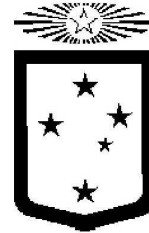




**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA  
DE VALPARAISO  
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**



**UNIVERSIDAD DE VALPARAISO  
CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR**

## **MAGISTER EN OCEANOGRAFIA**

**TESIS**

### **Caracterización Hidrográfica, Oceanográfica y Balance de Nitrógeno y Fósforo del Fiordo Aysén**

**DAFNE CAROLA GUZMÁN ZÚÑIGA**

**Valparaíso, 2004**

## RESUMEN

La zona de estudio corresponde al fiordo Aysén que se ubica entre los 45°12' - 45°25'S y 72°50' - 73°30'W, Provincia de Aysén, XI Región. Los datos utilizados, fueron obtenidos en 10 expediciones oceanográficas, 5 de ellas realizadas por la Universidad de Valparaíso (cruceos Aysén) desde 1991 a 1992 y las otras 5 restantes organizadas por el Comité Oceanográfico Nacional (Cruceos Cimar Fiordos) desde 1995 al 2001.

En cada uno de los cruceos se registró la temperatura y la salinidad, y se tomaron muestras de agua para el análisis de oxígeno disuelto, y nutrientes (fosfato y nitrato), al interior del fiordo Aysén. Con la información así obtenida se prepararon secciones verticales para cada una de las características antes mencionadas, realizándose un análisis del efecto estacional. Además de lo anterior, se aplicó un modelo de cajas para establecer el balance de sal y agua a fin de estimar el tiempo de renovación de las aguas y el balance del nitrógeno y fósforo disueltos en el fiordo Aysén.

Los aportes y salidas de agua dulce al sistema, fueron obtenidas mediante series históricas proporcionadas por la Dirección General de Agua (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP). Con esta información fueron construidas gráficas de precipitación, evaporación y caudales de ríos, para explicar la estacionalidad de aportes y pérdidas de agua.

Producto de las características topográficas de la zona, además de la presencia de gradientes verticales de salinidad, el fiordo Aysén fue dividido en tres zonas, quedando un tercio situado en la cabeza del fiordo (siendo relativamente somera, menor a 100 m, más afectada por los ríos Aysén y Cóndor), otro tercio en la parte media (ligeramente profunda, mayor 300 m, afectada por el río Cuervo) y un tercer tercio situado en la boca del fiordo, (con profundidades del orden de 250 m), el cual se conecta al canal Moraleda, y este a su vez al océano adyacente.

La distribución vertical de las variables oceanográficas, confirma la permanencia y extensión de la estructura de dos capas a lo largo de las estaciones del año. La capa superficial se caracteriza por ser más inestable y heterogénea (máximos o mínimos) mientras que la capa profunda, se caracteriza por ser más estable, incluso, en algunos casos casi homogéneo.

La caja 1, que corresponde a la zona cercana a la cabeza del fiordo y por ende más protegida, presenta una tasa de renovación promedio (o tiempo de residencia medio) de 7 días por km<sup>3</sup> de agua, lo que explica, en parte, la presencia de bajos valores de oxígeno disuelto en la zona profunda de la cabeza del fiordo Aysén.

La caja 2, ubicada al oeste de la caja 1, denominada zona de transición entre la caja protegida (caja 1) y la caja expuesta (caja 3), presenta una tasa de renovación promedio de 3,2 días por km<sup>3</sup> de agua.

Las aguas de la caja 3 ubicado en la boca del fiordo, tiene una renovación de sus características oceanográficas de 2,2 días por km<sup>3</sup> de agua, producto de la conexión existente hacia la zona de los canales, que permite una mejor ventilación en este sistema.

El desbalance de nitrógeno mostrado por la aplicación del modelo de cajas permitió inferir que la capa superficial del fiordo en general presentaron una condición de fijación de nitrógeno, mientras que la capa profunda se infirió una condición de denitrificación, indicando un consumo de nitrato.

El resultado del balance de nutrientes total de cada caja dio un balance favorable a la denitrificación. Lo cual se atribuyó al efecto de acumulación de sedimentos aportados por los ríos, generándose una zona rica en materia orgánica (> 10 % MOT) y la baja circulación que presenta el sistema.

## INTRODUCCION

La región austral de Chile posee un vasto sistema de aguas interiores sujeta en gran medida a régimen estuarino, que se extiende desde los 42° 30' S a los 55° 30'S y esta constituido por numerosas islas, canales, fiordos y golfos. En esta zona se presentan diferencias latitudinales en las características oceanográficas por lo que Pickard (1971) propuso una subdivisión en tres regiones: norte, central y sur.

En la región norte de este sistema se han efectuado varias expediciones oceanográficas, cuyos resultados permitieron inferir el ingreso de aguas oceánicas de origen subantártico hacia el interior de los canales, las que se mezclan en proporciones crecientes con agua dulce, provenientes de precipitaciones directas en la zona y de aportes fluviales a medida que penetran hacia el continente (Silva *et al.* 1995; 1997 y 1998).

Estos y otros autores, también han caracterizado las condiciones oceanográficas (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes) del área (Brattström y Dahl, 1951), Pickard (1971; 1973), Pickard & Stanton (1980), Sievers & Prado (1994), Silva *et al.* (1995; 1997; 1998) y Guzmán & Silva (2002). De estos resultados se puede destacar la descripción de diversas estructuras verticales las cuales fueron asociadas a los diferentes forzantes y los procesos que las generan y el establecimiento de un modelo conceptual sobre la circulación de la zona.

De las diferentes zonas de la región norte, el fiordo Aysén es donde se han realizado la mayor parte de los estudios oceanográficos. La dinámica de este fiordo esta fuertemente influenciada por el caudal de los ríos, observándose fuertes gradientes salinos, verticales y horizontales. Como se dijo anteriormente, la mayoría de los trabajos en esta zona se enfocaron a describir las distribuciones verticales y horizontales de propiedades físicas y químicas y presenta modelos conceptuales sobre la circulación estuarina.

Silva *et al.* (1998) y Guzmán (2000), efectuaron un estudio del fiordo mediante balances de agua, sal y nutrientes, estableciendo tiempos de residencias de las aguas y balance geoquímico de nutrientes en el sistema, mediante un modelo de cajas, efectuándose una primera aproximación a la cuantificación de los forzantes y procesos identificados.

En el fiordo Aysén, como en la mayoría de los estuarios, el agua dulce fluye desde la tierra hacia el, ganando agua desde la precipitación y perdiéndola por evaporación. Si se asume que el volumen remanente del sistema es constante, en base a un promedio de mediano plazo, no considerando variaciones periódicas de corto plazo como las mareas, el viento, aceleraciones advectivas, fricción de fondo y lateral que sean importantes (Klinck *et al.*, 1981), el volumen neto que sale del sistema es balanceado por el volumen que entra, lo cual implica que éste estaría en equilibrio dinámico. Además de este balance de volumen, es posible establecer también un balance de sal en base a los ingresos y salidas de está en conjunto con el agua.

Los modelos de caja son apropiados para modelar cuerpos de agua costeros conectados al océano donde existan gradientes de sal, lo que permite estimar el caudal de ella. La tasa de intercambio del agua entre el sistema de interés y otros sistemas adyacentes puede ser estimada por varios procedimientos, siendo el más simple la construcción de los balances combinados de agua y de sal para esas zonas (Gordon *et al.* 1996).

La ventaja de los modelos de balance de caja, consiste en que ellos requieren de una cantidad relativamente pequeña de información y pueden ser resueltos en un período de tiempo relativamente corto. Los modelos matemáticos normalmente requieren de una cantidad de información mayor, consumen mayor tiempo y demandan altos recursos computacionales. De aquí que, cuando se requiere tener una visión rápida de los cambios que puedan ocurrir en un sistema y no se dispone de gran cantidad de información de alta complejidad (series de tiempo de correntómetros, de caudales, evaporación, precipitación, vientos, mareas, etc.), la aproximación con balances de cajas puede entregar información de primera instancia para interpretar el efecto que pueden producir cambios inducidos por los principales forzantes y procesos químicos, biológicos y geológicos en algunos caudales biogeoquímicos del sistema en estudio.

El presente trabajo, basado en la información oceanográfica recolectada por los cruceros Aysén I al V y Cimar Fiordos 1, 4 y 7 en sus dos etapas, tiene como objetivo general estimar el balance biogeoquímico de nitrógeno y fósforo inorgánico disuelto en el fiordo Aysén (XI Región) y tiene como objetivos específicos: a) Caracterizar hidrográfica y oceanográficamente el fiordo Aysén, b) Determinar los balances de agua y sal en el fiordo Aysén, c) Determinar los balances de nutrientes (nitrógeno y fósforo inorgánico) y su concordancia con las relaciones Redfield en el fiordo Aysén y d) Determinar si las desviaciones de la razón Redfield del nitrógeno y fósforo inorgánico en el fiordo Aysén tienen su origen por medio de la generación o remoción de nitrógeno en la columna de agua.

## **OBJETIVO GENERAL**

- Estimar el balance biogeoquímico de nitrógeno y fósforo inorgánico disuelto en el fiordo Aysén (XI Región).

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar hidrográfica y oceanográficamente el fiordo Aysén.
- Determinar los balances de agua y sal en el fiordo Aysén.
- Determinar los balances de nutrientes (nitrógeno y fósforo inorgánico) y su ajuste a las relaciones Redfield en el fiordo Aysén.
- Determinar si las desviaciones de la razón Redfield del nitrógeno y fósforo inorgánico en el fiordo Aysén tienen su origen por medio de la generación o remoción de nitrógeno en la columna de agua.

## **HIPOTESIS**

- El balance de nutrientes en la columna de agua del fiordo Aysén, no se encuentra en una condición de equilibrio de acuerdo a la relación de Redfield.

## MATERIALES Y METODOS

### Descripción del fiordo Aysén

El fiordo Aysén se localiza entre los  $45^{\circ}12' - 45^{\circ}25'S$  y  $72^{\circ}50' - 73^{\circ}30'W$ , en la provincia de Aysén (XI Región). Tiene una orientación general este-oeste, y una extensión de 31 millas ( $\approx 57$  km) (Fig. 4).

Este fiordo (Fig. 5) al igual que la mayoría de los existentes en la zona de los canales del sur de Chile fue formado principalmente en el holoceno, debido al retroceso de hielos que socavaron la zona interior de los canales, dejando escombros o morrenas en la parte de la boca de estos (Pickard, 1971; 1973). Presenta un valle en forma de U en su sección transversal y la longitud es mayor que su ancho medio.

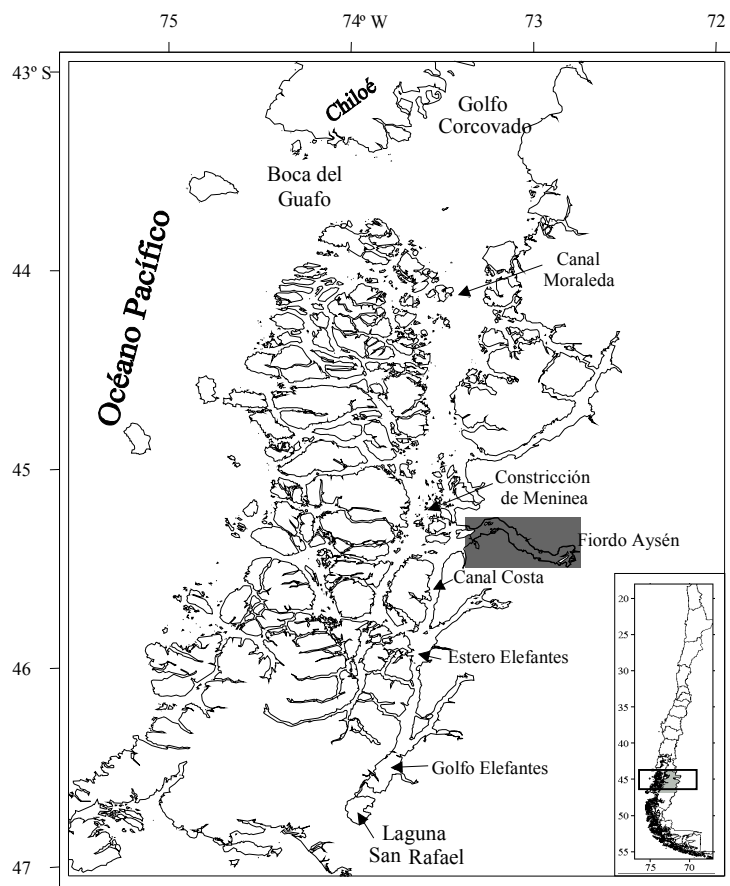


Figura 1: Zona norte de fiordos y canales del sur de Chile donde se ubica el fiordo Aysén.

La característica batimétrica más importante de esta zona es la presencia de umbral de baja profundidad (< 100 m), frente a las islas Cinco Hermanos (45°16' S y 72°47'W), que se ubica en el primer tercio del fiordo. Este umbral separa la parte profunda del fiordo Aysén en dos microcuencas (una ubicada al oeste de las Islas Cinco Hermanos y la otra al este de ésta).

La porción oeste del fiordo presenta un ensanchamiento hacia la boca y se conecta a los canales Costa y Moraleda (Fig. 4), teniendo una profundidad media de 250 m. La porción Este, se encuentra aislada de la influencia de la microcuenca Oeste de características más oceánica, debido al efecto que ejerce el umbral (Islas Cinco Hermanos), la influencia fluvial en esta cuenca es marcada, debido a que desembocan los principales ríos que se encuentran en este fiordo (ríos Cuervo, Cóndor y Aysén).

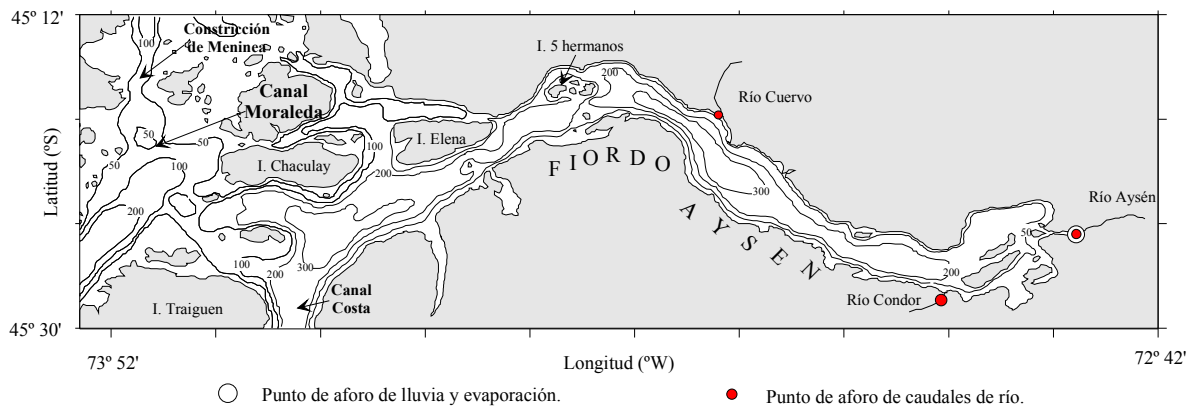


Figura 2: Puntos de mediciones de precipitación, evaporación y caudales en el Fiordo Aysén.

### Hoya Hidrográfica

El 97% de la hoya hidrográfica del fiordo Aysén (Fig. 6) se ubica en territorio Chileno, en el centro de la Patagonia, localizado al norte de campo de hielo norte, con un área aproximada de 11.000 km<sup>2</sup>. Se encuentran en su superficie más de 13 lagos impolutos de calidad super-oligotrófica, formados a partir de los tributarios de mayor potencial hídrico, que confluyen en el río Aysén. Entre estos tributarios se encuentran los ríos Coyhaique, Simpson, Mañiguales, Blanco, Huemules, Ñirehuan y Viviana. También es posible encontrar algunos lagos a lo largo en las cuencas de los ríos Cóndor y Cuervo, que también vierten aguas al fiordo (Habiterra S.A., 2003).

Si bien, el fiordo posee una topografía montañosa, con grandes pendientes o desfiladeros que forman verdaderas quebradas submarinas, también presenta sectores relativamente protegidos, con playas, de pendientes suaves y de baja altitud, que generalmente conforman un valle que se extiende hacia el interior (Hidrografía de Aysén, 2003 y Región de Aysén, 2003).



