seno Aysén. Tesis para optar al título de Oceanógrafo, Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso, 68 pp.
- Pickard, G. 1971. Some physical oceanographic features of inlets of Chile. J. Fish. Bd. Canada, 28: 1077-1106.
- Pickard, G. 1973. Water structure in Chilen fjords. Oceanography of the South Pacific 1972, comp. R. Fraser, New Zeland 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 y 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-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-Fiordo 1). *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-Fiordo 1). *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. 1977. Corrientes superficiales frente a la costa austral de Chile. *Cienc. Tec. Mar, CONA*, 3: 37-42.
- Silva, N. & S. Neshyba. 1979. On the southernmost extension of the Perú-Chile undercurrent. *Deep-Sea Res.*, 26A: 1387-1393.
- 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: *Estuarine systems of the South American region: carbon, nitrogen and phosphorus fluxes.* Smith, S.V., V. Dupra, J. I. Marshall Crossland and C. J. Crossland Eds. LOICZ Reports and Studies N° 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". Ed. 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: *Chemistry and Biochemistry of Estuaries.* Ed. E. Olausson and I. Cato. John Wiley & Sons Ltd. New York. 252 pp.



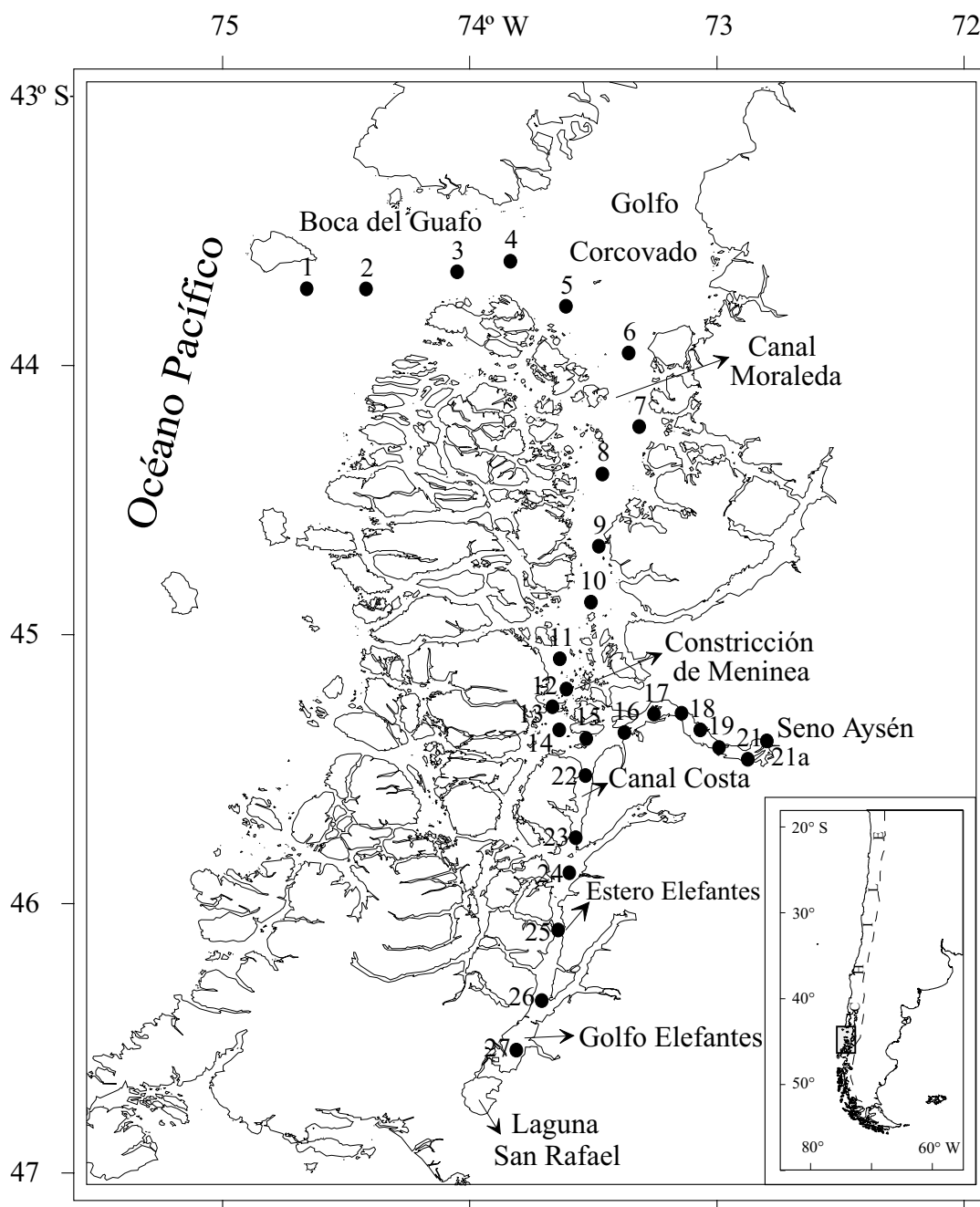


Fig. 1: Distribución de las estaciones oceanográficas realizadas durante el crucero Cimar-Fiordo 4.

Fig. 1: Distribution of oceanographic stations in Cimar-Fiordo 4 cruise.