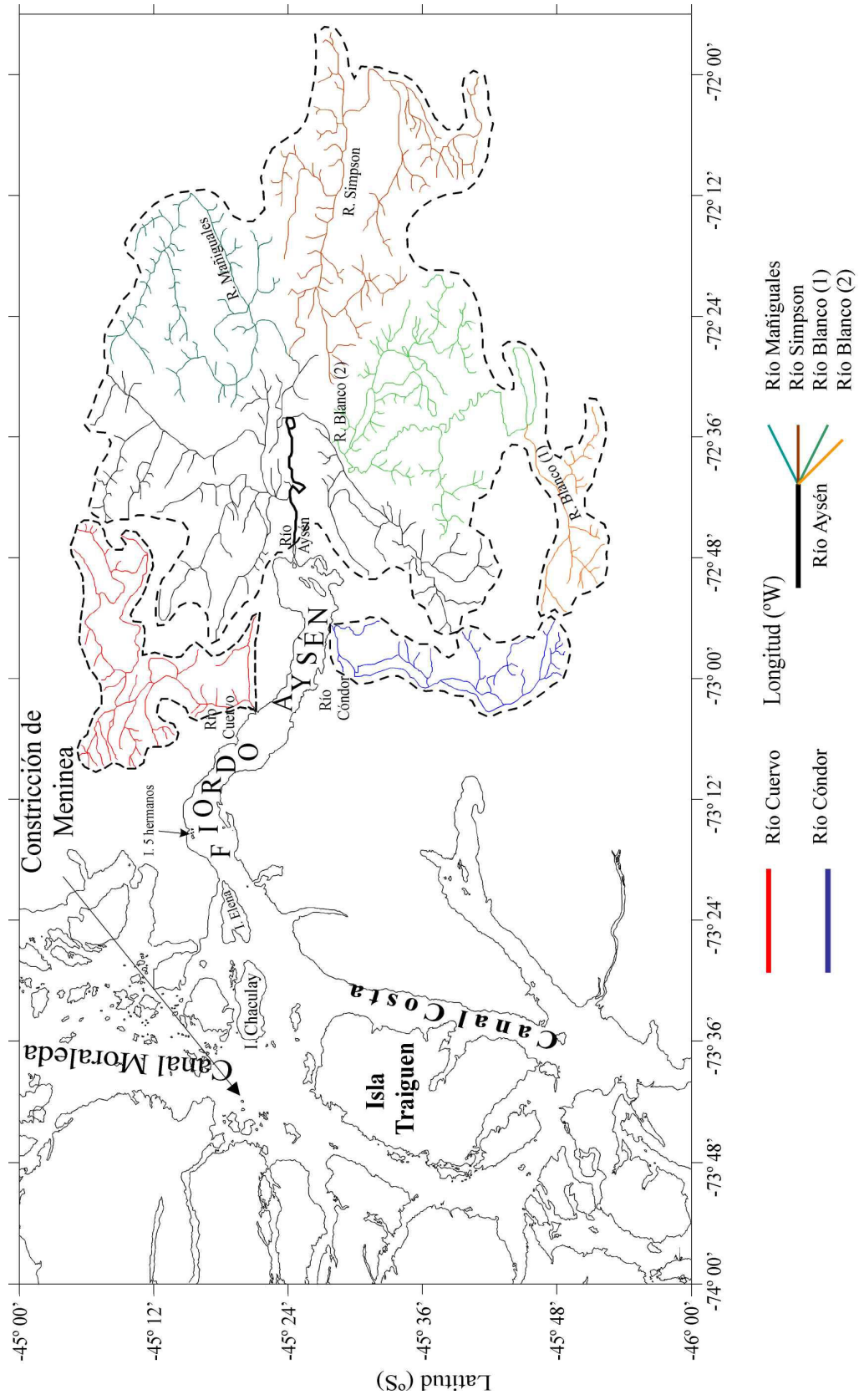


Figura 3: Hoya Hidrográfica del fiordo Aysén.

## Cruceros Oceanográficos

Los datos utilizados, fueron obtenidos en 10 expediciones oceanográficas:

Tabla 1: Cruceros oceanográficos y sus respectivas fechas de muestreo.

Cruceros	Fecha	Año
Aysén I	24 de septiembre al 3 de octubre	1991
Aysén II	14 al 21 de enero	1992
Aysén III	7 al 16 de mayo	1992
Aysén IV	17 al 26 de agosto	1992
Aysén V	7 al 15 de diciembre	1992
Cimar 1 Fiordos	15 de octubre al 15 de noviembre	1995
Cimar 4 Fiordos etapa 1	28 de Septiembre al 9 de Octubre	1998
Cimar 4 Fiordos etapa 2	26 de febrero al 5 de marzo	1999
Cimar 7 Fiordos etapa 1	7 al 21 de julio	2001
Cimar 7 Fiordos etapa 2	11 al 27 de noviembre	2001

En los cruceros Aysén (Tabla 1), realizados por la Universidad de Valparaíso, la temperatura del agua se midió con termómetros de inversión y se tomaron muestras de agua con botellas Nansen e Hidro Bios. La salinidad se determinó, mediante un salinómetro de inducción Autolab y el contenido de oxígeno disuelto mediante el método de Carrit & Carpenter (1996).

En los cruceros Cimar Fiordos, organizados por el Comité Oceanográfico Nacional (CONA), la temperatura, salinidad y oxígeno disuelto fueron registrados con CTD y las muestras para análisis químico se obtuvieron mediante botellas Niskin adosadas a una Roseta. Para calibrar los sensores de salinidad y oxígeno disuelto, se tomaron muestras discretas de agua, las que fueron analizadas con un salinómetro conductimétrico Guildline y el método de Winkler modificado por Carpenter (1965), respectivamente. Los valores de saturación de oxígeno se calcularon basándose en el algoritmo de Weiss (1970).

Se analizó la estructura estacional de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, fosfato y nitrato, se prepararon para cada crucero, perfiles verticales en dos estaciones, una ubicada en la cabeza y la otra en la boca del fiordo Aysén. De estos, se eligió un perfil representativo de cada estación del año, utilizándose aquellos que presentaron una mayor cantidad de datos en las estaciones oceanográficas elegidas.

La información de precipitación, evaporación y caudales de ríos fue obtenida de series de tiempo mensuales y datos medios, facilitada por la Dirección General de Agua (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP). Con esta información fueron construidas gráficas de precipitación, evaporación y caudales de ríos, para explicar la estacionalidad del aporte de agua.

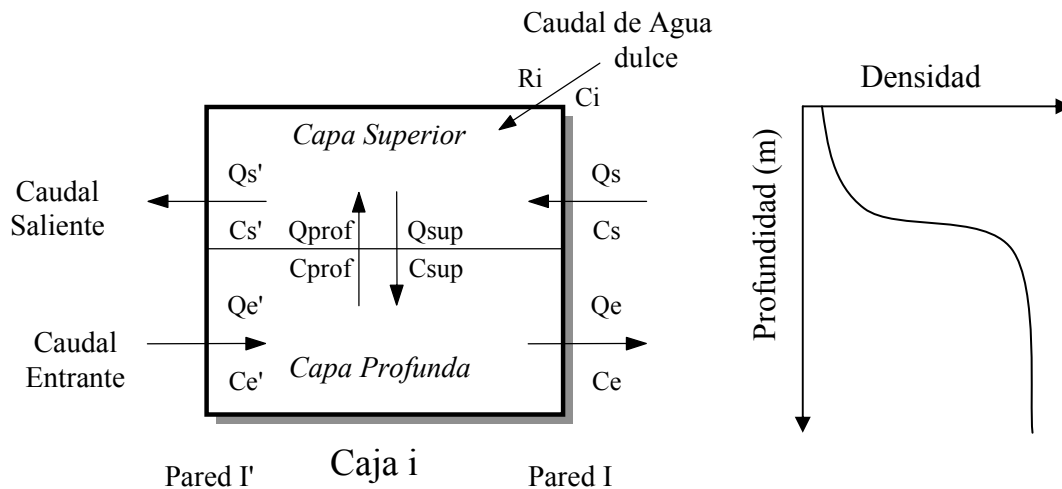
Tabla 2: Períodos en que se dispuso de datos hídricos proporcionados por la Dirección General de Agua (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP), en la zona del fiordo Aysén.

Punto de aforo	Caudales		Punto de aforo	Precipitación	Evaporación
Río Aysén	1995 – 2000		Puerto Aysén	1983 – 2000	1994 -2000
Río Cóndor	1994 – 2000		Puerto Chacabuco	1994 -2000	
Río Cuervo	1985 – 1988				

El término masas de agua se utilizará para grandes volúmenes a nivel oceánico, mientras que el término cuerpo de agua se utilizará para identificar volúmenes pequeños de características más bien locales. Se determinaron y cuantificaron las masas y cuerpos de agua hacia el interior del fiordo Aysén, se realizó mediante la utilización de la salinidad, diagramas T-S y áreas que ocupan estos dentro del sistema. Es así como cuerpos de agua se le considera al Agua Estuarina (AE-Salada, AE-Salobre o AE-Dulce), con rangos entre 2 a 31 psu, al igual que al Agua Dulce (AD) con rangos de 0 a 2 psu (Guzmán & Silva, 2000).

### Balance de agua y sal

La aplicación de un balance de masa en forma simple, se utiliza en un sistema de una sola caja separadas por un “límite” (siempre y cuando exista pycnoclina) que la transforma en un sistema de dos capas, en donde se van a encontrar caudales entrantes y salientes que están en equilibrio ( $dV/dt = 0$ ). Estos balances de masas explican como una caja recibe e intercambia agua y sales con el entorno, de acuerdo al siguiente esquema:



Esquema 1: Esquemización de un sistema simple compuesto por una caja, separado por dos cajas y los caudales que intervienen dentro del sistema.

Siendo:

Ri	=	Caudal de agua dulce.
Ci	=	Concentración de sales o de nutrientes proveniente del (los) río (s).
Qs	=	Caudal de agua que ingresa a la caja superior.
Cs	=	Concentración de sales o de nutrientes que ingresa a la capa superior.
Qs'	=	Caudal de agua que sale de la caja superior.
Cs'	=	Concentración de sales o de nutrientes que sale de la capa superior.
Qe	=	Caudal de agua que sale de la caja inferior.
Ce	=	Concentración de sales o de nutrientes que sale de la caja inferior.
Qe'	=	Caudal de agua que entra a la caja inferior.
Ce'	=	Concentración de sales o de nutrientes que entra a la caja inferior.
Qsup	=	Caudal de agua que se intercambia desde la caja superior a la caja inferior.
Csup	=	Concentración de sales o de nutrientes que se intercambia desde la caja superior a la caja inferior.
Qprof	=	Caudal de agua que se intercambia desde la caja inferior a la caja superior.
Cprof	=	Concentración de sales o de nutrientes que se intercambia desde la caja inferior a la caja superior.

En este caso, la caja “i” se encuentra delimitada por dos paredes imaginarias y perpendiculares al eje del caudal. De existir una picnoclina, esta caja “i” puede ser dividida en dos capas o niveles, que generan sendas cajas. La primera capa está afectada por un caudal de aguas dulces saliente y la capa profunda, está influida por un caudal entrante de aguas con características netamente marinas, por lo tanto, con aguas de salinidades mayores que la capa superior. Entre estas capas existe una mezcla de aguas estuarinas y de mar. Estos caudales entrantes y salientes, no transportan solamente agua, sino también sales y compuestos micronutrientes disueltos.

Para el balance general de ambas cajas, y asumiendo condiciones estacionarias, se plantea la siguiente ecuación:

$$0 = \sum \text{ingresos} - \sum \text{salidas} + \sum [\text{fuentes} - \text{sumideros}] \quad (1)$$

El estado de balance, supone que los ingresos deben ser igual a las salidas, por ende el término  $\sum [\text{fuentes} - \text{sumideros}]$ , debe ser igual a cero.

$$0 = \sum \text{ingresos} - \sum \text{salidas} \quad (2)$$

Si no es así, la explicación sería que existe una pérdida, ganancia o transformaciones dentro de la caja.

Al ampliar la ecuación anterior a los caudales de entradas y salidas, se tiene:

$$0 = \sum (V_Q + V_p + V_G + V_0 + V_{in}) - \sum (V_E + V_{out}) \quad (3)$$

Siendo:

$V_Q$  = Caudal de agua proveniente de los ríos;  
 $V_p$  = Caudal de agua proveniente de la lluvia;  
 $V_G$  = Caudal de agua de escurrimiento costero,  
 $V_0$  = Caudal de agua provenientes de otras fuentes no conocidas;  
 $V_E$  = Caudal de evaporación.

Lo anterior puede ser resumido como:

$$V_R = -(V_Q + V_p + V_G + V_0 - V_E),$$

Siendo:

$V_E$  = Caudal residual, de agua dulce en el sistema  
 $V_{in}$  = Caudal que ingresa al sistema ( $Q_e$ )  
 $V_{out}$  = Caudal que sale del sistema ( $Q_s$ ).

Una manera más simple de ver la ecuación (3) sería:

$$V_R = V_{in} - V_{out} \quad (4)$$

$V_{Ri}$  se refiere al aporte de agua dulce que exista en las respectivas cajas, involucrando para ello, la pluviosidad, evaporación y caudales de los ríos, siendo necesario estandarizar estos valores, los cuales serán expresados en  $m^3 \cdot día^{-1}$ .

### **Tiempo de renovación de las aguas**

Con los resultados de los caudales de intercambio en cada una de las cajas, se estimó el tiempo de renovación del agua o tiempo de residencia ( $\tau$ ). Según:

$$\tau = \frac{\mathcal{Q}_{sist}}{V_{out}} \quad (5)$$

Donde  $\mathcal{Q}_{sist}$ , corresponde al volumen de agua que contiene cada una de las cajas (área por la profundidad media del lugar, para lo cual se usó la carta SHOA 8290) (Tabla 3) y  $V_{out}$  al caudal de salida de la capa superficial ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ).

Tabla 3: Dimensiones de las cajas en que se divide el fiordo Aysén. (su ubicación se indica en la figura 1).

Caja	Longitud (km)	Ancho medio (km)	Prof media (m)	Sup media (km <sup>2</sup> )	Vol medio (9) (km <sup>3</sup> )
1	7,6	6,5	90	49,4	4,4
2	30,1	5,8	216	174,6	37,7
3	19,6	5,6	185	109,8	20,3
Total	57,3	5,9	164	334	62,4

## División del fiordo

### Sistema de tres cajas

Las ecuaciones generales (1), (2) y (3) planteadas anteriormente permitieron obtener una primera visión de lo que estaría ocurriendo en un sistema con una caja de geometría simple. Sin embargo la geografía que posee el fiordo Aysén es compleja, por ende para obtener un mayor detalle de lo que esta pasando dentro del sistema, éste fue dividido en tres cajas. Esta división o partición del sistema esta direccionada principalmente por la topografía de la zona, quedando un tercio situado en la cabeza del fiordo (siendo relativamente somera, menor a 100 m, más afectada por los ríos Aysén y Cóndor), la parte media (más profunda, mayor de 300 m, afectada por el río Cuervo) y una tercera parte situada en la boca del fiordo, del orden de 250 m, sin ríos de importancia, la cual se conecta al canal Moraleda.

Producto de la división en 3 cajas (tabla 3 y Fig. 1), fue necesario conocer el valor de 15 caudales para cada una de las formas de los elementos primarios que se consideren ya sea salinidad o micronutriente, de manera de establecer el balance en cada una de ellas.

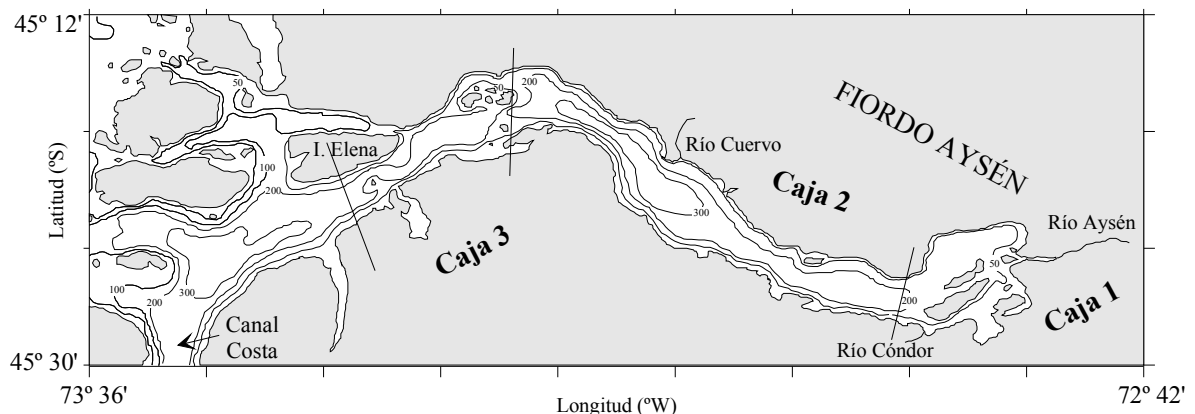


Figura 4: División del Fiordo Aysén en 3 cajas para estudiar el intercambio de agua y sales disueltas.

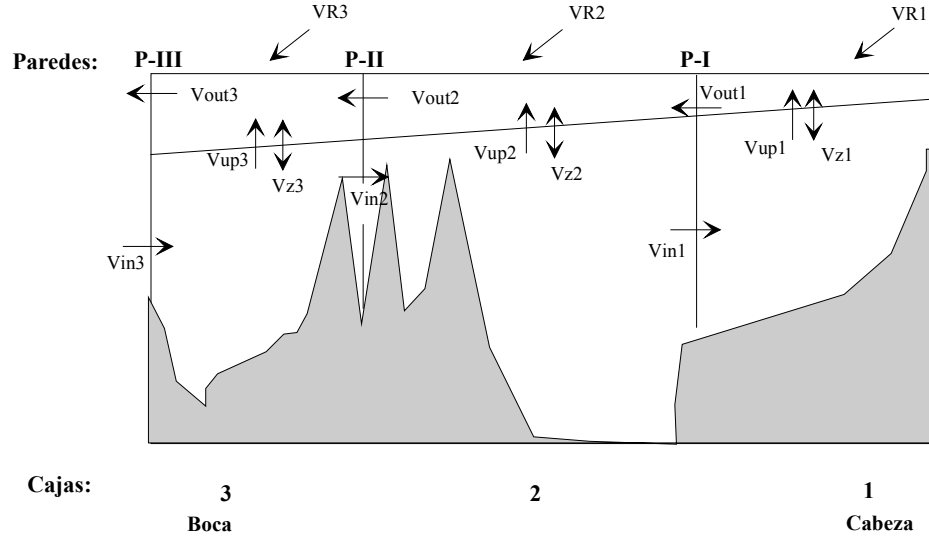


Figura 5: Caudales que se establecen para las seis cajas en que se dividió el fiordo Aysén. Siendo “out” los caudales de salida, “in” los caudales de entrada, “up”, los caudales ascendentes y “z” los caudales de intercambio o de compensación.