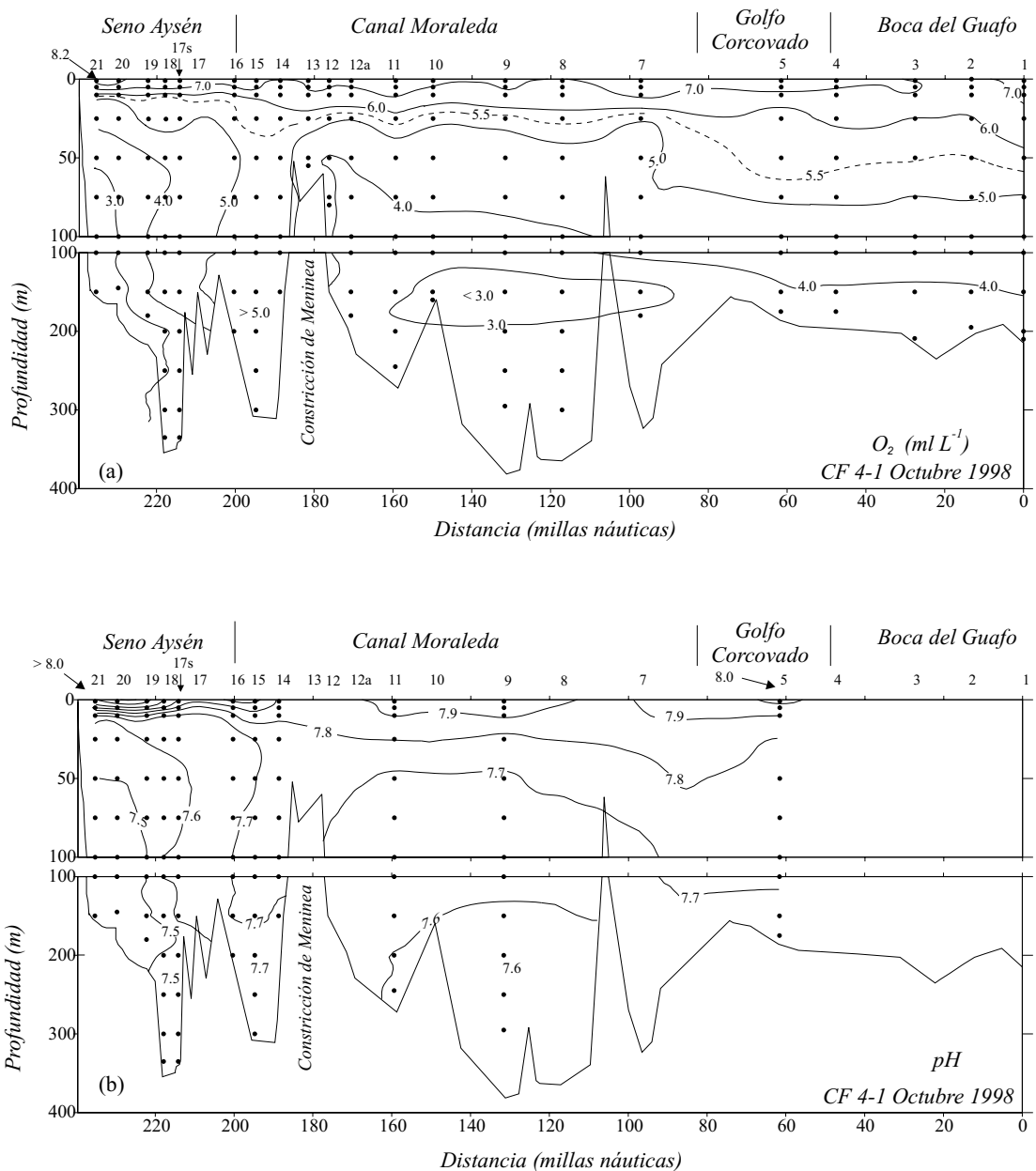


Fig. 3: Distribución vertical de (a) oxígeno disuelto y (b) pH, en la sección 1, durante la primera etapa del crucero Cimar-Fiordo 4.

Fig. 3: Vertical distribution of (a) dissolved oxygen and (b) pH, in section 1, during the first stage of Cimar-Fiordo 4 cruise.

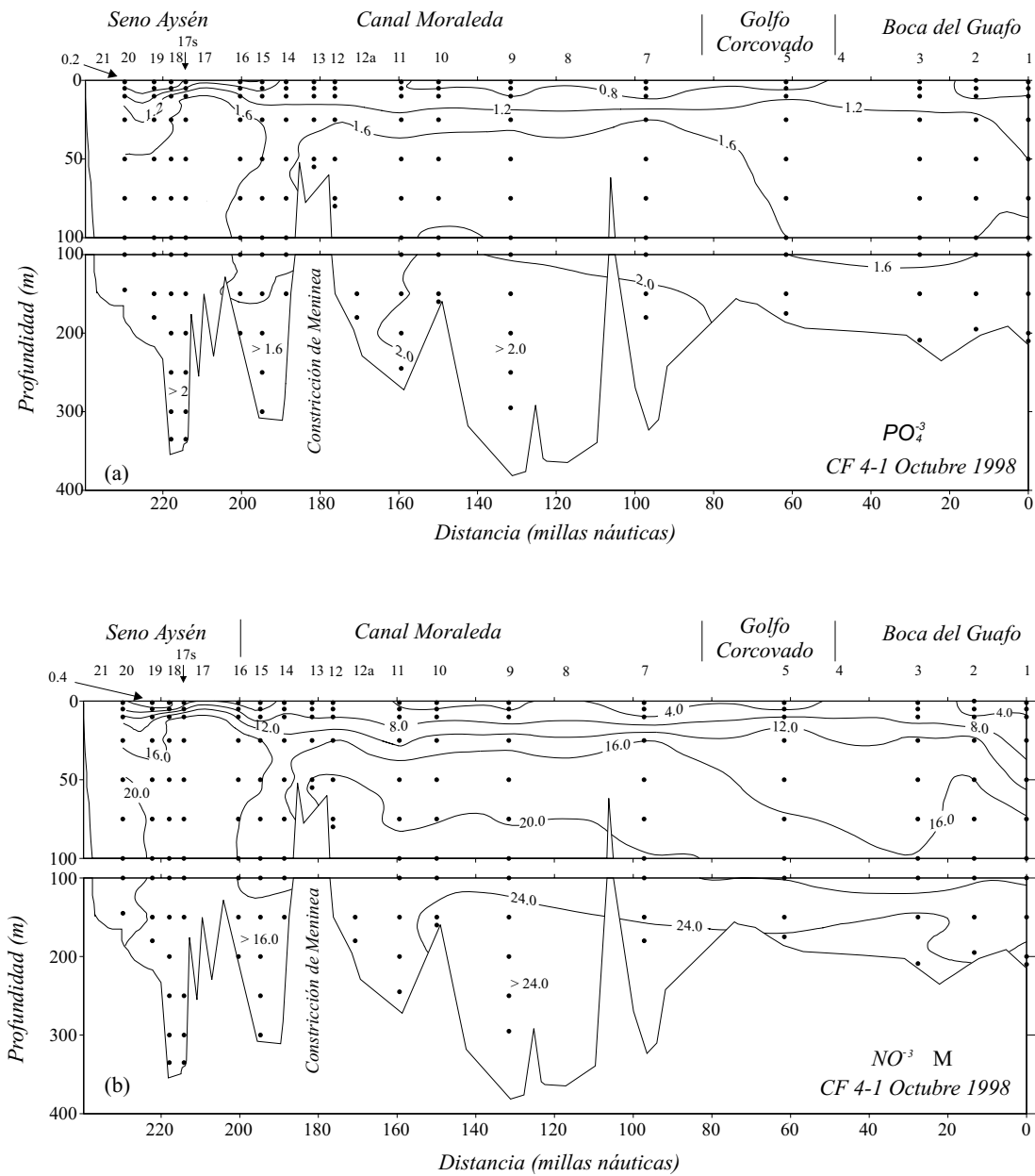


Fig. 4: Distribución vertical de (a) fosfato y (b) nitrato, en la sección 1, durante la primera etapa del crucero Cimar-Fiordo 4.

Fig. 4: Vertical distribution of (a) phosphate and (b) nitrate, in section 1, during the first stage of Cimar-Fiordo 4 cruise.