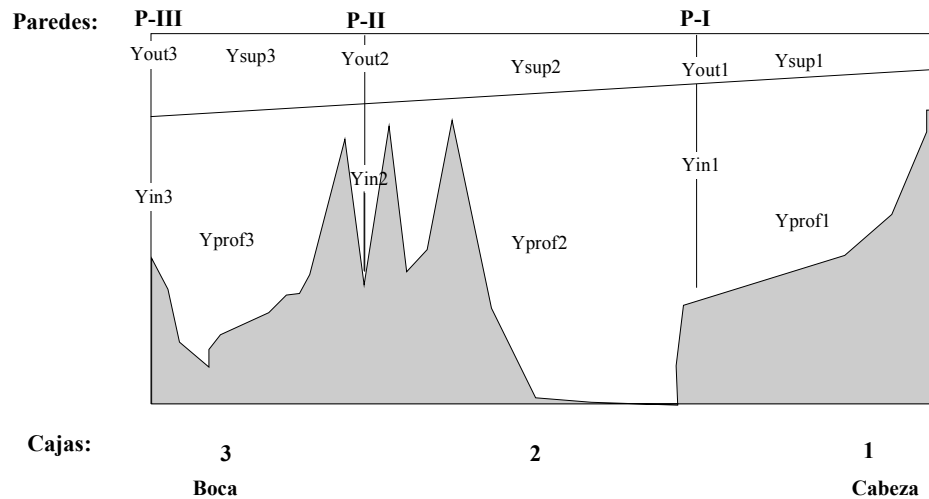


Figura 6: Modelo general de las concentraciones medias en las secciones de las paredes y capas de las cajas en el fiordo Aysén. En donde “Y” representa los valores de salinidad o de los nutrientes (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y P-PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>).

## Sistema de dos capas

La separación entre los caudales entrante por el fondo y saliente por la superficie tiene lugar a un nivel donde la velocidad horizontal debe ser nula, la cual debería coincidir con la ubicación de la haloclina de cada una de las cajas. El cálculo de la profundidad de la haloclina, se detrmínó graficamente de los perfiles de salinidad v/s profundidad (Tablas 4 y 5).

Tabla 4: Profundidad, en metros, donde se estimó la ubicación de la haloclina, en las cajas del sistema fiordo Aysén, en los cruceros Aysén.

	CRUCEROS OCEANOGRÁFICOS				
	Aysén I	Aysén II	Aysén III	Aysén IV	Aysén V
Caja	Z (m)	Z (m)	Z (m)	Z (m)	Z (m)
1	-31	-24	-29	-21	-37
2	-60	-51	-66	-45	-42
3	-59	-45	-64	-32	-49

Tabla 5: Profundidad, en metros, donde se estimó la ubicación de la haloclina, en las cajas del sistema fiordo Aysén, en los cruceros Cimar Fiordo.

	CRUCEROS OCEANOGRÁFICOS				
	C1F	C4F-1	C4F-2	C7F-1	C7F-2
Caja	Z (m)	Z (m)	Z (m)	Z (m)	Z (m)
1	-25	-27	-14	-7	-10
2	-60	-44	-40	-58	-49
3	-80	-61	-78	-80	-64

Siendo Z la profundidad (en metros) del nivel de velocidad nula (en signo negativo ya que se asume 0 al nivel medio del mar) que corresponde al lugar físico donde se encuentra la haloclina y S (psu) la salinidad a esa profundidad.

## Cálculo de los caudales

Este cálculo se basó principalmente en el balance de agua y sal, teniendo en cuenta los caudales entrantes, salientes, ascendente y descendentes. Por otro lado, se ha establecido un sistema estacionario, por lo que la sumatoria de los caudales entrantes y caudales salientes de cada caja deberá ser el mismo, tanto si se trata de agua como de sal. Por lo tanto, es factible determinar las ecuaciones para cada caja. Ejemplo caja 2 (Fig. 2):

$$V_{R2} = -(V_{Q2} + V_{P2} + V_{G2} + V_{02} - V_{E2}) \quad (7)$$

$$V_{out2} = -(V_{in2} + V_{R2}) + V_{R1} \quad (8)$$



$$V_{in2} = \frac{|V_{R1} + V_{R2}| S_{Sis2\_sup}}{(S_{Sis\_prof3} - S_{Sis\_sup2})} \quad (9)$$

$$V_{Z2} = \frac{V_{in2} (S_{Sis\_prof3} - S_{Sis\_prof2})}{(S_{Sis\_prof2} - S_{Sis\_sup2})} \quad (10)$$

$$V_{up2} = V_{in2} - V_{in1} \quad (11)$$

Las ecuaciones anteriores, resuelven el balance de agua y parte del balance sal, siendo ambos fundamentales, para la solución del balance nutrientes (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y P-PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>), que se detalla a continuación:.

## **Balance de nutrientes en el fiordo Aysén**

### **Flujo de nutrientes en el Seno Aysén**

Los caudales, entrantes, salientes, ascendentes y descendentes, serán utilizados en la determinación del balance de nutrientes (N (Nitrato + Nitrito) y P (Fosfato)).

Las concentraciones de nutrientes disueltos en el agua dulce fueron determinadas en muestras tomadas en los tres ríos que desembocan en el fiordo Aysén (Cuervo, Cóndor y Aysén). En el caso de la lluvia, Silva *et al.*, (2000) y Guzmán (2000) tomaron muestras para mediciones de nitrato en el cruceo Cimar 7 y Prado (2000) efectuó mediciones de amonio durante el cruceo Cimar 4.

El balance de nutrientes se realizó en forma independiente para nitrógeno y fósforo, para mayor simplicidad en las formulas se definió Y = DIN para nitrógeno inorgánico disuelto e Y = DIP para fósforo inorgánico disuelto. De igual modo se definió el desbalance de DIN como ΔDIN y de DIP como ΔDIP, donde:

$$\Delta Y = \sum \text{ingresos de } Y - \sum \text{salidas de } Y \quad (11)$$

En este caso fue necesario plantear dos balances, uno por cada capa de manera de establecer si el sistema presentó pérdidas, ganancias o transformaciones de estos nutrientes. Para esto se representaron las ecuaciones para la caja 2, a modo de ejemplo, al igual que en caso del balance de agua y sal.

Capa superior:

$$\Delta Y_{\text{sup}2} = Y_{\text{out}1} \times V_{\text{out}1} + Y_{\text{R}2} \times V_{\text{R}2} + Y_{\text{up}2} \times V_{\text{up}2} - Y_{\text{z}2} \times V_{\text{z}2} - Y_{\text{out}2} \times V_{\text{out}2}$$

Capa profunda:

$$\Delta Y_{\text{prof}2} = Y_{\text{in}2} \times V_{\text{in}2} + \quad \quad \quad - Y_{\text{up}2} \times V_{\text{up}2} + Y_{\text{z}2} \times V_{\text{z}2} - Y_{\text{in}1} \times V_{\text{in}1}$$

Donde  $\Delta Y_{\text{sup}}$  y  $\Delta Y_{\text{prof}}$  serían cero si entre los cuerpos de agua entrantes y salientes solo estuviesen involucrados procesos físicos. Sin embargo, es sabido que los elementos nutrientes son esenciales para sustentar la trama trófica tanto en tierra como en el agua. Debido a esto, en este caso se esperaría que existiera una pérdida o ganancia neta de los nutrientes, en cada una de las cajas, ya que en este tipo de balance de elementos químicos se experimenta un secuestro o producción de elementos nutrientes disueltos, es decir, estos cuerpos de aguas también están sometidos a procesos biológicos.

Por lo anterior, el sistema de ecuaciones 7 a 11 se hizo extensible a todas las cajas del sistema. Para ello debe conocerse previamente los caudales de agua salientes, entrante, ascendentes y descendentes de cada una de las cajas, y la concentración de los nutrientes correspondientes para cada uno de los caudales ( $\text{N-NO}_3^-$  y  $\text{P-PO}_4^{3-}$ ), se conocían previamente mediante el análisis químico de muestras de agua, recolectadas en la zona (Tablas 16 y 17).

Si  $\Delta Y$  era positivo, existía un exceso del elemento en el sistema, de lo contrario se trataba de una pérdida. Una vez conocido el exceso o pérdida de cada uno de los nutrientes, era posible determinar el intercambio en el interior de cada caja, mediante las ecuaciones para la capa superficial y la capa profunda. .

### **Pérdida y/o ganancia de Nitrógeno**

Con los valores de  $\Delta \text{DIN}$  y  $\Delta \text{DIP}$  y comparando sus tasas de producción o consumo con las proporciones estequiométricas de Redfield para el plancton y basado en que el fosfato no es oxidado a otras especies en los procesos respiratorios, es posible estimar si el  $\Delta \text{DIN}$  o mejor dicho el nitrato sufre oxidación o reducción dentro del sistema en cuestión, tanto en forma parcial como son las cajas o global como es el sistema.

$$(N_{\text{Gain}} - N_{\text{Loss}}) = \Delta \text{DIN}_{(\text{obs})} - \Delta \text{DIN}_{(\text{esp})} = \Delta \text{DIN} - (\Delta \text{DIP} \times (N : P)) \quad (12)$$

## RESULTADOS

### Características hidrográficas

#### Precipitación

La pluviosidad entre Puerto Aysén y Puerto Chacabuco, lugares relativamente cercanos ( $\approx 14$  km) no difieren significativamente presentando medias anuales históricas de  $2415 \pm 480$  y  $2829 \pm 672$  mm·año<sup>-1</sup> respectivamente.

La figura 7 presenta las medias mensuales de la pluviosidad en Puerto Aysén, pudiéndose distinguir una señal anual marcada. Los meses más lluviosos correspondieron a mayo - junio (invierno) y los menos lluviosos a enero - febrero (verano), con valores medios históricos de 270 y 150 mm mensuales respectivamente. Los máximos y mínimos individuales alcanzaron valores de 650 mm (may 98) y 50 mm (dic 84 y ene 90) respectivamente.

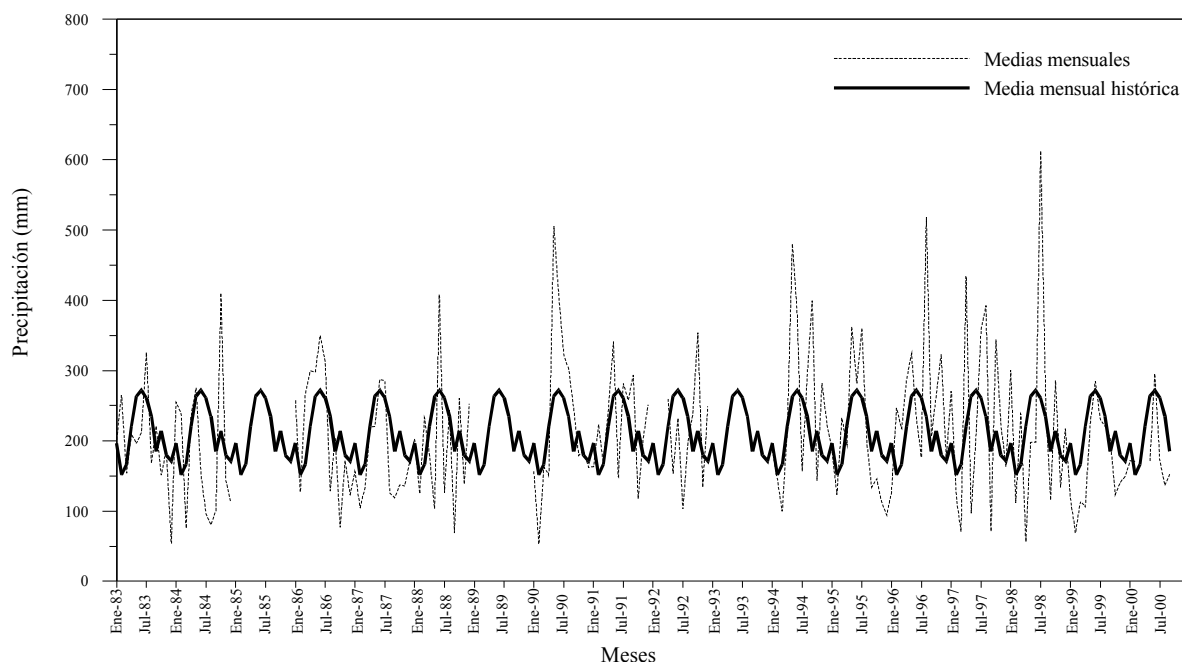


Figura 7: Serie de tiempo de la precipitación mensual en Puerto Aysén desde 1983 al 2000 y su promedio histórico para el mismo período. En base a datos de la Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)

En el caso de Puerto Chacabuco (Fig. 8), la serie de tiempo utilizada fue más corta que la de Puerto Aysén, sin embargo reflejó que las lluvias se presentaron en forma muy similar a Puerto Aysén (Fig. 7), para el mismo período de muestreo.

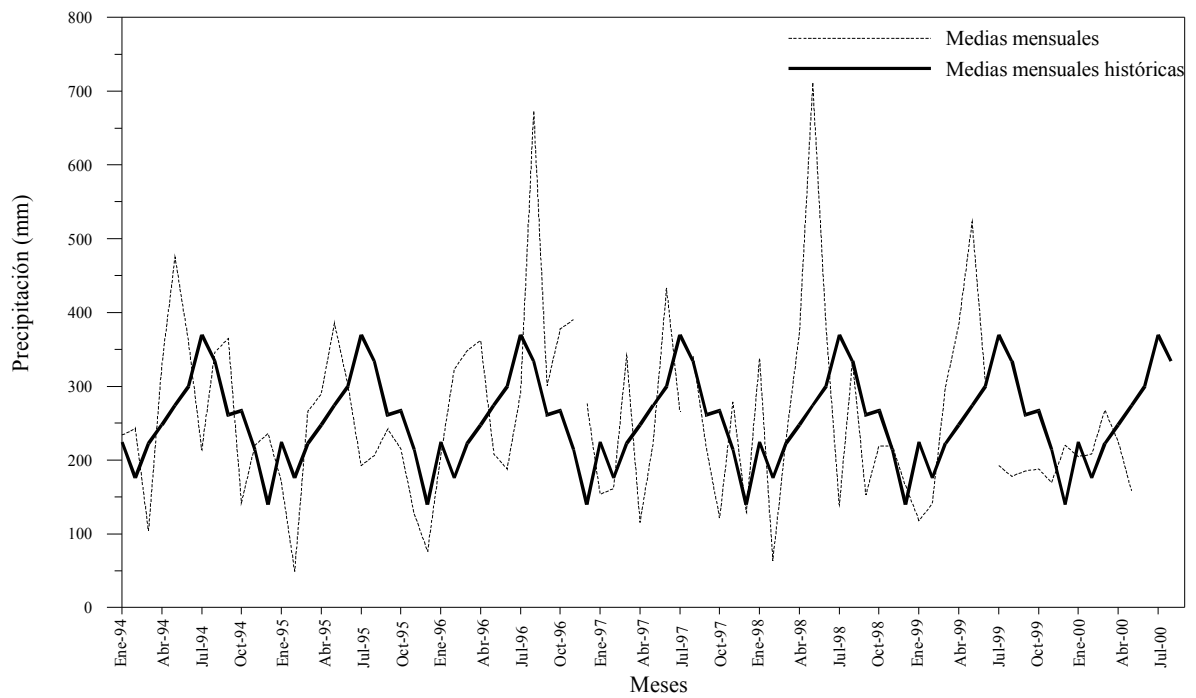


Figura 8: Serie de tiempo de la precipitación mensual en Puerto Chacabuco desde 1994 al 2000 y su promedio histórico para el mismo per. En base a datos de la Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)

Tanto la serie de tiempo de precipitación de Puerto Aysén, como la de Puerto Chacabuco, se registraron dos períodos de precipitación mayor que se diferenciaron del resto y ocurrieron en forma casi simultanea en ambos puertos durante el invierno de 1996 y 1998 (Fig. 9).