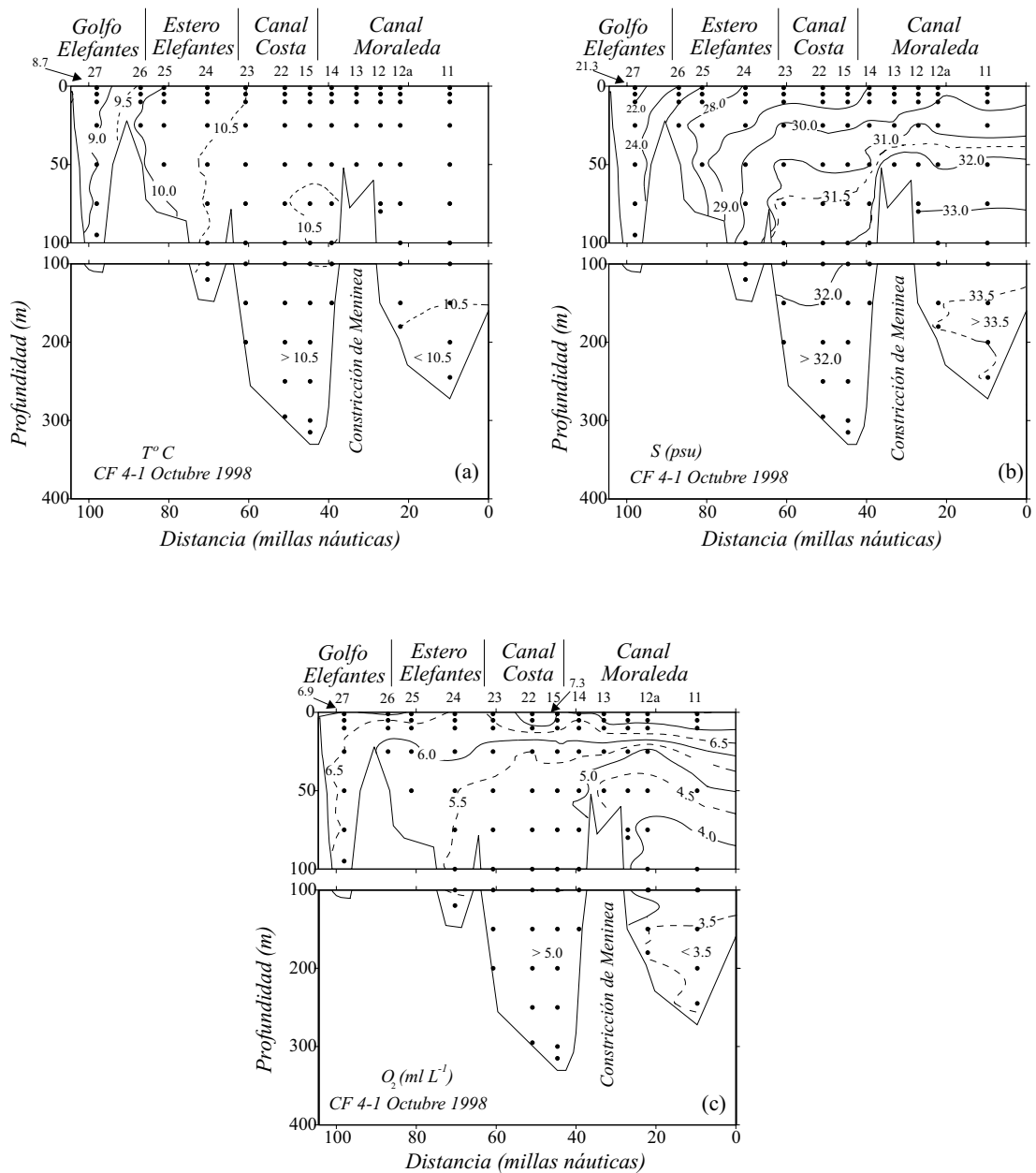


Fig. 5: Distribución vertical de (a) temperatura, (b) salinidad y (c) oxígeno disuelto en la sección 2, durante la primera etapa del crucero Cimar-Fiordo 4.

Fig. 5: Vertical distribution of (a) temperature, (b) salinity, and (c) dissolved oxygen in section 2, during the first stage of Cimar-Fiordo 4 cruise.

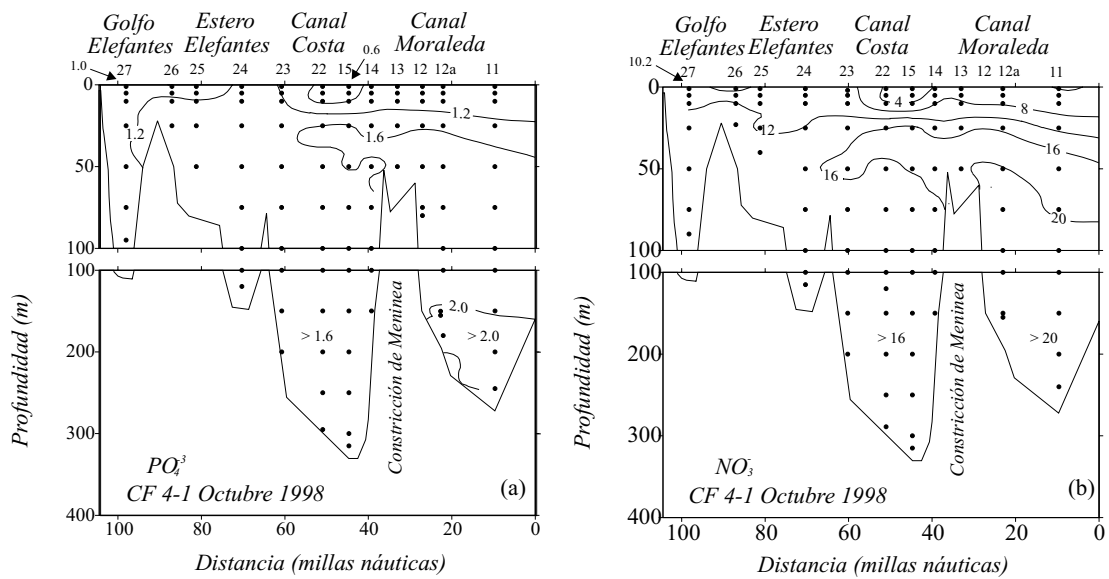


Fig. 6: Distribución vertical de (a) fosfato y (b) nitrato, en la sección 2, durante la primera etapa del crucero Cimar-Fiordo 4.

Fig. 6: Vertical distribution of (a) phosphate and (b) nitrate, in section 2, during the first stage of Cimar-Fiordo 4 cruise.