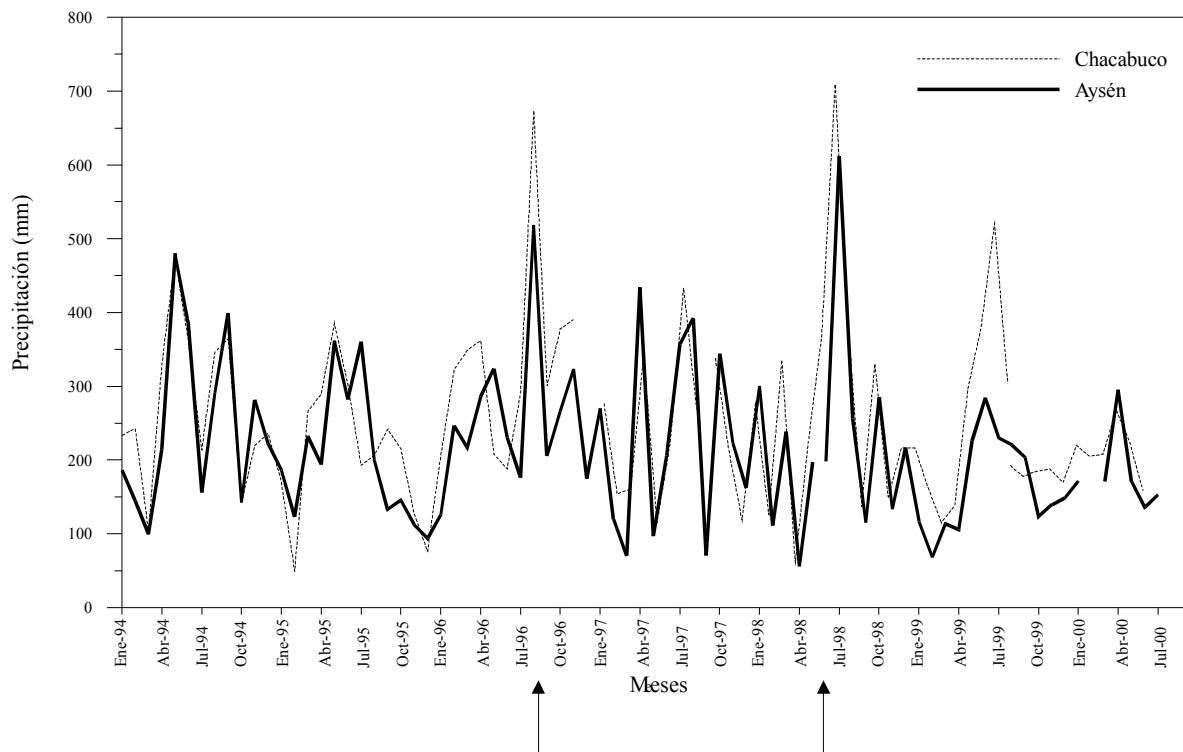


Figura 9: Serie de tiempo de la precipitación mensual en Puerto Chacabuco y Puerto Aysén desde 1994 al 2000. En base a datos de la Dirección general de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)

## Evaporación

Para la zona del fiordo Aysén, sólo se contó con una serie de tiempo correlativa de evaporación en Puerto Aysén, la que permitió calcular un valor medio de  $585 \text{ mm}\cdot\text{año}^{-1}$ . El registro mensual presentó una señal anual cíclica, con máximos en la época estival que no sobrepasaron los 150 mm mensuales, y mínimos en invierno con valores menores de 50 mm mensuales (Fig. 10). Al comparar la evaporación con la precipitación, en los meses de verano esta fue de alrededor de un 40% de la precipitación, mientras que en la época invernal, fue menor, alrededor de un 10%.

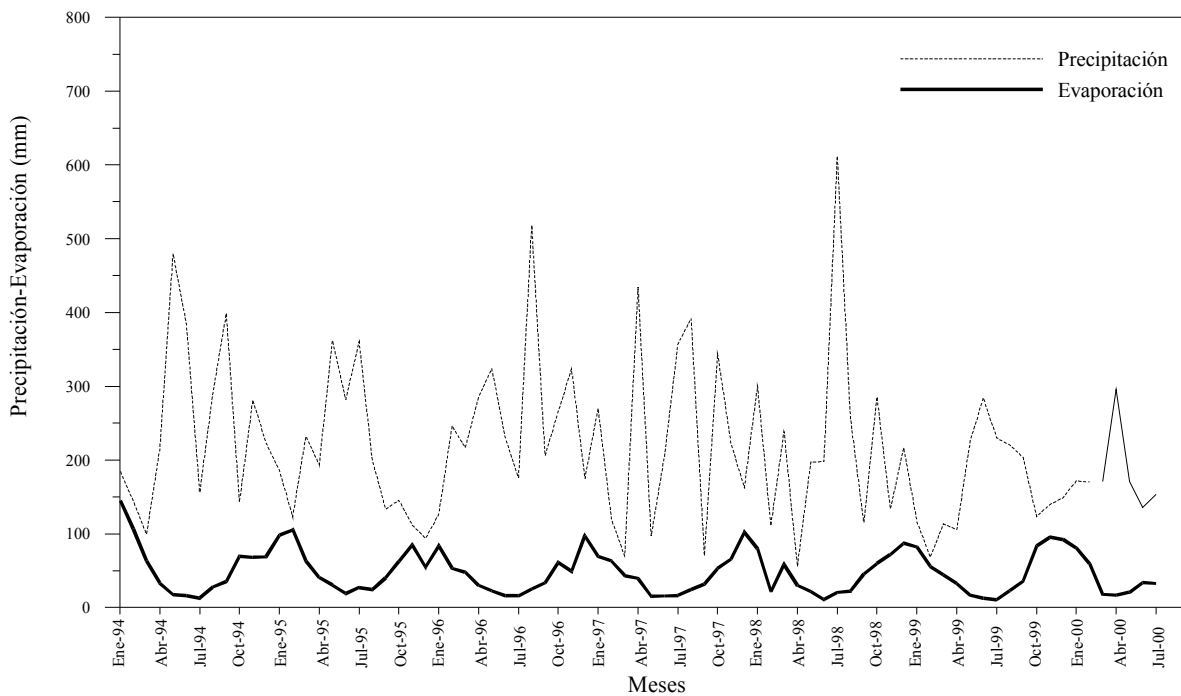


Figura 10: Serie de tiempo de la precipitación mensual y evaporación en Puerto Aysén desde 1994 hasta 2000. En base a datos de la Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas)

### Caudales de los ríos

Existen pocos ríos que vierten agua al fiordo Aysén, entre los cuales el más importante es el río Aysén, con un caudal medio de  $515 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (medidos en la estación de aforo y pluviométrica del río). Sus principales afluentes son los ríos Simpson ( $67 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), Mañiguales ( $189 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) y Blanco (sin información). Los ríos Cuervo y Cóndor, tienen hoyas de menor tamaño y por consiguiente, caudales medios menores y del orden de  $99$  y  $49 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  respectivamente (Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Agua).

La figura 11 presenta el registro mensual de los caudales en tres puntos de aforo correspondientes a los ríos Cuervo, Cóndor y Aysén. En estas series se puede apreciar que existe una diferencia notable en cuanto a la cantidad de agua que trae el río Aysén respecto a los ríos Cóndor y Cuervo, representando estos últimos cerca de un 15% de lo que vierte el Aysén.

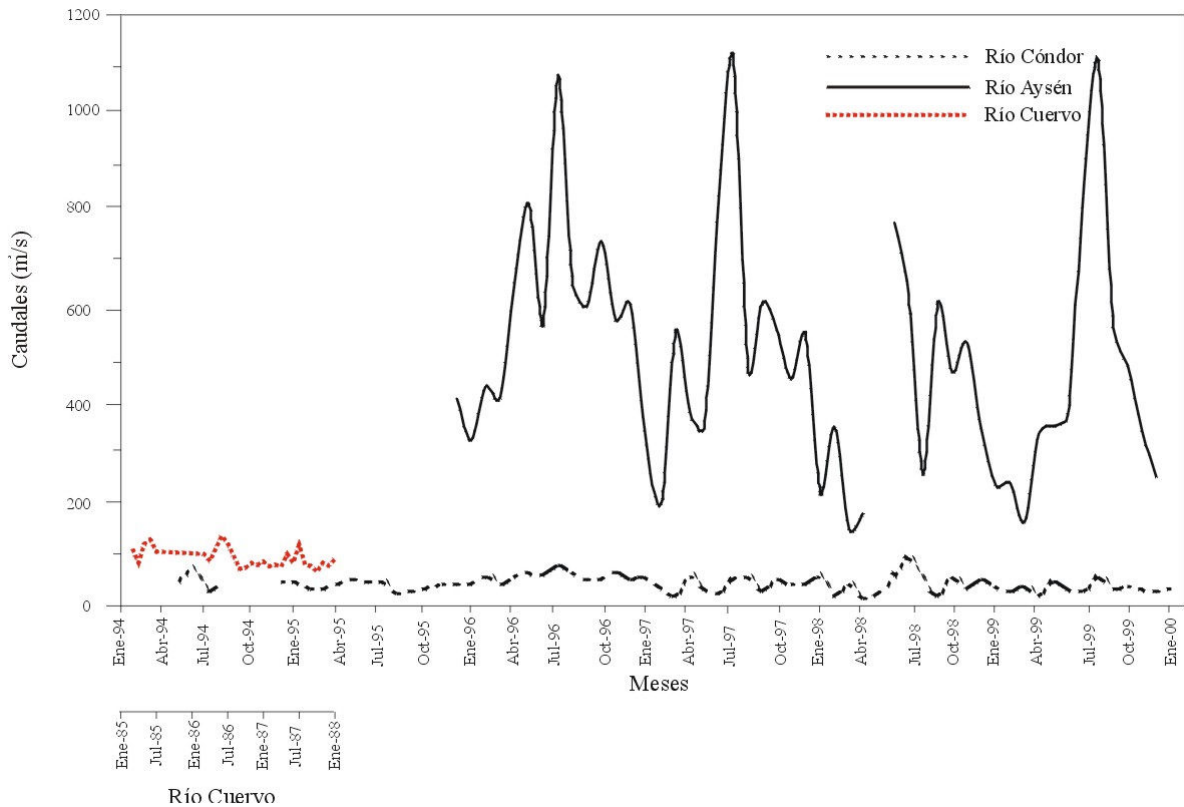


Figura 11: Serie de tiempo de las medias mensuales de los caudales e los ríos Aysén, Cónдор y Cuervo. En base a datos de la Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas.

Los ciclos anuales en los caudales de los ríos Aysén, y Cuervo, son bastante diferentes, en el caso del Aysén se aprecia un aumento de estos, durante los meses de invierno donde supera los  $1000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  y una disminución en los meses de verano a valores menores de  $300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Fig. 11) y un promedio anual del orden de  $600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Fig. 12). En el caso del Cónдор, se aprecia un máximo principal en los meses de invierno cercano a los  $60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , luego una marcada disminución primaveral de unos  $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , para repuntar a un máximo secundario en octubre de unos  $55 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Fig. 12). Durante los meses estivales se mantienen valores relativamente bajos de unos  $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  y un promedio anual del orden de  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Al analizar la figura 11, es posible inferir que el Aysén presentó indicios de un régimen mixto. Este consistiría en un máximo principal en invierno, debido a las lluvias y un máximo secundario en primavera, debido posiblemente al aporte adicional de los deshielos.

Caudales Medios Mensuales

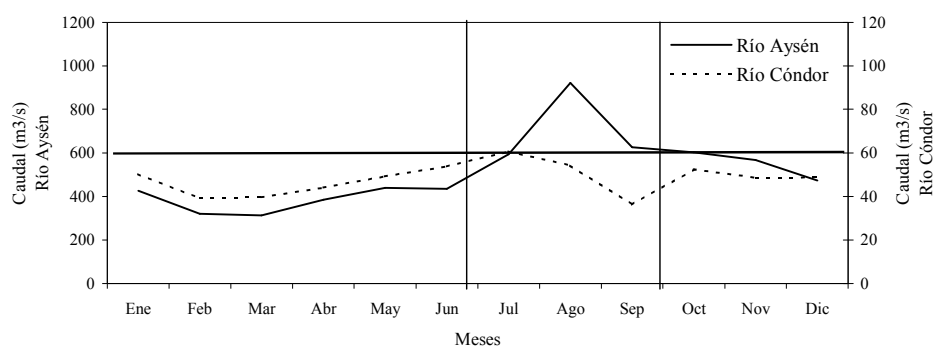


Figura 12: Medias mensuales del caudal de los ríos Aysén y Cónдор. En base a datos de cuatro años, obtenidos por la Dirección General de Agua del Ministerio de Obras Públicas (nótese cambio de escala en los caudales).

### Características Oceanográficas

Los datos oceanográficos de la columna de agua del fiordo Aysén fueron obtenidas por primera vez en marzo de 1970, por el crucero Canadiense HUDSON - CHILE 70. Durante los años 1991 – 1992, se realizaron cinco muestreos estacionales, por la Universidad de Valparaíso y posteriormente, entre los años 1995 y 2001, se realizaron otras cinco expediciones organizadas por el Comité Oceanográfico Nacional, efectuándose tres de ellas en primavera, una en invierno y otra en verano, con los resultados de estos cruceros se generaron varias publicaciones respecto a sus características oceanográficas, físicas y químicas, las cuales se resumen en la tabla 3.

Tabla 3: Resumen de las publicaciones que analizan las características oceanográficas físicas y químicas, del fiordo Aysén.

Autor (es)	Crucero	Año	T-S-O <sub>2</sub>	Nut.	Corrientes y mareas
Pickard	Chile 70	1971; 1973	X		
Pickard & Stanton	Chile 70	1980	X		
Sievers & Prado	Aysén 1 y 2	1994	X	X	
Silva <i>et al.</i>	Cimar 1 y 4	1995; 1997; 1998; 2000	X	X	
Salinas & Hormazabal	Cimar 1	1997			X
Calvete	Cimar 1	1997	X	X	
Guzmán	Cimar 1 y 4	2000	X	X	
Prado	Cimar 1	2000		X	
Fierro <i>et al.</i>	Cimar 4	2000			X
Guzmán & Silva	Cimar 4	2002	X	X	
Cáceres <i>et al.</i>	Cimar 7	2002			X
Valle-Levinson <i>et al.</i>	Cimar 7	2002			X



Basado en los datos generados por esos cruceros se pudieron establecer patrones generales de las fluctuaciones estacionales de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes.

## **Temperatura**

### Verano

La distribución superficial de temperatura fluctuó entre los 13,0 y 14,2°C, donde los menores valores se ubicaron hacia la boca del fiordo y los mayores valores se ubicaron hacia la cabeza (Figs 13a, 13b y 15a).

Bajo la superficie la temperatura disminuyó rápidamente, generándose en los primeros 25 m de profundidad una termoclina superficial, con un gradiente máximo de 1,1°C/10 m hacia la cabeza del fiordo. Bajo la termoclina, se observó un mínimo térmico subsuperficial ( $\approx 11^\circ\text{C}$ ), centrado a los 75 m de profundidad (Figs 13a, 13b y 15a).

En este caso, no se presentaron diferencias térmicas en las 2 microcuencas que forman el fiordo Aysén (Figs 13a, 13b y 15a).

### Otoño

La distribución superficial de temperatura fluctuó entre los 10,0 y 11,3°C, donde los menores valores se ubicaron hacia la boca del fiordo y los mayores valores se ubicaron hacia la cabeza (Figs. 13a y 13b).

Bajo la superficie la temperatura en los primeros 10 metros de profundidad, se presentó bastante homogénea, bajo esta profundidad, la temperatura disminuyó generándose un mínimo térmico subsuperficial ( $\approx 10^\circ\text{C}$ ), centrado a los 50 m de profundidad (Figs. 13a y 13b), sin llegar a formar termoclina.

La zona profunda fue prácticamente homotermal, sin grandes variaciones térmicas (Figs. 13a y 13b).

### Invierno

La distribución superficial de temperatura presentó bajos valores, fluctuando entre los 5,7 y 9,0°C, donde los menores valores se ubicaron hacia la cabeza del fiordo y los mayores valores se ubicaron hacia la boca (Figs. 13a, 13b y 15b).

Bajo la superficie la temperatura aumentó rápidamente, donde se generó en los primeros 15 m de profundidad una termoclina invertida superficial, con un gradiente máximo de  $-2,53^{\circ}\text{C}/10\text{ m}$  hacia la cabeza del fiordo. Bajo la termoclina invertida, la columna de agua fue más homogénea, observándose un leve máximo térmico subsuperficial ( $\approx 11^{\circ}\text{C}$ ), centrado a los 100 m de profundidad (Figs. 13a, 13b y 15b).

Al igual que en el caso del crucero de verano, en este caso tampoco se presentaron diferencias térmicas en las 2 microcuencas que forman el fiordo Aysén (Figs. 13a, 13b y 15b).

### Primavera

La distribución superficial de temperatura no se presentó igual en todos los cruceros correspondientes a esta estación del año, debido al hecho de que existe una brecha temporal, de varios años. Sin embargo, en general presentaron menores valores hacia la boca del fiordo y mayores valores hacia la cabeza, del orden de  $10,0$  a  $11,0^{\circ}\text{C}$  (Figs. 13a, 13b, 15c, 15d y 15e).

Bajo la superficie, la temperatura en general disminuyó en los primeros 25 m de profundidad donde en octubre del 95 y noviembre del 2001, se observó un mínimo térmico subsuperficial ( $\approx 9,5^{\circ}\text{C}$ ), centrado entre los 25 a 50 m de profundidad, que no ocurrió en octubre de 1998. Posteriormente la temperatura tendió a aumentar en profundidad bajo la cabeza del fiordo (Figs. 13a, 13b, 15c, 15d y 15e).

En este caso, a diferencia de los otros cruceros se apreciaron diferencias térmicas en las 2 microcuencas que forman el fiordo Aysén. La zona profunda de la microcuenca oeste se presentó relativamente más fría que la cuenca este ( $<10,0$  y  $> 10,0^{\circ}\text{C}$ , respectivamente) (Figs. 13a, 13b, 15c, 15d y 15e), lo anterior es válido para los años 1995 y 2001, ya que en 1998, no se observó.