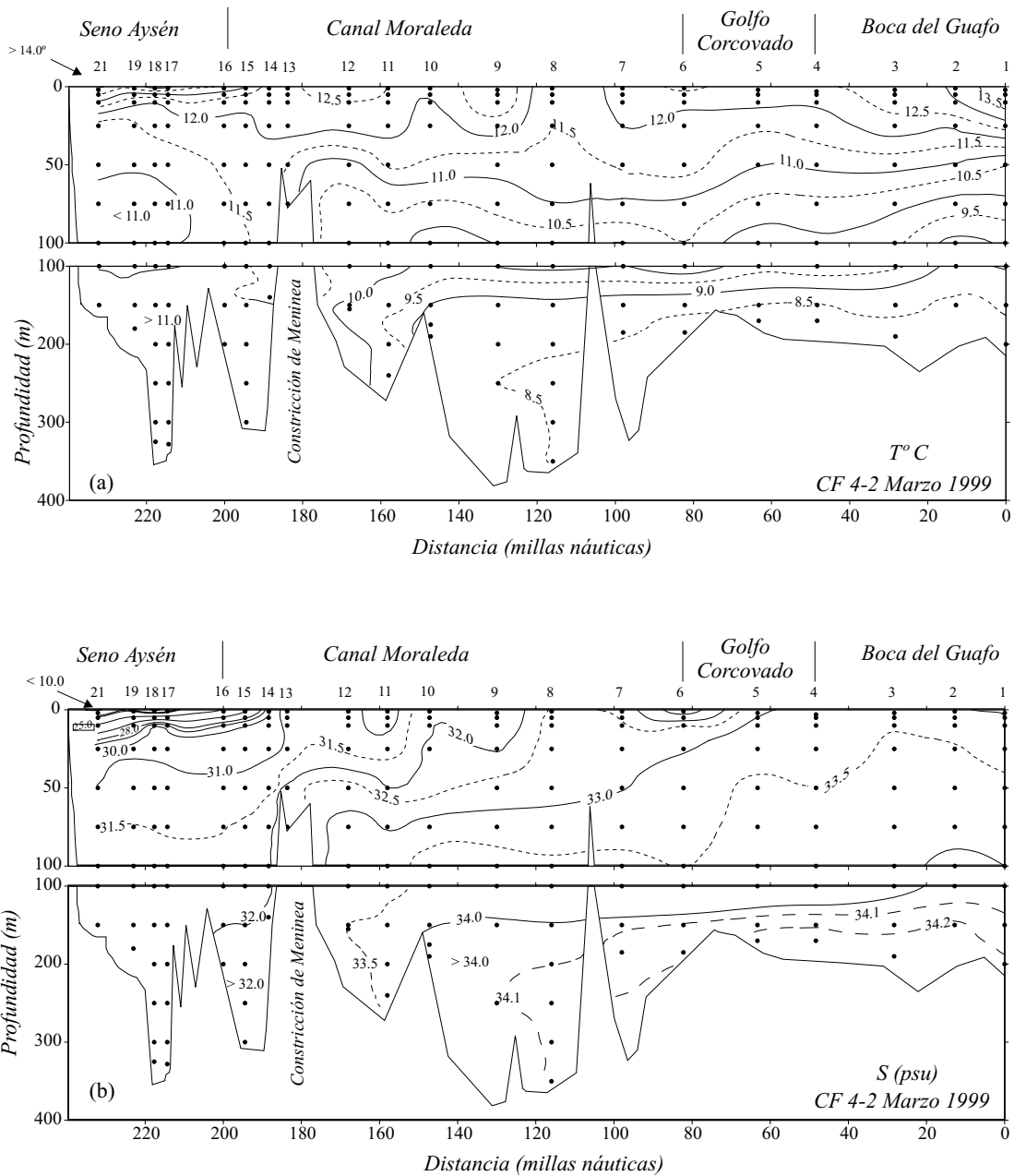


Fig. 7: Distribución vertical de (a) temperatura y (b) salinidad, en la sección 1, durante la segunda etapa del crucero Cimar-Fiordo 4.

Fig. 7: Vertical distribution of (a) temperature and (b) salinity, in section 1, during the second stage of Cimar-Fiordo 4 cruise.

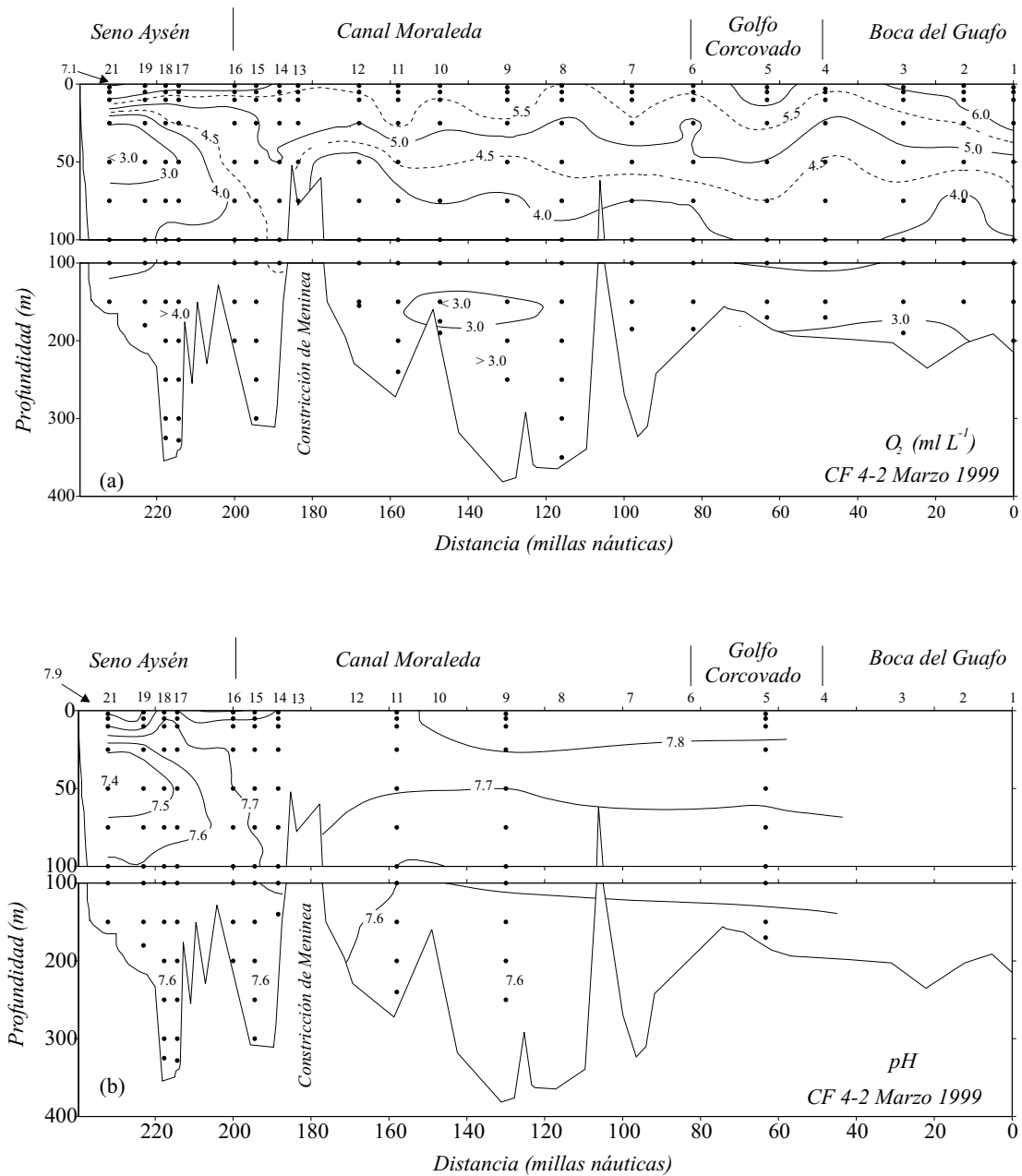


Fig. 8: Distribución vertical de (a) oxígeno disuelto y (b) pH, en la sección 1, durante la segunda etapa del crucero Cimar-Fiordo 4.

Fig. 8: Vertical distribution of (a) dissolved oxygen and (b) pH, in section 1, during the second stage of Cimar-Fiordo 4 cruise.



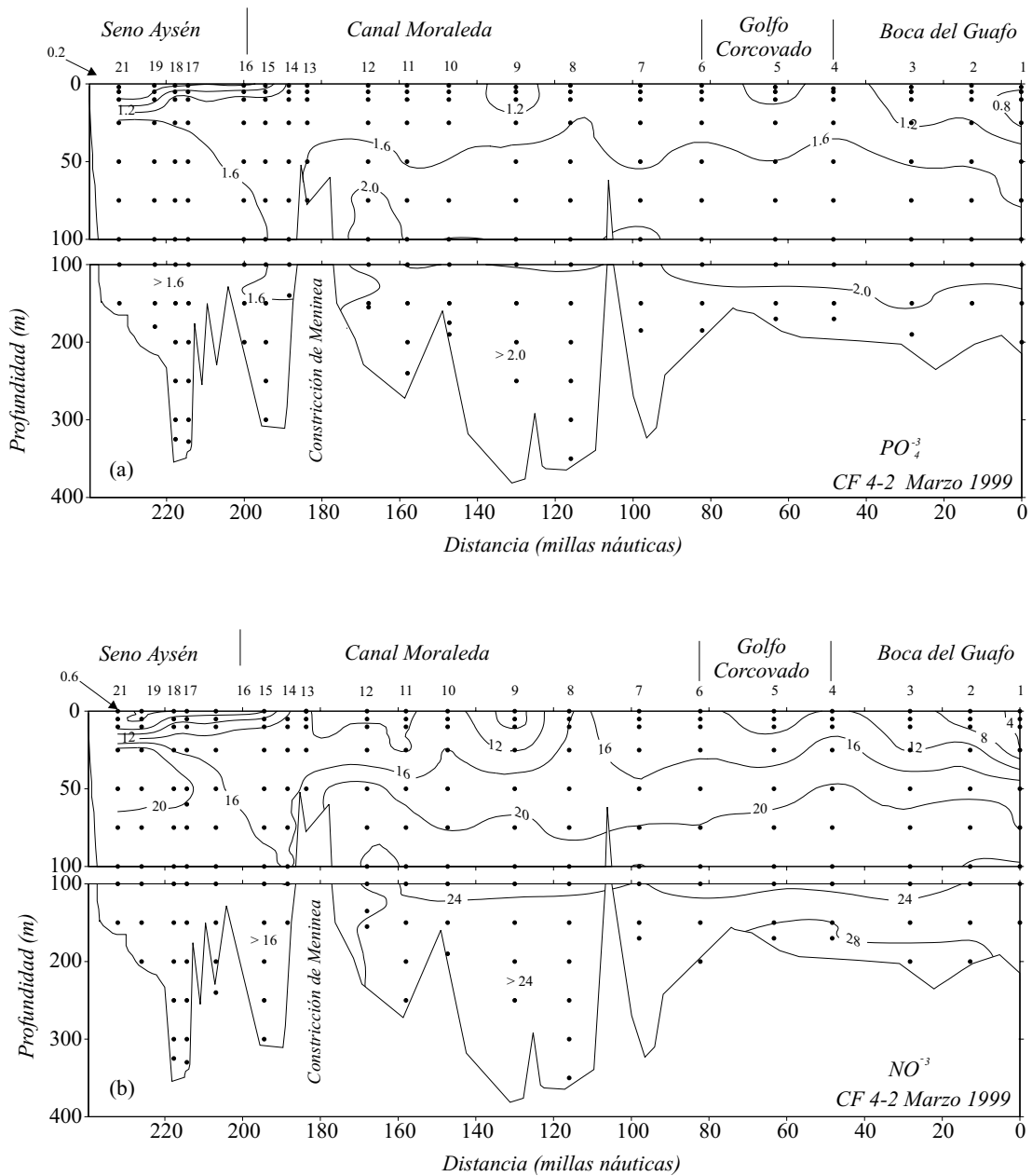


Fig. 9: Distribución vertical de (a) fosfato y (b) nitrato, en la sección 1, durante la segunda etapa del crucero Cimar-Fiordo 4.  
 Fig. 9: Vertical distribution of (a) phosphate and (b) nitrate, in section 1, during the second stage of Cimar-Fiordo 4 cruise.

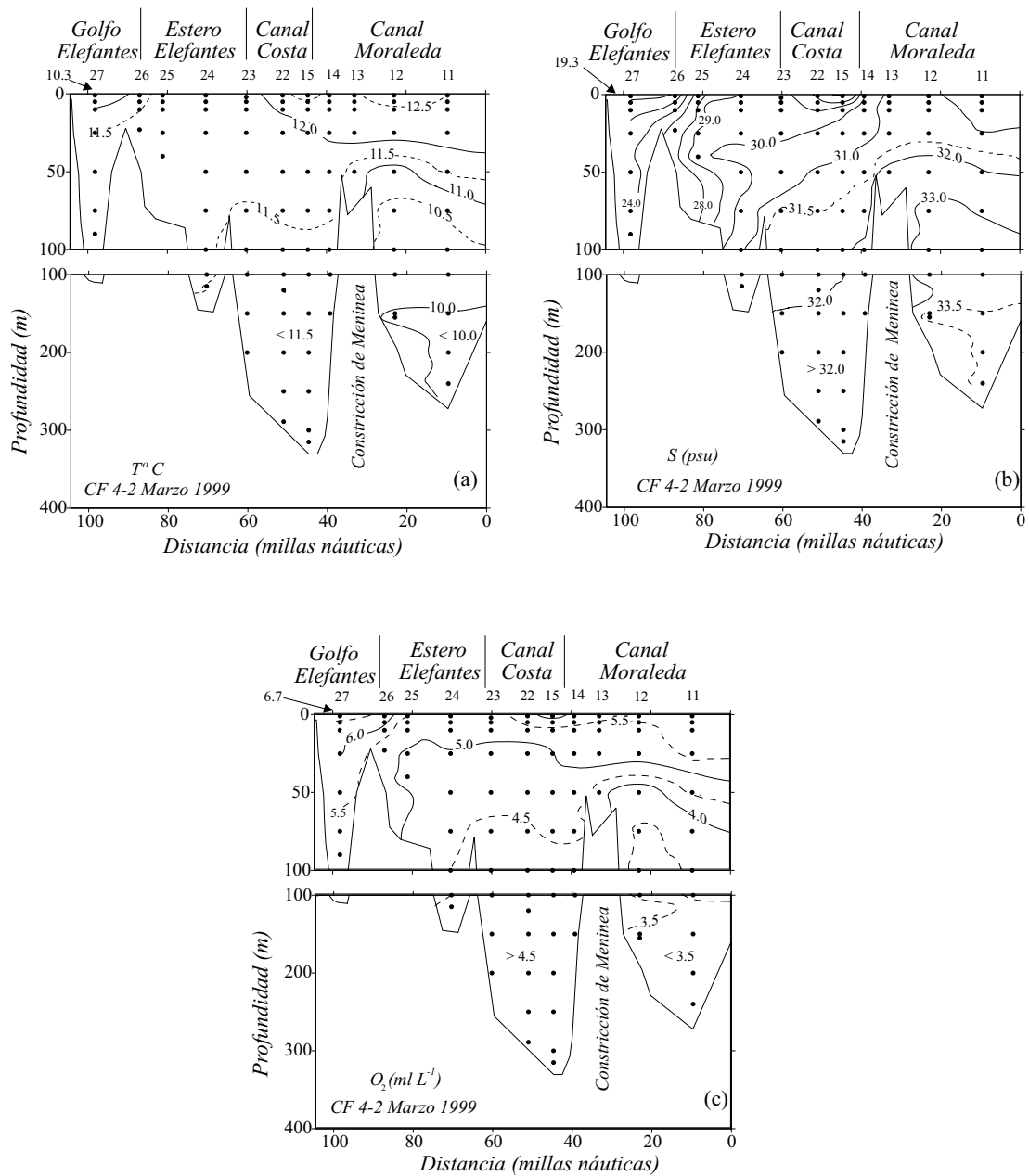


Fig. 10: Distribución vertical de (a) temperatura, (b) salinidad y (c) oxígeno disuelto en la sección 2, durante la segunda etapa del crucero Cimar-Fiordo 4.

Fig. 10. Vertical distribution of (a) temperature, (b) salinity and (c) dissolved oxygen in section 2, during the second stage of Cimar-Fiordo 4 cruise.