## Salinidad

### Verano

La distribución superficial de salinidad fluctuó entre los  $10,0$  y  $25,0\text{ psu}$ , donde los menores valores se ubicaron hacia la cabeza del fiordo y los mayores valores se ubicaron hacia la boca de este (Figs. 13c, 13d, 16a).

Bajo la superficie la salinidad aumentó rápidamente hasta los 15 m de profundidad, donde se generó una haloclina superficial, con un gradiente máximo de  $13,3\text{ psu}/10\text{ m}$  hacia la cabeza del fiordo. Bajo la haloclina, la salinidad continuó aumentando

paulatinamente hasta valores mayores de 31,5 psu en la microcuenca este y mayores de 32 psu en la oeste (Figs. 13c, 13d, 16a).

En la capa profunda del fiordo, se presentaron diferencias salinas en las 2 microcuencas que forman este fiordo. La zona profunda de la microcuenca oeste se presentó relativamente más salina que la cuenca este ( $> 32,0$  y  $> 31,5$  psu, respectivamente) (Figs. 13c, 13d, 16a).

#### Otoño

La distribución superficial de salinidad fluctuó entre los 25,3 y 28,5 psu, donde los menores valores se ubicaron hacia la cabeza del fiordo y los mayores valores se ubicaron hacia la boca (Figs. 13c y 13d).

Bajo la superficie la salinidad aumentó sin llegar a generar una haloclina (Figs. 13c y 13d).

En la capa profunda del fiordo, se presentaron diferencias salinas en las 2 microcuencas que forman este fiordo. La zona profunda de la microcuenca oeste se presentó relativamente más salina que la cuenca este ( $> 31,0$  y  $< 31,0$  psu, respectivamente) (Figs. 13c y 13d).

#### Invierno

La distribución superficial de salinidad fluctuó entre los 8,6 y 24,0 psu, donde los menores valores se ubicaron hacia la cabeza del fiordo y los mayores valores se ubicaron hacia la boca de este (Figs. 13c, 13d y 16b).

Bajo la superficie la salinidad aumentó hasta los 15 m de profundidad, donde se generó una haloclina superficial, con un gradiente máximo de 13,6 psu/10 m hacia la cabeza del fiordo. Bajo la haloclina, la salinidad aumentó paulatinamente hasta el fondo (Figs. 13c, 13d y 16b).

En la capa profunda del fiordo, se presentaron diferencias salinas en las 2 microcuencas que forman este fiordo. La zona profunda de la microcuenca este se presentó relativamente más salina que la cuenca oeste ( $> 31,5$  y  $< 31,5$  psu, respectivamente) (Figs. 13c, 13d y 16b).

#### Primavera

La distribución superficial de salinidad fluctuó entre los 2,0 y 25,0 psu, donde los menores valores se ubicaron hacia la cabeza del fiordo y los mayores valores se ubicaron hacia la boca (Figs. 13c, 13d, 16c, 16d y 16e).

Bajo la superficie la salinidad aumentó rápidamente los primeros 15 m de profundidad, donde se generó una haloclina superficial, con un gradiente máximo de 10,8 psu/10 m hacia la cabeza del fiordo. Bajo la haloclina, la salinidad continua aumentando pero en forma paulatinamente hasta el fondo (Figs. 13c, 13d, 16c, 16d y 16e).

En la capa profunda del fiordo, se presentaron diferencias salinas en las 2 microcuencas que forman este fiordo, aún cuando las diferencias fueron menores a las otras estaciones del año muestreadas. La zona profunda de la microcuenca oeste se presentó relativamente más salina que la cuenca este ( $> 31,4$  y  $< 31,4$  psu, respectivamente) (Figs. 13c, 13d, 16c, 16d y 16e).

## **Oxígeno disuelto**

### **Verano**

La distribución superficial de oxígeno disuelto fluctuó entre los 6,0 y 6,5  $\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$ , donde los menores valores se ubicaron hacia la boca del fiordo y los mayores valores se ubicaron hacia la cabeza de este (Figs. 13e, 13f y 17a).

Bajo la superficie el oxígeno disuelto disminuyó rápidamente hasta los 50 m de profundidad, donde se generó un mínimo subsuperficial, del orden de 2,5  $\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$  en la microcuenca este. Bajo este mínimo el  $\text{O}_2$  disuelto aumentó levemente hasta el fondo (Figs. 13e, 13f y 17a). Por otro lado la microcuenca oeste presentó valores más homogéneos.

En la capa profunda del fiordo ( $> 150$  m), no se presentaron grandes diferencias en la oxigenación de las 2 microcuencas que forman este fiordo ( $> 4,0$   $\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$ ) (Figs. 13e, 13f y 17a). Sin embargo si existe una diferencia en la oxigenación en la capa entre 25 y 150 m, donde la microcuenca este presenta concentraciones del orden de 2,5  $\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$  y en la oeste de 5  $\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$  (Figs. 13e, 13f y 17a).

### **Invierno**

La distribución superficial de oxígeno disuelto fluctuó entre los 6,2 y 7,5  $\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$ , donde los menores valores se ubicaron hacia la boca del fiordo y los mayores valores se ubicaron hacia la cabeza (Figs. 13e, 13f y 17b).

Bajo la superficie el oxígeno disuelto disminuyó rápidamente hasta los 100 m de profundidad, que al igual que en el caso anterior, se generó un mínimo subsuperficial, del orden de 2,5  $\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$ , en la microcuenca este. Bajo este mínimo, el  $\text{O}_2$  disuelto aumentó levemente hasta el fondo (Figs. 13e, 13f y 17b). Por otro lado en la cuenca oeste se presentó una disminución continua del oxígeno disuelto, hasta concentraciones menores a 5  $\text{ml}\cdot\text{L}^{-1}$ .

En la capa profunda del fiordo entre los 75 y 150 m, existió cierta diferencia en la oxigenación de las 2 microcuencas que forman este fiordo. El lado oeste se presentó ligeramente más oxigenada que la cuenca este ( $> 4,0$  y  $< 3,0 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$  respectivamente) (Figs. 13e, 13f y 17b).

#### Primavera

La distribución superficial de oxígeno disuelto fluctuó entre los  $7,0$  y  $8,2 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ , donde los menores valores se ubicaron hacia la boca del fiordo y los mayores valores se ubicaron hacia la cabeza de este (Figs. 13e, 13f, 17c, 17d y 17e).

Bajo la superficie el oxígeno disuelto disminuyó rápidamente hasta los 100 m de profundidad, que al igual que en el caso anterior, se generó un mínimo subsuperficial, del orden de  $2,5 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$ , más retraído hacia la zona de la cabeza del fiordo que en los casos anteriores (válido para octubre de 1995). Bajo este mínimo, el  $\text{O}_2$  disuelto aumentó levemente hasta el fondo (Figs. 13e, 13f, 17c, 17d y 17e).

En la capa profunda del fiordo, existió bastante diferencia en la oxigenación de las 2 microcuencas que forman este fiordo. La microcuenca oeste se presentó más oxigenada que la cuenca este ( $> 5,0$  y  $< 4,0 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$  respectivamente) (Figs. 13e, 13f, 17c, 17d y 17e).

#### Nutrientes

##### Verano

La distribución superficial de nutrientes (fosfato y nitrato) presentó concentraciones que fluctuaron entre  $0,2$  y  $1,6 \mu\text{M}$  para fosfato y entre  $0,3$  y  $13,7 \mu\text{M}$  para nitrato, donde los menores valores se ubicaron hacia la cabeza del fiordo y los mayores valores se ubicaron hacia la boca (Figs. 14c, 14d, 14e, 14f, 18a y 19a).

Bajo la superficie los nutrientes aumentaron rápidamente en los primeros 25 metros de profundidad, generándose fuertes nutriclinas con gradientes del orden 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, las concentraciones de nutrientes continuaron aumentando en forma paulatina, formándose un máximo  $> 1,8 \mu\text{M}$  para fosfato y  $> 20 \mu\text{M}$  para nitrato (Figs. 14c, 14d, 14e, 14f, 18a y 19a).

En la capa profunda del fiordo, existió diferencia significativa en el contenido de nutrientes de las aguas de las 2 microcuencas que forman este fiordo. La cuenca oeste presentó relativamente bajos valores tanto de fosfato como de nitrato, respecto de la cuenca este ( $\approx 1,6$  y  $\approx 1,8 \mu\text{M}$  para fosfato y ( $\approx 16$  y  $\approx 18 \mu\text{M}$  para nitrato) (Figs. 14c, 14d, 14e, 14f, 18a y 19a).

## Invierno

La distribución superficial de nutrientes (fosfato y nitrato) presentó concentraciones que fluctuaron entre 0,4 y 1,2  $\mu\text{M}$  para fosfato y entre 4,0 y 12,0  $\mu\text{M}$  para nitrato, donde los menores valores se ubicaron hacia la cabeza del fiordo y los mayores valores se ubicaron hacia la boca (Figs. 14c, 14d, 14e, 14f, 18b y 19b).

Bajo la superficie los nutrientes aumentaron rápidamente en los primeros 15 metros de profundidad, generándose fuertes nutriclinas con gradientes del orden de 0,8  $\mu\text{M}/10\text{m}$  en fosfato y de 8,0  $\mu\text{M}/10\text{ m}$  en nitrato. Bajo la nutriclina, las concentraciones de nutrientes continuaron aumentando en forma paulatina (Figs. 14c, 14d, 14e, 14f, 18b y 19b).

En la capa profunda del fiordo, existió cierta diferencia en el contenido de nutrientes de las aguas de las 2 microcuencas que forman este fiordo. La microcuenca oeste se presentó ligeramente con menos nutrientes que la cuenca este ( $> 1,8$  y  $> 2,0$   $\mu\text{M}$  para fosfato y  $> 18,0$  y  $> 20,0$   $\mu\text{M}$  para nitrato) (Figs. 14c, 14d, 14e, 14f, 18b y 19b).

## Primavera

La distribución superficial de nutrientes (fosfato y nitrato) presentó concentraciones que fluctuaron entre 0,2 y 0,8  $\mu\text{M}$  para fosfato y entre 0 y 12,0  $\mu\text{M}$  para nitrato, donde los menores valores se ubicaron hacia la cabeza del fiordo y los mayores valores se ubicaron hacia la boca (Figs. 14c, 14d, 14e, 14f, 18c, 18d, 18e, 19c, 19d y 19e).

Bajo la superficie los nutrientes aumentaron rápidamente en los primeros 25 metros de profundidad, generándose fuertes nutriclinas con gradientes del orden de 0,6  $\mu\text{M}/10\text{m}$  en fosfato y de 7,2  $\mu\text{M}/10\text{ m}$  en nitrato. Bajo la nutriclina, las concentraciones de nutrientes continuaron aumentando en forma paulatina, formándose un máximo de 20  $\mu\text{M}$  alrededor de los 50 m de profundidad para nitrato (Figs. 14c, 14d, 14e, 14f, 18c, 18d, 18e, 19c, 19d y 19e).

En la capa profunda del fiordo, existió cierta diferencia en el contenido de nutrientes de las aguas de las 2 microcuencas que forman este fiordo. La microcuenca oeste se presentó ligeramente con menos nutrientes que la cuenca este ( $> 1,4$  y  $> 2,0$   $\mu\text{M}$  para fosfato y  $> 14,0$  y  $> 16,0$   $\mu\text{M}$  para nitrato) (Figs. 14c, 14d, 14e, 14f, 18c, 18d, 18e, 19c, 19d y 19e).

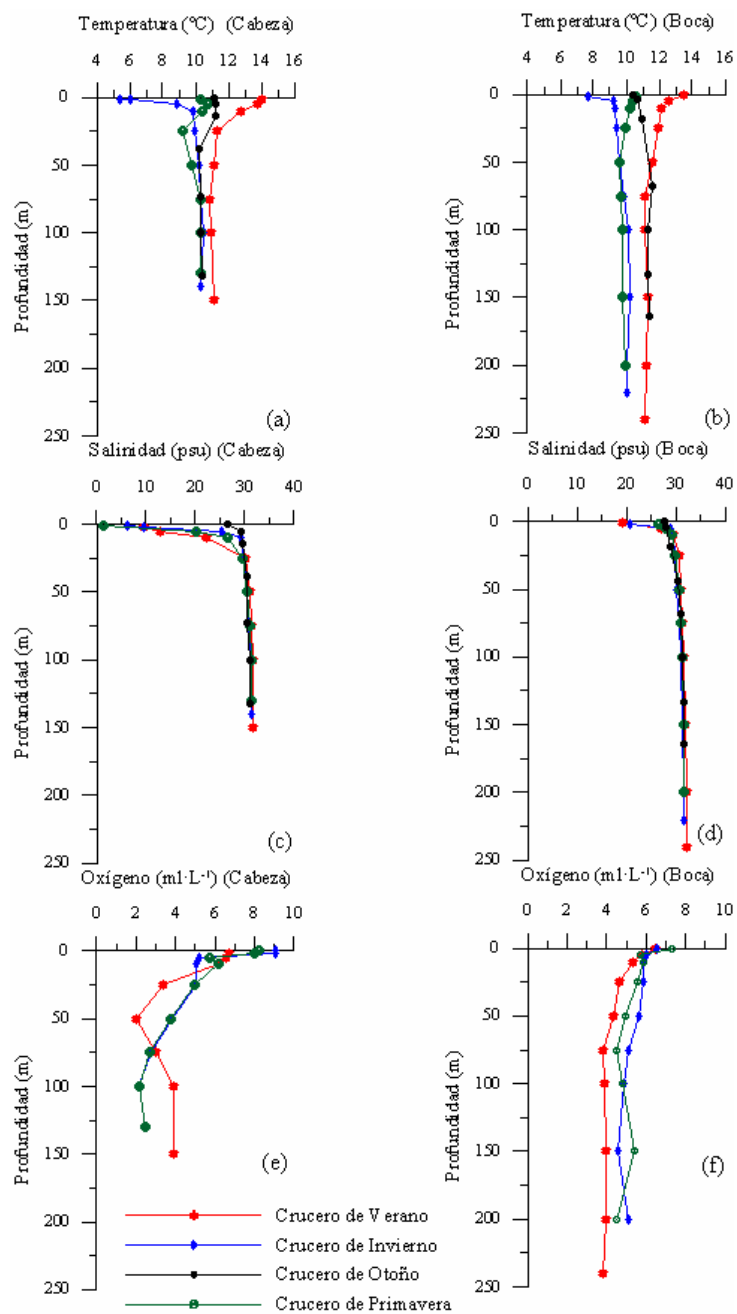


Figura 13: Perfiles verticales de las variables oceanográficas en una estación oceanográfica en la cabeza y otra en la boca del fiordo Aysén. a) temperatura (cabeza), b) temperatura (boca), c) salinidad (cabeza), d) salinidad (boca), e) oxígeno disuelto (cabeza) y f) oxígeno disuelto (boca).

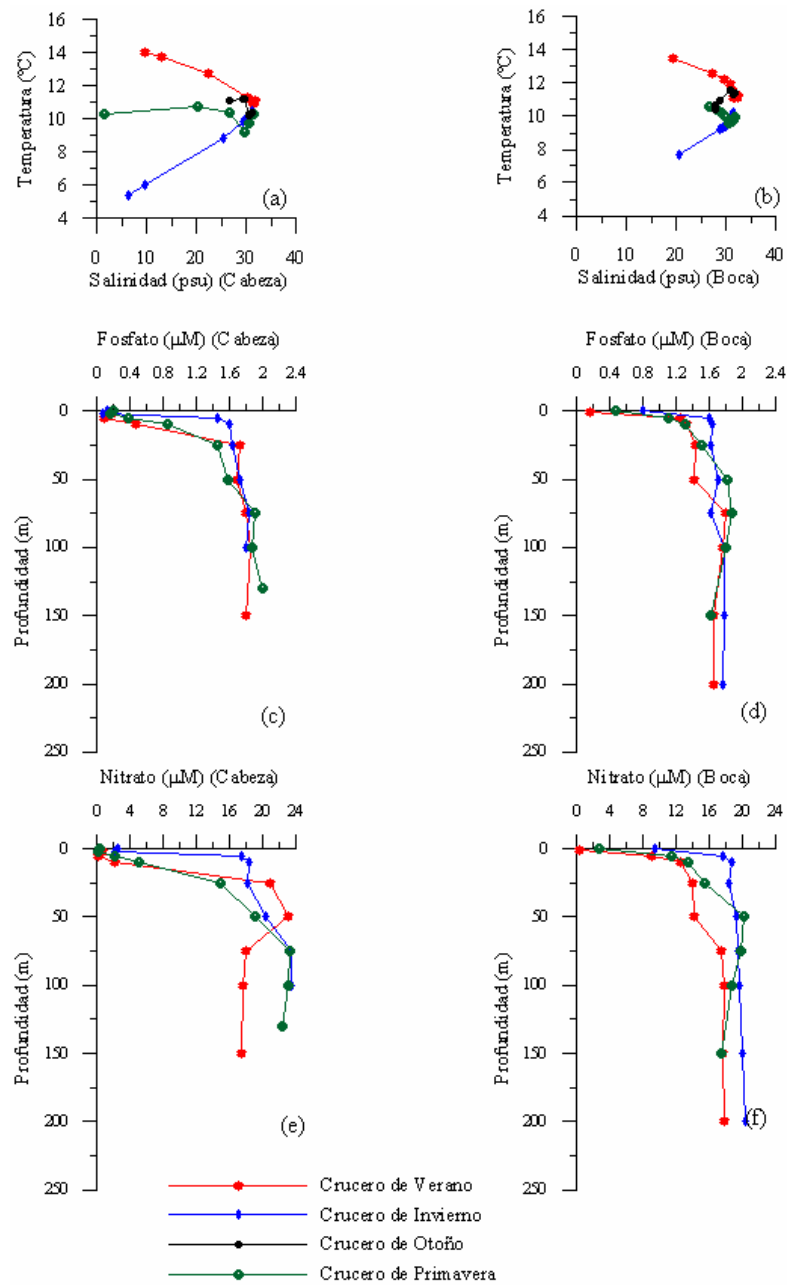
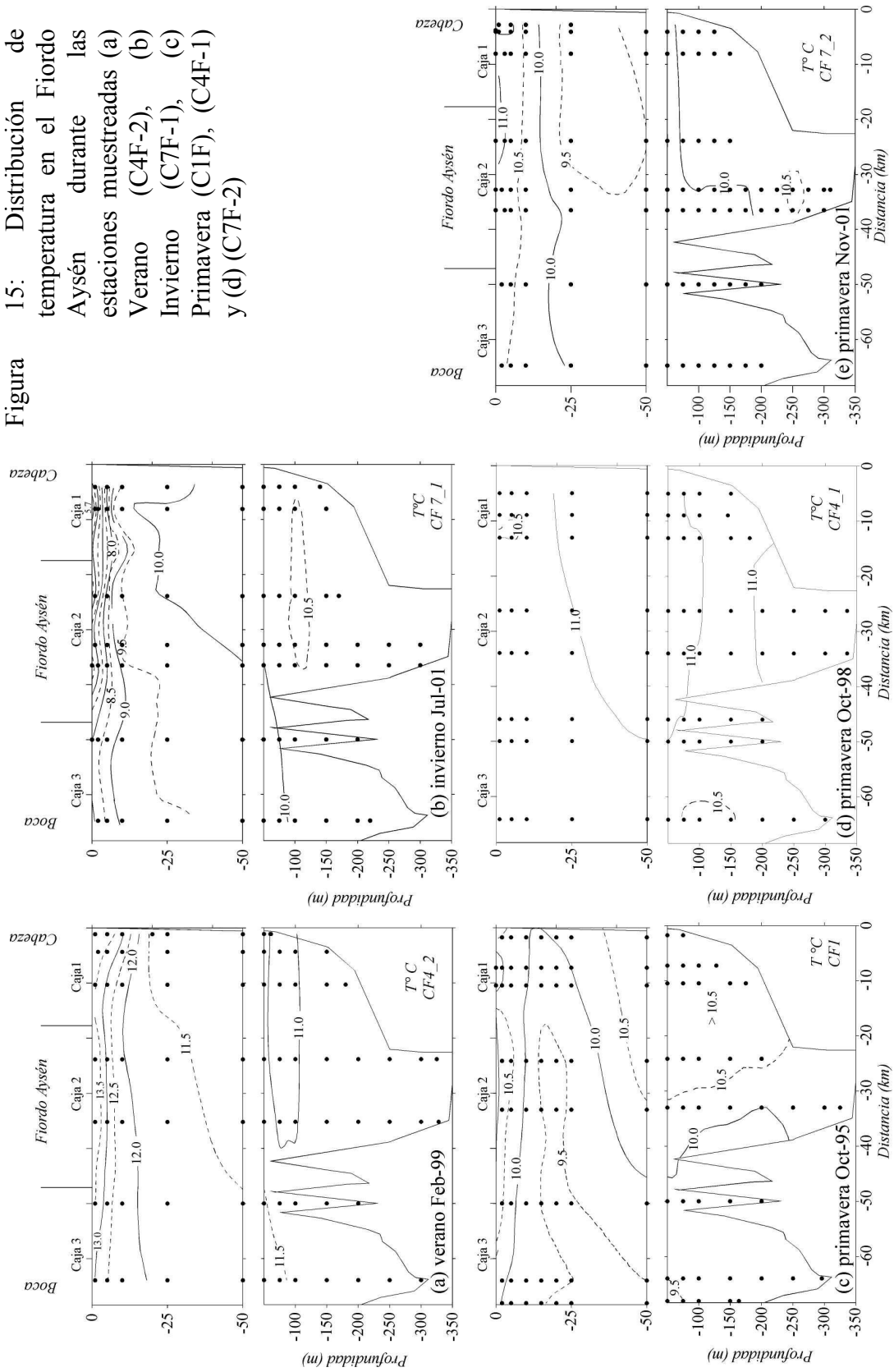


Figura 14: Diagramas T-S y perfiles verticales de las variables oceanográficas en una estación en la cabeza y otra en la boca del fiordo Aysén. a) diagrama T-S (cabeza), b) diagrama T-S (boca), c) fosfato (cabeza), d) fosfato (boca), e) nitrato (cabeza) y f) nitrato (boca).



Figura 15: Distribución de temperatura en el Fiordo Aysén durante las estaciones muestreadas (a) Verano (C4F-2), (b) Invierno (C7F-1), (c) Primavera (C1F), (C4F-1) y (d) (C7F-2)



**Figura 16: Distribución de salinidad en el Fiordo Aysén durante las estaciones muestreadas (a) Verano (C4F-2), (b) Invierno (C7F-1), (c) Primavera (C1F), (C4F-1) y (d) (C7F-2)**

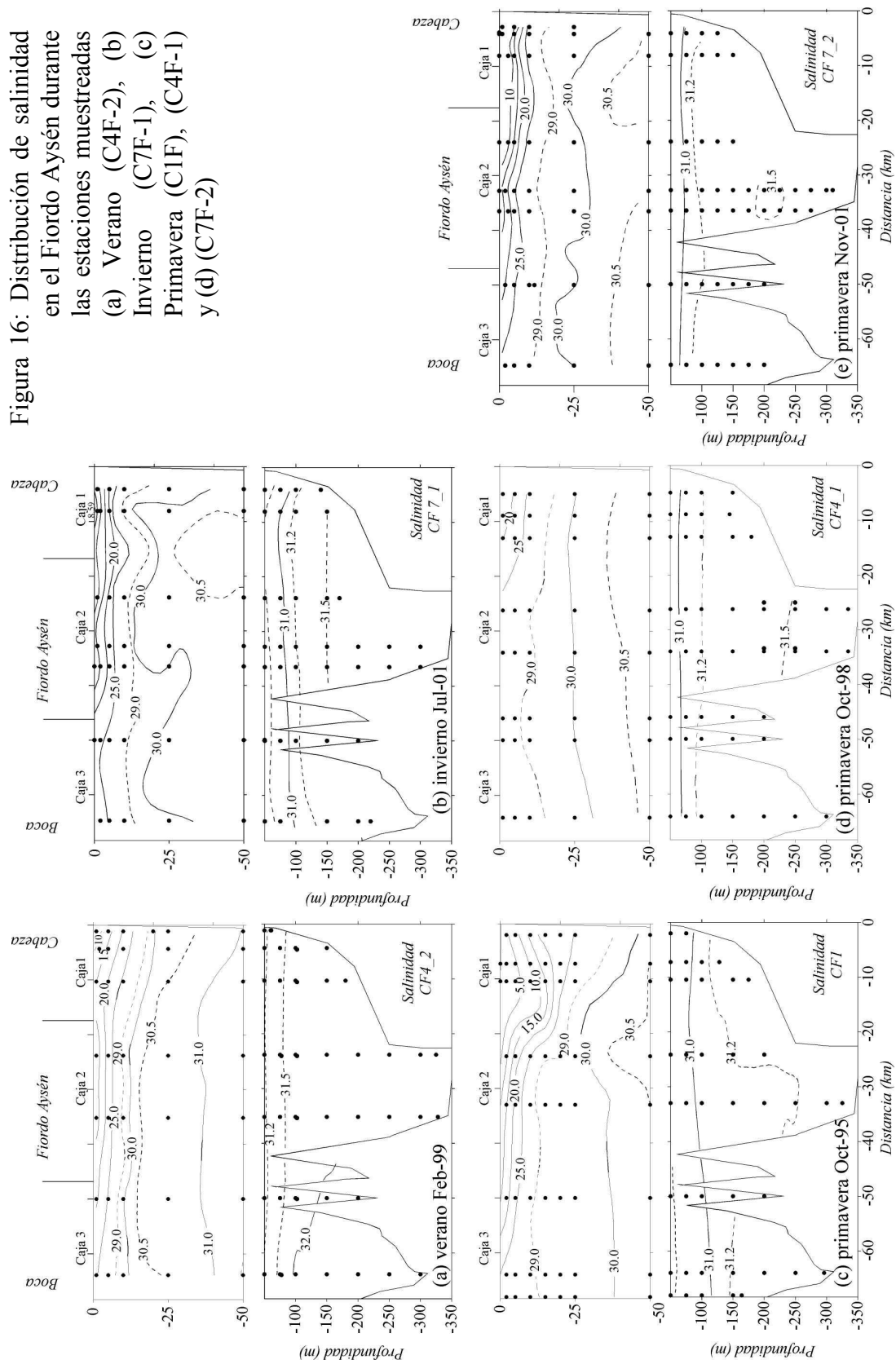


Figura 17: Distribución de oxígeno disuelto en el Fiordo Aysén durante las estaciones muestreadas (a) Verano (C4F-2), (b) Invierno (C7F-1), (c) Primavera (C1F), (C4F-1) y (d) (C7F-2)

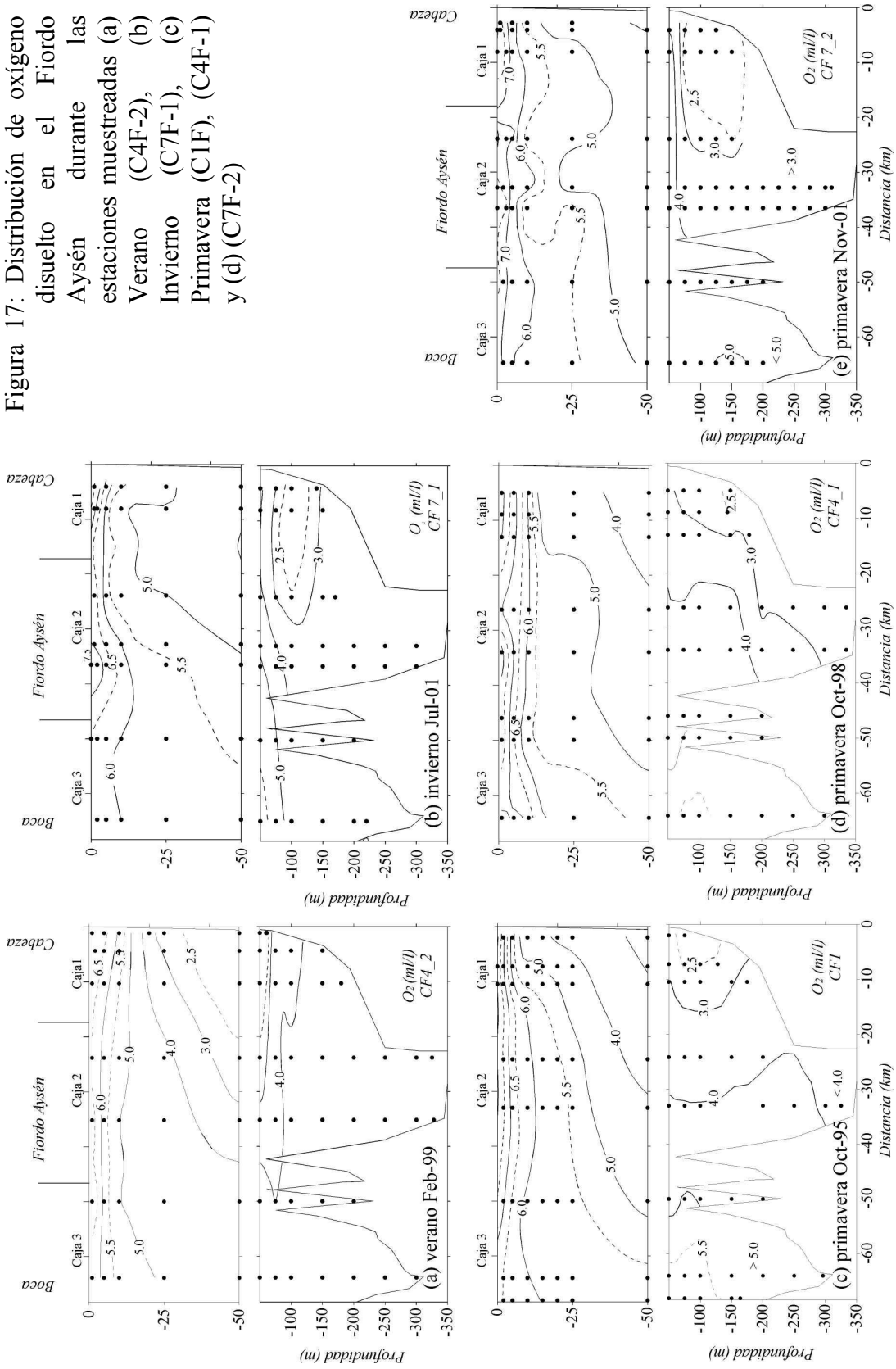


Figura 18: Distribución de fosfato en el Fiordo Aysén durante las estaciones muestreadas (a) Verano (C4F-2), (b) Invierno (C7F-1), (c) Primavera (C1F), (C4F-1) y (d) (C7F-2)

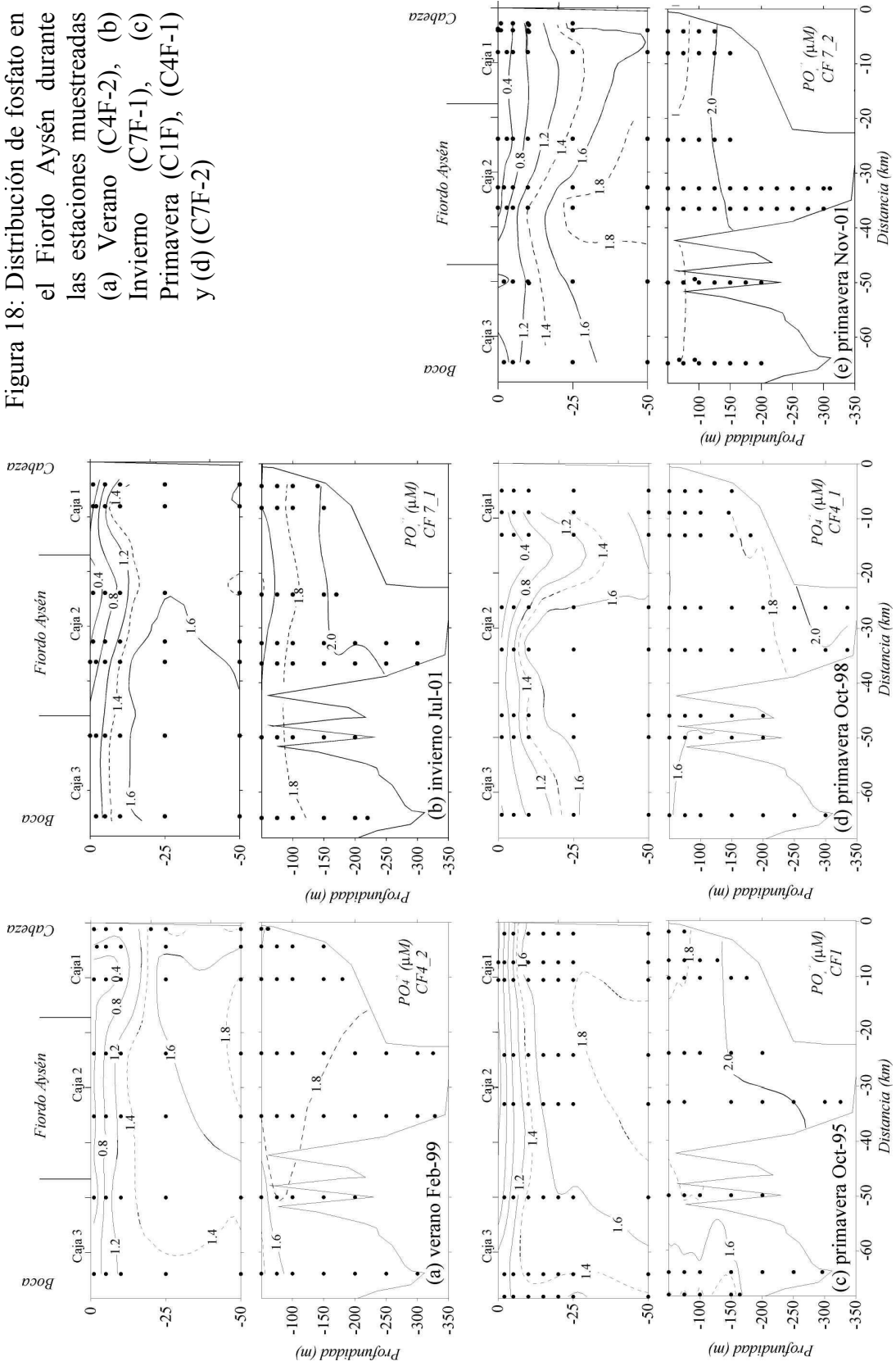
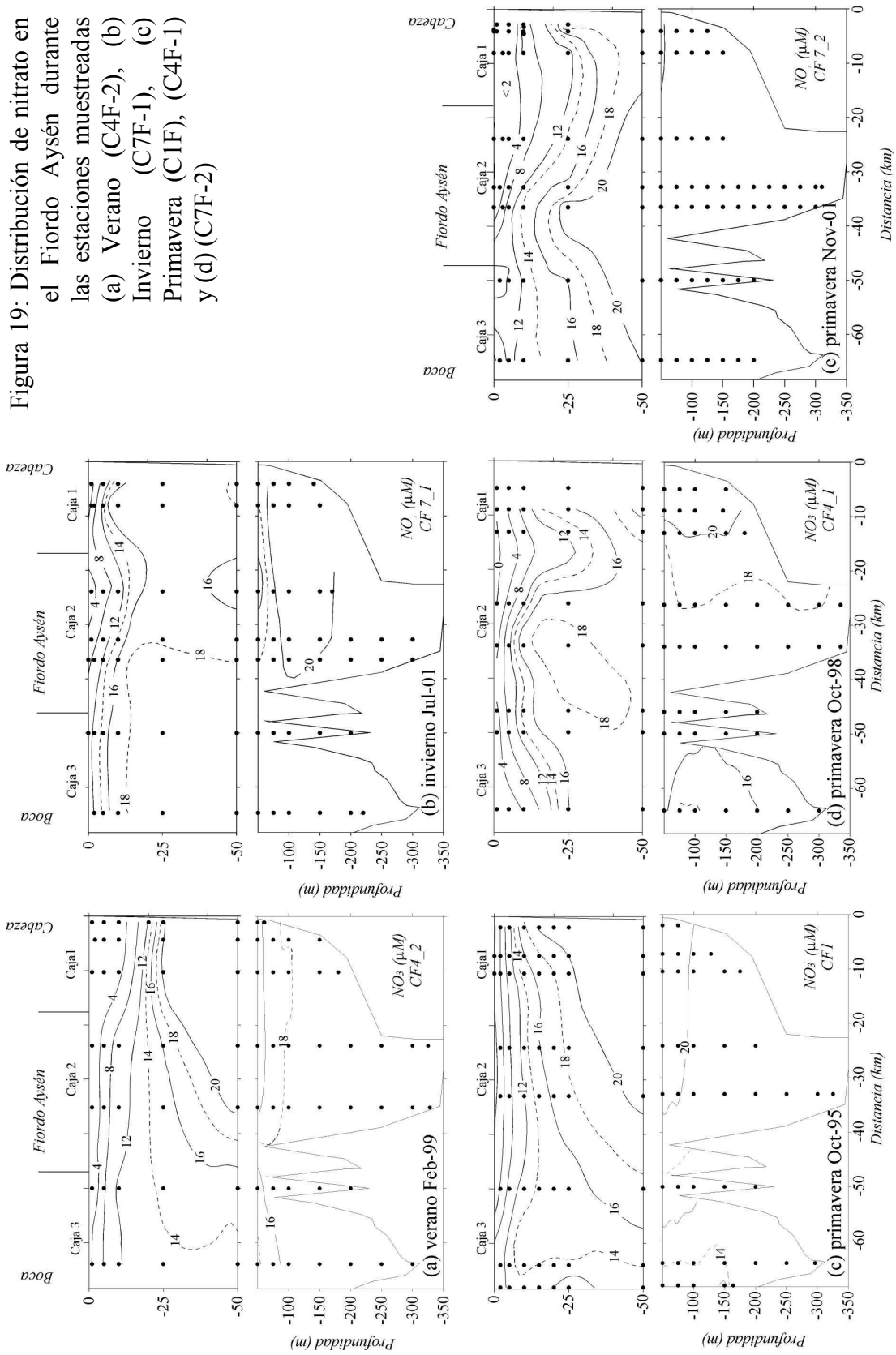