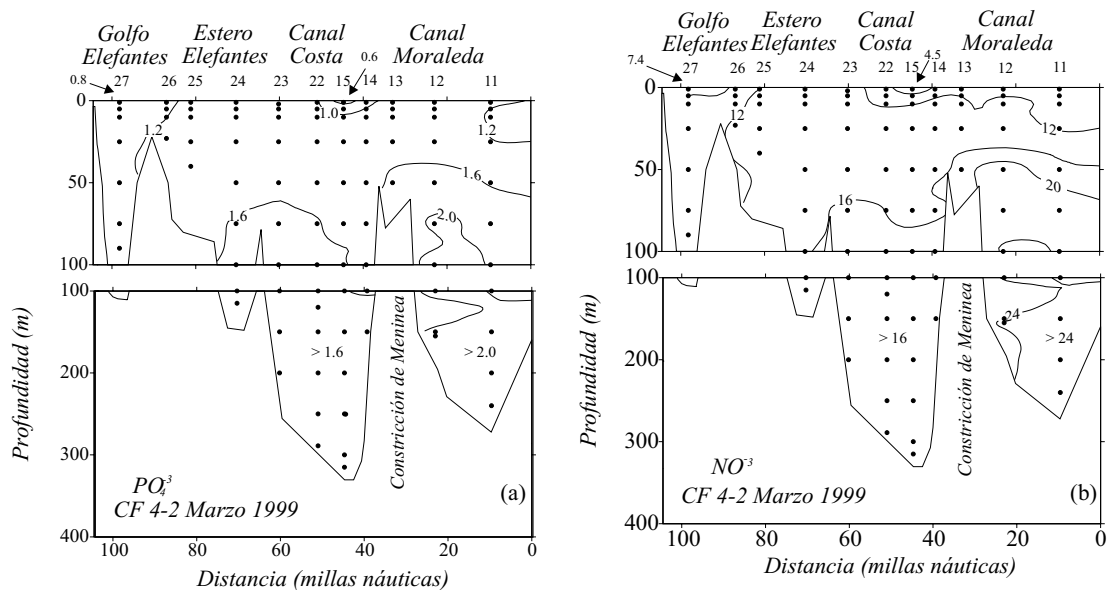


Fig. 11: Distribución vertical de (a) fosfato y (b) nitrato, en la sección 2, durante la segunda etapa del crucero Cimar-Fiordo 4.

Fig. 11: Vertical distribution of (a) phosphate and (b) nitrate, in section 2, during the second stage of Cimar-Fiordo 4 cruise.

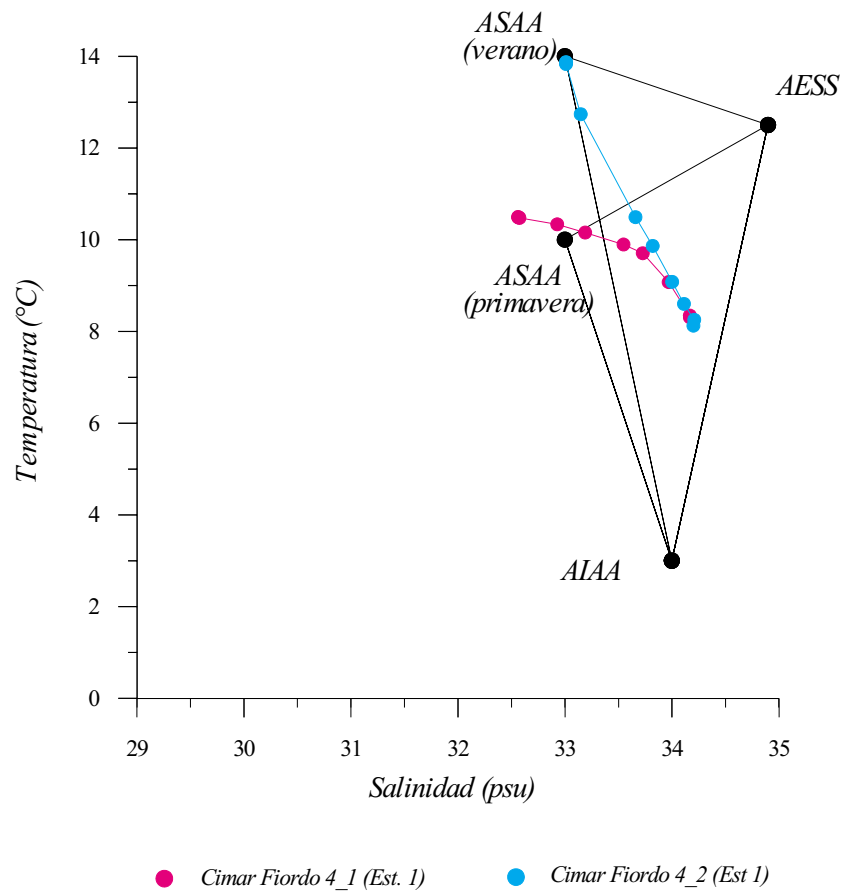


Fig. 12: Diagrama T-S de los cruceros Cimar-Fiordo 4-1y 4-2 (Est. 1) en la boca del Guafo. ASAA = Agua Subantártica; AESS = Agua Ecuatorial Subsuperficial y AIAA = Agua Intermedia Antártica.

Fig. 12: T-S diagram for Cimar-Fiordo 4-1 and 4-2 cruises (station 1) at Boca del Guafo. ASAA = Subantarctic Water; AESS = Equatorial Subsurface Water and AIAA = Antarctic Intermediate Water.