Figura 19: Distribución de nitrato en las estaciones muestreadas el Fiordo Aysén durante (a) Verano (C4F-2), (b) Invierno (C7F-1), (c) Primavera (C1F), (C4F-1) y (d) (C7F-2)



## **Masas y cuerpos de agua**

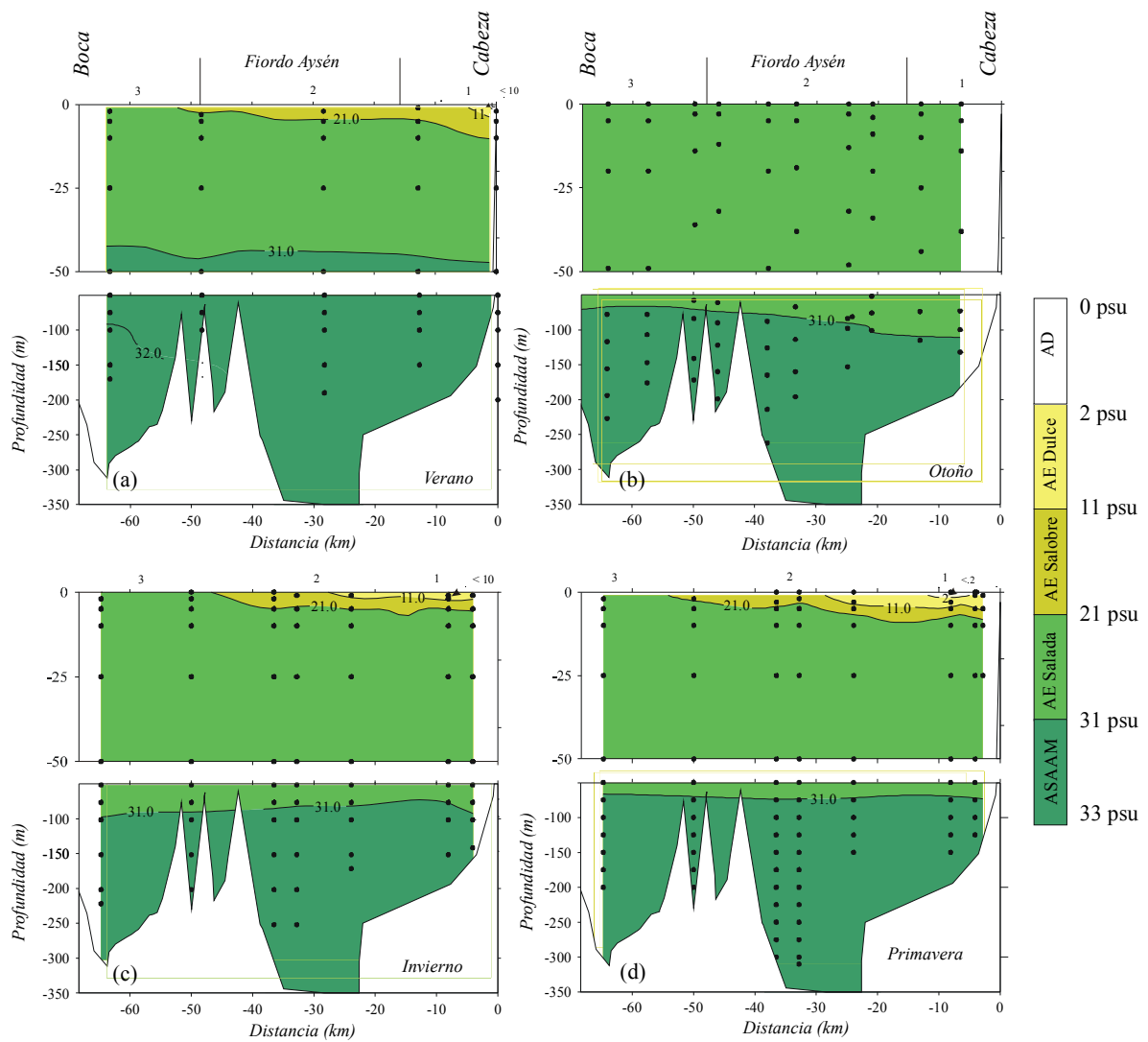
En base a diagramas T-S y los valores de salinidad presentes a lo largo de las estaciones, se observó la existencia de 3 cuerpos de agua al interior del fiordo (Fig. 14a y 14b).

En verano (Fig. 20a) se observó la presencia de una delgada capa de AE-Dulce (Agua Estuarina Dulce) de unos 5 m de espesor, que abarcó hasta unos 5 km desde la cabeza. Bajo esta agua se presentó el AE-Salobre (Agua Estuarina Salobre), que presentó una pluma de unos 50 km de largo, y su espesor disminuyó hacia la boca del fiordo. Bajo esta agua se encontró el AE-Salada (Agua Estuarina Salada), que comprendió una franja de unos 20 a unos 25 metros de espesor. Bajo este cuerpo de agua se encuentra el ASAAM (Agua Subantártica Modificada) que llena la zona profunda del fiordo. Sin embargo, en esta época la salinidad se presenta más alta, desde esta isla y del islote bonito ( $45^{\circ}18' S$  y  $72^{\circ}47'30'' W$ ).

En otoño, el fiordo se encontró dominado solo por ASAAM (Fig. 20b).

En invierno, nuevamente se apreció AE-Dulce en superficie, abarcando una mayor extensión que en verano, del orden de unos 25 km, aún cuando su espesor fue menor. Bajo esta agua se presentó AE-Salobre, por lo menos en dos tercios del fiordo en la horizontal, con un espesor de 10 m aproximadamente. El AE-Salada cubrió una franja de mayor espesor que en verano del orden de 80 mts de profundidad. Bajo este cuerpo de agua se encuentra ASAAM como agua profunda en todo el fiordo (Fig. 20c).

En primavera, se apreció una pequeña porción de AE-Dulce, casi imperceptible. La capa de AE-Salobre fue mucho mayor que en las otras estaciones, llegando a penetrar el primer tercio del fiordo, con un espesor de unos 8 m aproximadamente. Seguido por AE-Salada, que cubre dos tercios del fiordo en la horizontal, haciéndose más somera hacia la cabeza, bajo esta se encontró el ASAAM que como en los casos anteriores cubrió el resto del fiordo como agua profunda (Fig. 20d).



Figuras 20: Masas de agua al interior del fiordo Aysén, en diferentes épocas del año.

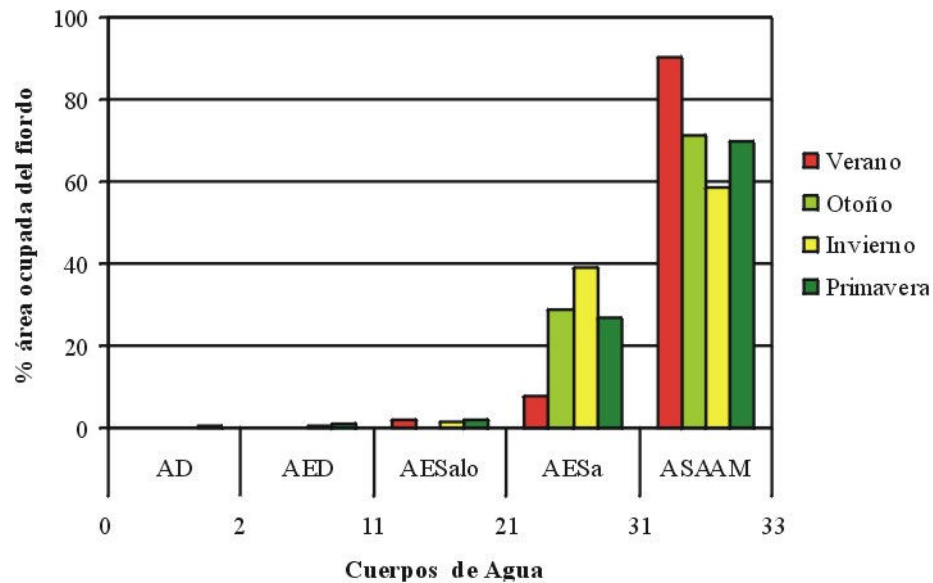


Figura 21: Relación porcentual de las áreas que ocupan las masas de agua presente en la zona de estudio.

Mediante la comparación de las áreas que ocuparon cada uno de los cuerpos de agua (ASAAM y AE Dulce, AE Salobre y AE Salada) en una sección vertical en la zona de estudio (Fig. 20). En general se apreció una predominancia muy marcada de ASAAM.

Como se dijo anteriormente, el ASAAM ocupó cerca del 60% del fiordo (Fig. 21), lo cual indica una importante influencia marina en el interior de la cuenca, siendo mayor en verano, donde ocupó más del 85% de éste. EL AE Salada, ocupó un área menor al anterior, ocupando del orden de un 30% del fiordo en otoño, invierno y primavera, ya que en verano el porcentaje que ocupó este cuerpo de agua fue inferior al 3%. La presencia de AE salobre, fue del orden de 1%, y estuvo ausente en otoño. El AE Dulce, es bastante baja su presencia, llenando menos de un 1% del sistema y el AD, fue casi imperceptible, ocupando < 1% del fiordo.



## Balance de masa

Con las dimensiones de cada una de las cajas en que fue dividido el fiordo (Tabla 4), se procedió a realizar el balance de volumen y masa, haciendo extensivas a cada una de las cajas, las ecuaciones (7), (8), (9), (10) y (11). Producto de lo anterior se generó un sistema de 15 ecuaciones que fue posible resolver, debido a que la salinidad (Tabla 7 y 8) y concentración de nutrientes (Tablas 15 y 16) para cada caja son datos conocidos. En el caso de los nutrientes solo se dispuso de datos para los cruceros Cimar, mientras que para salinidad se dispuso de los cruceros Aysén y Cimar.

Por otra parte, debido a que no existen datos instantáneos de aportes de agua dulce asociados para cada uno de los cruceros, en algunos casos éstos se estimaron en base a la serie de tiempo de 1994 a 2000, utilizando datos mensuales históricos pertinentes (Tablas 9 y 10).

La profundidad en metros donde se encuentra la haloclina (Tablas 4 y 6) que permite separar una caja en 2 capas, se obtuvo mediante la utilización de la ecuación (6).

Una vez que se dispuso del límite entre la capa superficial y la profunda, se procedió a calcular los promedios de las salinidades de cada una de las capas, en las que se ha dividido el fiordo (Tablas 7 y 8)

Tabla 7: Salinidades promedio en cada una de las cajas para cada una de los cruceros oceanográficos realizados en el seno Aysén, en los cruceros Aysén.

CRUCEROS OCEANOGRÁFICOS (Aysén)										
	Aysén I		Aysén II		Aysén III		Aysén IV		Aysén V	
Caja	S <sub>sup</sub>	S <sub>prof</sub>	S <sub>sup</sub>	S <sub>prof</sub>	S <sub>sup</sub>	S <sub>prof</sub>	S <sub>sup</sub>	S <sub>prof</sub>	S <sub>sup</sub>	S <sub>prof</sub>
1	18,26	30,87	18,26	30,93	27,35	30,63	21,45	31,18	16,93	30,97
2	23,93	31,24	23,43	31,23	28,87	31,23	23,64	31,22	22,49	31,20
3	25,05	31,05	25,36	31,16	29,18	31,32	24,74	31,11	24,28	31,19

Tabla 8: Salinidades promedio en cada una de las cajas para cada una de los cruceros oceanográficos realizados en el seno Aysén, en los cruceros Cimar Fiordos.

CRUCEROS OCEANOGRÁFICOS (Cimar)										
	C1F		C4F-1		C4F-2		C7F-1		C7F-2	
Caja	S <sub>sup</sub>	S <sub>prof</sub>	S <sub>sup</sub>	S <sub>prof</sub>	S <sub>sup</sub>	S <sub>prof</sub>	S <sub>sup</sub>	S <sub>prof</sub>	S <sub>sup</sub>	S <sub>prof</sub>
1	12,15	30,71	26,49	31,00	17,40	30,60	19,98	29,89	16,04	29,67
2	24,71	31,11	29,13	31,13	28,46	31,57	28,86	31,22	28,67	31,18
3	28,05	31,12	29,95	31,35	30,50	32,10	29,66	31,33	29,94	31,35

### Aportes de agua dulce:

El aporte fluvial en este sistema se vierte principalmente a dos de las cajas. De ellas, la caja 1 es la más afectada, debido a que recibe tanto el aporte directo del río Aysén que es de mayor caudal medio anual ( $\approx 4900 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) como del río Cóndor, que posee un caudal medio anual mucho menor ( $\approx 49 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

Este considerable aporte fluvial llegó a generar en la cabeza del fiordo salinidades menores a 2 psu (durante los meses primaverales). La caja 2 también presentó una disminución en la salinidad por el aporte del río Cuervo, con un caudal medio anual bajo ( $\approx 100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

De los aportes de agua dulce tanto fluviales, como de precipitación y de pérdidas por evaporación para el fiordo Aysén, solo se dispone en algunos casos de valores históricos del respectivo mes y en otros casos, se tienen valores medidos en el mismo mes y año del muestreo (Tabla 9 y 10).

Tabla 9: Aportes de agua que vierten los ríos al fiordo Aysén ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), para el mes correspondiente a cada uno de los cruceros. Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas).

Crucero	Período Mes/año	Río Aysén Caudal ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	Río Cóndor Caudal ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	Río Cuervo Caudal ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )
Aysén I	09/1991	627 (*)	36,4 (*)	74,9 (*)
Aysén II	01/1992	427 (*)	52,3 (*)	81,9 (*)
Aysén III	05/1992	439 (*)	49,3 (*)	116,3 (*)
Aysén IV	08/1992	922 (*)	54,3 (*)	79,7 (*)
Aysén V	12/1992	472 (*)	48,8 (*)	93,8 (*)
C1F	10/1995	602 (**)	36,2 (**)	86,5 (*)
C4F-1	10/1998	441 (**)	42,5 (**)	81,9 (*)
C4F-2	03/1999	251 (**)	36,3 (**)	95,5 (*)
C7F-1	07/2000	593 (*)	60,7 (*)	100,0 (*)
C7F-2	10/2000	568 (*)	48,6 (*)	84,0 (*)

(\*) Valores históricos para el respectivo mes del muestreo.