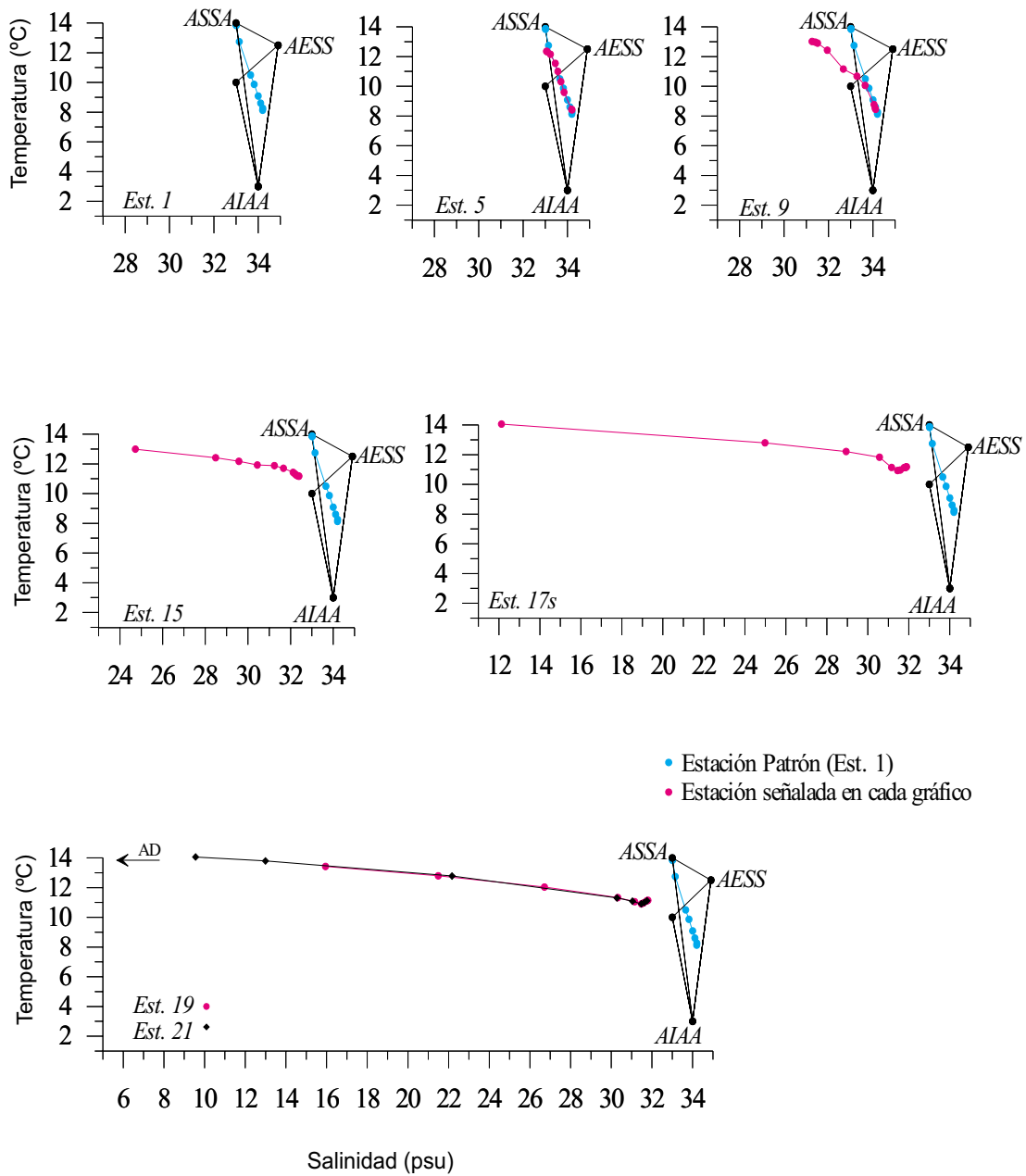


Fig. 13: Secuencia de diagrama T-S y sus respectivos triángulos de mezcla a medida para estaciones seleccionadas de la boca del Guafo - canal Moraleda – canal Costa - seno Aysén, durante la primera etapa de Cimar-Fiordo 4.

Fig. 13: Succession of T-S diagrams and corresponding mixing triangles for selected stations in the section extending from boca del Guafo, Moraleda channel, Costa channel to Aysén sound, during first stage of Cimar-Fiordo 4 Cruise.

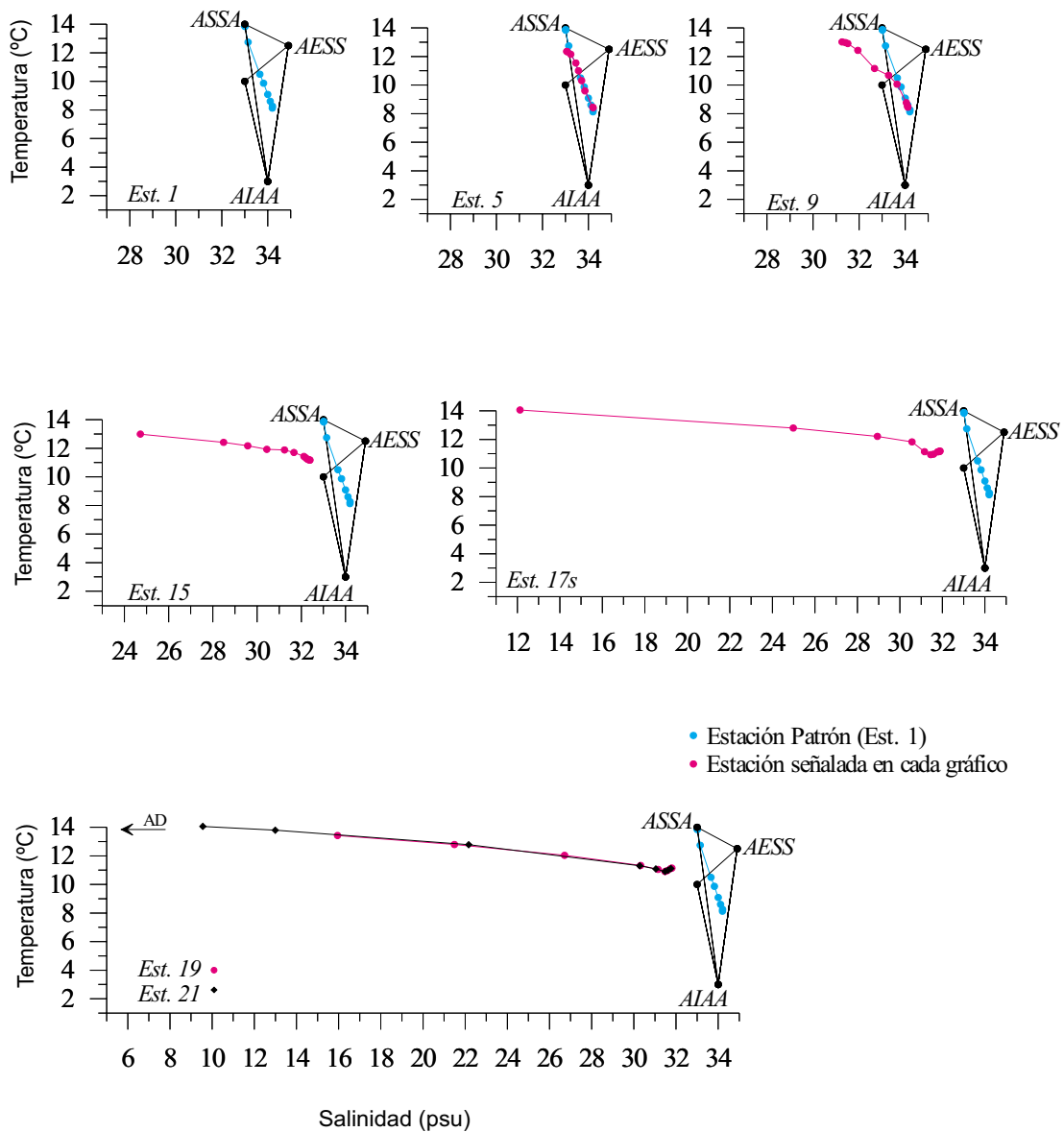


Fig. 14: Secuencia de diagrama T-S y sus respectivos triángulos de mezcla a medida para estaciones seleccionadas de la boca del Guafo - canal Moraleda - canal Costa - seno Aysén, durante la segunda etapa de Cimar-Fiordo 4.

Fig. 14: Succession of T-S diagrams and corresponding mixing triangles for selected stations in the section extending between the open through boca del Guafo, Moraleda channel, Costa channel and Aysén sound, during second stage of Cimar-Fiordo 4 cruise.

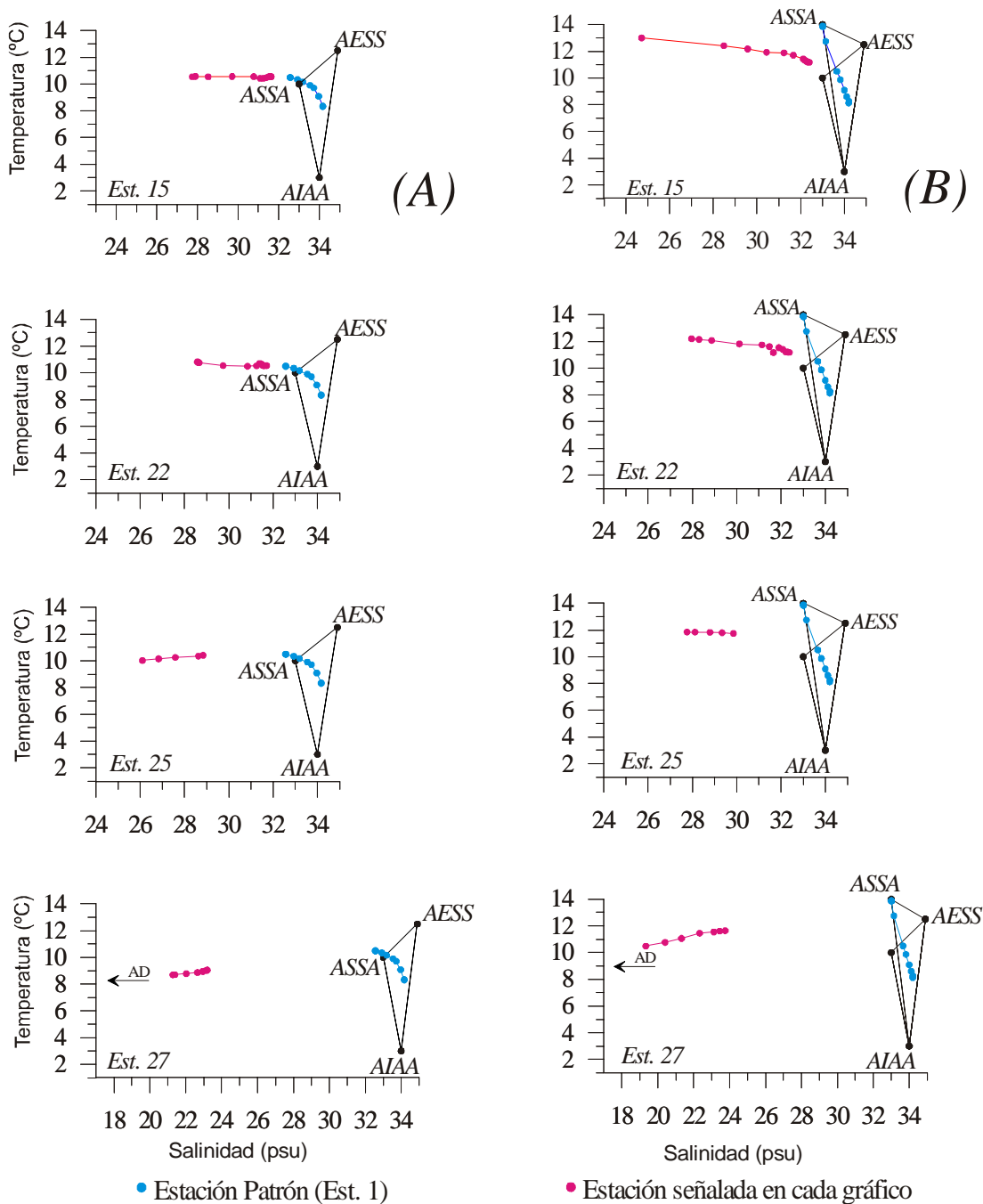


Fig. 15: Secuencia de diagrama T-S y sus respectivos triángulos de mezcla para estaciones seleccionadas del canal Moraleda, canal Costa, estero Elefantes y golfo Elefantes, durante el crucero Cimar-Fiordo 4, (a) etapa 1 y (b) etapa 2. AD = Agua Dulce.

Fig. 15: Sucesión de T-S diagrams and corresponding mixing triangles for selected stations in the section extending between the open ocean through Boca del Guafo, Moraleda channel, Costa channel, and Golfo Elefantes, during Cimar-Fiordo 4 cruise, (a) stage 1 and (b) stage 2. AD = Fresh Water.

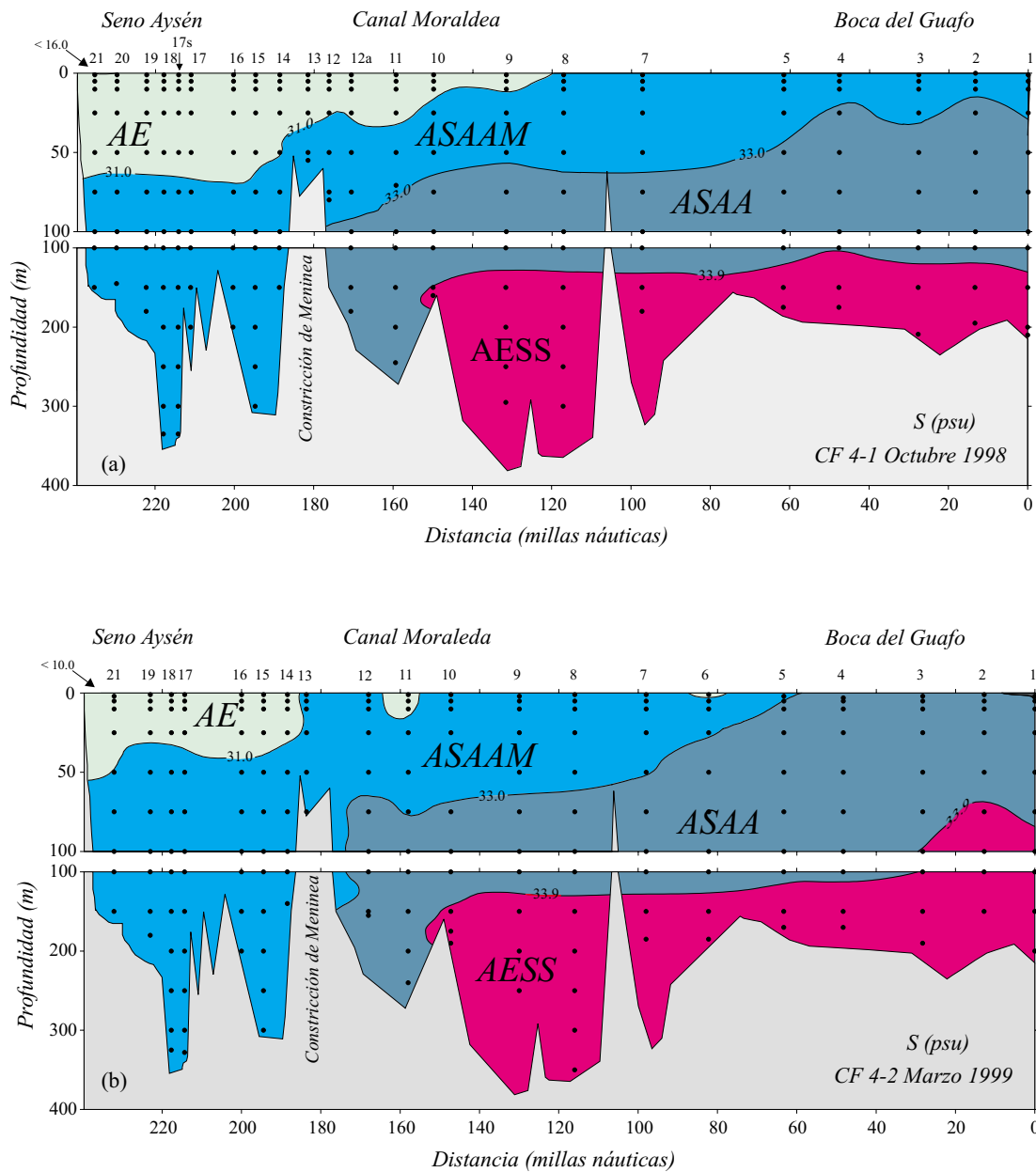


Fig. 16: Masas de agua presentes en la zona de estudio (boca del Guafo - canal Moraleda - canal Costa - seno Aysén), durante el Crucero Cimar-Fiordo 4: (a) primera etapa y (b) segunda etapa, separada en base a los valores salinidad. ASAA = Agua Subantártica; ASAAM = Agua Subantártica Modificada; AESS = Agua Ecuatorial Subsuperficial y AE = Agua Estuarina.

Fig. 16: Water masses in study area (boca del Guafo - canal Moraleda - canal Costa - seno Aysén), in Cimar-Fiordo 4 cruise: (a) first stage and (b) second stage. Separation was done based on their salinity values. ASAA = Subantarctic water; ASAAM = Modified Subantarctic water; AESS = Equatorial Subsurface Water and AE = Estuarine Water.