(\*\*) Valores medidos en el respectivo mes y año del muestreo.

Tabla 10: Precipitación y Evaporación en fiordo Aysén ( $\text{mm}\cdot\text{mes}^{-1}$ ), para el mes correspondiente a cada uno de los cruceros. Dirección General de Aguas (Ministerio de Obras Públicas).

<b>Crucero</b>	<b>Período Mes/año</b>	<b>Precipitación (mm/mes)</b>	<b>Evaporación (mm/mes)</b>
Aysén I	09/1991	293,0 (**)	36,4 (*)
Aysén II	01/1992	196,3 (*)	91,6 (*)
Aysén III	05/1992	153,9 (**)	20,4 (*)
Aysén IV	08/1992	198,1 (**)	25,8 (*)
Aysén V	12/1992	248,7 (**)	83,7 (*)
C1F	10/1995	128,9 (**)	73,8 (**)
C4F-1	10/1998	200,4 (**)	52,6 (**)
C4F-2	03/1999	90,9 (**)	50,0 (**)
C7F-1	07/2000	170,7 (*)	20,8 (*)
C7F-2	10/2000	152,0 (*)	72,5 (*)

(\*) Valores históricos para el respectivo mes del muestreo.

(\*\*) Valores medidos en el respectivo mes y año del muestreo.

La precipitación sobre el área del fiordo en  $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  (área de la caja por la precipitación), no representó gran aporte de agua dulce, llegando a ser menos de un 1% del total que llega a través de los ríos. Por otro lado, la evaporación, tampoco representó una gran pérdida de agua dulce desde el sistema.

El volumen de aguas subterráneas no fue considerado, ya que no existen mediciones en la zona. Por otra parte, debido a las características de suelo rocoso de buena parte del fiordo, es posible considerar que las infiltraciones son escasas y muy posiblemente despreciables relativo a otros aportes de agua dulce de los ríos. Al igual que en el caso anterior el volumen de aguas dulces no fluviales se consideró despreciable, debido a ausencia de fuentes de ingresos de aguas dulces diferentes a la de los ríos y la precipitación en la zona de Aysén.

Una vez aplicadas las ecuaciones (7), (8), (9), (10) y (11) que corresponden al modelo de balance de agua y sal y posteriormente la ecuación (5) se obtuvieron los siguientes caudales medios y tiempos de residencia estimados para cada uno de los cruceros (Tabla 11, 12 y 13):

Tabla 11: Resultados del modelo de balance de agua y sal para los cruceros Aysén I, II y III (en valores absolutos).

Variables estimadas	CRUCEROS OCEANOGRAFICOS								
	Aysén I (Primavera) Sep. 91			Aysén II (Verano) Ene. 92			Aysén III (Otoño) May. 92		
	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 1	Caja 2	Caja 3
<b>Caudales</b> ( $10^6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ )									
$V_{In}$	51	120	167	52	100	196	293	490	729
$V_{Out}$	109	186	232	109	164	260	351	555	794
<b>Tiempo de residencia</b>									
$\tau$ (días)	41	203	88	41	230	78	13	68	26

Tabla 12: Resultados del modelo de balance agua y sal para los cruceros Aysén IV, V y Cimar 1 Fiordo (en valores absolutos).

Variables estimadas	CRUCEROS OCEANOGRAFICOS								
	Aysén IV (Invierno) Ago. 92			Aysén V (Verano) Dic. 92			CIF (Primavera) Oct. 95		
	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 1	Caja 2	Caja 3
<b>Caudales</b> ( $10^6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ )									
$V_{In}$	41	141	175	42	85	169	29	173	294
$V_{Out}$	99	206	239	100	150	233	86	237	358
<b>Tiempo de residencia</b>									
$\tau$ (días)	45	183	85	44	251	87	52	159	57

Tabla 13: Resultados del modelo de balance de agua y sal para los cruceros Cimar 4 Fiordo etapa I y II, y Cimar 7 Fiordo etapa I y II (en valores absolutos).

Variables estimadas	CRUCEROS OCEANOGRAFICOS											
	C4F-1 (Primavera) Oct. 98			C4F-2 (Verano) Mar. 99			C7F-1 (Invierno) Jul. 01			C7F-2 (Primavera) Oct. 01		
	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 1	Caja 2	Caja 3
<b>Caudales</b> ( $10^6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ )												
$V_{In}$	334	822	731	70	500	542	103	759	802	60	680	720
$V_{Out}$	392	887	797	127	564	606	161	824	868	117	687	802
<b>Tiempo de residencia</b>												
$\tau$ (días)	11	43	25	35	67	34	28	46	23	38	55	25

Por el hecho de tratarse de cruceros realizados en diferentes estaciones del año, es factible realizar un análisis interestacional de estos, agrupándolos según corresponda (Tabla 14).

Por otro lado, debido a que cada caja posee un volumen diferente se procedió a estandarizar los resultados de tiempo de residencia. Para ello se normalizó el tiempo de

residencia a  $\text{km}^3$  mediante la división del tiempo de residencia por el volumen respectivo de cada caja (Tabla 14).

Tabla 14: Resultados del modelo de balance de agua y sal en forma estacional (en valores absolutos).

Variables estimadas	CRUCEROS OCEANOGRÁFICOS											
	Verano (1)			Otoño (2)			Invierno (3)			Primavera (4)		
Caudales ( $10^6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ )	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 1	Caja 2	Caja 3
$V_{\text{In}}$	55	228	302	293	490	729	72	450	489	119	449	478
$V_{\text{Out}}$	112	293	366	351	555	794	130	515	554	176	499	547
Tiempo de residencia												
$\tau$ (días)	40	183	66	13	68	26	37	115	54	36	115	49
$\tau$ (día/ $\text{km}^3$ )	9	5	3	3	2	1	8	3	3	8	3	2

- (1) Incluye promedio de crucero Aysén II, Aysén V y C4F-2
- (2) Incluye crucero Aysén III
- (3) Incluye promedio de crucero Aysén IV y C7F-1
- (4) Incluye promedio de crucero Aysén I, C1F, C4F-1 y C4F7-2

## Balance de nutrientes

Al igual que en caso del balance de agua y sal, que una vez determinada la profundidad de la haloclina, se procedió a calcular los promedios de las concentraciones medias de los nutrientes para cada capa de cada una de las cajas (Tablas 15 y 16).

Tabla 15: Concentración media de nutrientes en  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  en el agua durante los cruceros Cimar 1 y 4 Fiordos en sus dos etapas realizados en el fiordo Aysén.

Cruceros Oceanográficos												
	C1F				C4F-1				C4F-2			
Caja	P <sub>sup</sub>	P <sub>prof</sub>	N <sub>sup</sub>	N <sub>prof</sub>	P <sub>sup</sub>	P <sub>prof</sub>	N <sub>sup</sub>	N <sub>prof</sub>	P <sub>sup</sub>	P <sub>prof</sub>	N <sub>sup</sub>	N <sub>prof</sub>
1	0,80	1,81	5,80	19,25	0,72	1,40	10,18	16,69	0,71	1,79	4,38	18,27
2	1,45	1,90	15,70	20,12	1,24	1,82	16,30	17,13	1,53	1,80	16,17	17,95
3	1,60	1,55	13,05	14,58	1,43	1,46	14,59	16,00	1,48	1,74	14,98	17,73

Tabla 16: Concentración media de nutrientes en  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  en el agua durante cada etapa del crucero Cimar 7 Fiordos en el fiordo Aysén.

Cruceros Oceanográficos									
	C7F-1				C7F-2				
Caja	P <sub>sup</sub>	P <sub>prof</sub>	N <sub>sup</sub>	N <sub>prof</sub>	P <sub>sup</sub>	P <sub>prof</sub>	N <sub>sup</sub>	N <sub>prof</sub>	
1	1,26	1,89	14,72	21,10	0,38	1,80	1,66	20,38	
2	1,48	1,88	16,52	20,42	0,94	2,05	8,52	21,59	
3	1,66	1,79	18,87	20,24	1,17	1,74	11,70	17,28	

Con los caudales de agua calculados en el balance de agua y sal, y las concentraciones medias de nutrientes, se efectuó el cálculo y el balance de nutrientes (Tabla 17 y 18).

Tabla 17: Resultados del balance de nutrientes para los cruceros Cimar 1 y 4 Fiordos en sus dos etapas.

Fluctuación (10 <sup>6</sup> mmol d <sup>-1</sup> )	CRUCEROS OCEANOGRAFICOS								
	CIF (Primavera) Oct. 95			C4F-1 (Primavera) Oct. 98			C4F-2 (Verano) Mar 99		
	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 1	Caja 2	Caja 3
<b>Capa superficial</b>									
ΔDIN	- 1261	- 7853	+ 3117	- 10859	- 11862	+ 2278	- 1783	- 14919	+ 6292
ΔDIP	- 148	- 702	+ 267	- 751	- 1166	+ 171	- 216	- 1399	+ 576
<b>Capa profunda</b>									
ΔDIN	+ 45	- 669	+ 8440	- 1129	+ 6024	+ 12541	+ 417	+ 924	+ 12923
ΔDIP	+ 4	- 33	+ 499	+ 145	+ 641	+ 929	+ 6	+ 92	+ 1120
<b>Total S-sistema</b>									
ΔDIN	- 1216	- 8522	+ 11557	- 11988	- 5839	+ 14819	- 1366	- 13995	+ 19215
ΔDIP	- 144	- 735	+ 766	- 606	- 525	+ 1100	- 210	- 1307	+ 1696

Tabla 18: Resultados del balance de nutrientes para los cruceros Cimar 7 Fiordos en sus dos etapas.

Fluctuación (10 <sup>6</sup> mmol d <sup>-1</sup> )	CRUCEROS OCEANOGRAFICOS					
	C7F-1 (Invierno) Jul 01			C7F-2 (Primavera) Oct. 01		
	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 1	Caja 2	Caja 3
<b>Capa superficial</b>						
ΔDIN	- 4434	- 22443	+ 6542	- 1287	- 17733	+ 22242
ΔDIP	- 394	- 2045	+ 571	- 149	- 1761	+ 1644
<b>Capa profunda</b>						
ΔDIN	+ 40	+ 2063	+ 17670	+ 203	- 1128	+ 26429
ΔDIP	+ 10	+ 759	+ 1513	+ 25	- 53	+ 1740
<b>Total S-sistema</b>						
ΔDIN	- 4394	- 20380	+ 24212	- 1084	- 18861	+ 48671
ΔDIP	- 384	- 1915	+ 2084	- 124	- 1814	+ 3384

Al igual que en el caso del balance de agua y sal, para el balance de nutrientes es conveniente realizar un promedio inter-estacional (Tabla 19):

Tabla 19: Resultados de los flujos medios estimados estacionalmente en el balance de nutrientes del fiordo Aysén.

Fluctuación (10 <sup>6</sup> mmol d <sup>-1</sup> )	ESTACIÓN DEL AÑO								
	Verano (1)			Invierno (2)			Primavera (3)		
	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 1	Caja 2	Caja 3
<b>Capa superficial</b>									
ΔDIN	- 1783	- 14919	+ 6292	- 4434	- 22443	+ 6542	- 4803	- 7769	+ 7859
ΔDIP	- 216	- 1399	+ 576	- 394	- 2045	+ 571	- 488	- 764	+ 565
<b>Capa profunda</b>									
ΔDIN	+ 417	+ 924	+ 12923	+ 40	+ 2063	+ 17670	+ 2091	+ 3581	+ 11762
ΔDIP	+ 6	+ 92	+ 1120	+ 10	+ 759	+ 1513	+ 223	+ 281	+ 748
<b>Total S-sistema</b>									
ΔDIN	- 1366	- 13995	+ 19215	- 4394	- 20380	+ 24212	- 2713	- 4188	+ 19621
ΔDIP	- 210	- 1307	+ 1696	- 384	- 1915	+ 2084	- 264	- 483	+ 1313

- (1) Incluye crucero C4F-2  
(2) Incluye crucero C7F-1  
(3) Incluye crucero C1F, C4F-1 y C7F-2

Al igual que en el caso de los tiempos de residencia, para una mejor explicación de los resultados, se normalizaron, los valores expuestos en la tabla 19.

Tabla 20: Normalización del volumen de los flujos estimados estacionalmente en el balance de nutrientes del fiordo Aysén.

Fluctuación (10 <sup>6</sup> mmol d <sup>-1</sup> )	ESTACIÓN DEL AÑO								
	Verano (1)			Invierno (2)			Primavera (3)		
	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 1	Caja 2	Caja 3
<b>Capa superficial</b>									
ΔDIN	- 405	- 396	+ 310	- 1008	- 595	+ 322	- 1092	- 206	+ 387
ΔDIP	- 49	- 37	+ 28	- 90	- 54	+ 28	- 111	- 20	+ 28
<b>Capa profunda</b>									
ΔDIN	+ 95	+ 25	+ 637	+ 9	+ 55	+ 870	+ 475	+ 95	+ 579
ΔDIP	+ 1	+ 2	+ 55	+ 2	+ 20	+ 75	+ 51	+ 7	+ 37
<b>Total S-sistema</b>									
ΔDIN	- 310	- 371	+ 947	- 999	- 541	+ 1193	- 617	- 111	+ 967
ΔDIP	- 48	- 35	+ 84	- 87	- 51	+ 103	- 60	- 13	+ 65

- (1) Incluye crucero C4F-2  
(2) Incluye crucero C7F-1  
(3) Incluye crucero C1F, C4F-1 y C7F-2



## Pérdida y/o ganancia neta de Nitrógeno

Con los resultados de la conceptualización de la ecuación 12 y con los valores obtenidos en la tabla 19, se obtuvo el resultado del balance de nutrientes en el fiordo en cada una de las estaciones muestreadas (Tabla 21):

Tabla 21: Resultado del balance de nutrientes para cada una de las estaciones del año en el fiordo Aysén.

$N_{Gain}$ v/s $N_{Loss}$	ESTACIÓN DEL AÑO								
	Verano (1)			Invierno (2)			Primavera (3)		
Capa superficial	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 1	Caja 2	Caja 3
$*10^3 \text{ mol N d}^{-1}$	+ 1673	+ 7465	- 2924	+ 1870	+ 10277	- 2594	+ 3005	+ 4455	- 1181
$\text{mmol N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	+ 33,87	+ 42,75	- 26,63	+ 38,85	+ 58,86	- 23,62	+ 60,83	+ 25,52	- 10,76
Estado neto	$N_{Gain}$	$N_{Gain}$	$N_{Loss}$	$N_{Gain}$	$N_{Gain}$	$N_{Loss}$	$N_{Gain}$	$N_{Gain}$	$N_{Loss}$
Capa profunda									
$*10^3 \text{ mol N d}^{-1}$	- 49	- 231	- 4997	- 120	- 17	- 6538	- 1477	- 915	- 206
$\text{mmol N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	- 0,99	- 1,32	- 45,51	- 2,43	- 0,10	- 59,54	- 29,90	- 5,24	- 1,88
Estado neto	$N_{Loss}$	$N_{Loss}$	$N_{Loss}$	$N_{Loss}$	$N_{Loss}$	$N_{Loss}$	$N_{Loss}$	$N_{Loss}$	$N_{Loss}$
Total S-sistema									
$*10^3 \text{ mol N d}^{-1}$	+ 1624	+ 7234	- 7921	+ 1750	+ 10260	- 9132	+ 1511	+ 3540	- 1387
$\text{mmol N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	+ 32,88	+ 41,43	- 72,14	+ 36,43	+ 58,76	- 83,17	+ 30,59	+ 20,27	- 12,63
Estado neto	$N_{Gain}$	$N_{Gain}$	$N_{Loss}$	$N_{Gain}$	$N_{Gain}$	$N_{Loss}$	$N_{Gain}$	$N_{Gain}$	$N_{Loss}$

- (1) Incluye crucero C4F-2
- (2) Incluye crucero C7F-1
- (3) Incluye crucero C1F, C4F-1 y C7F-2

Los datos de la tabla anterior, en general, muestran que en la capa superficial de la caja 1 y caja 2, se presentó una condición de ganancia neta de nitrógeno. La caja 3 presentó una condición de pérdida neta de nitrógeno.

En la capa profunda se aprecia una pérdida neta de nitrógeno en todas las cajas.

El sistema en general es bastante similar a la capa superficial, donde se aprecia en general ganancia neta de nitrógeno en dos tercios del fiordo y pérdida neta de nitrógeno en la caja más expuesta.

Al igual que en caso del tiempo de residencia para un mejor entendimiento del balance de nutrientes es necesario estandarizar los resultados, en base a que cada una de las cajas posee un volumen diferente.

Tabla 22: Normalización del resultado del balance de nutrientes respecto al volumen de agua para cada una de las estaciones del año, en el fiordo Aysén.

N <sub>gain</sub> v/s N <sub>Loss</sub>	ESTACIÓN DEL AÑO								
	Verano (1)			Invierno (2)			Primavera (3)		
Capa superficial	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 1	Caja 2	Caja 3
Unidad 1	+ 380	+ 198	- 144	+ 425	+ 273	- 128	+ 683	+ 118	- 58
Unidad 2	+ 7,7	+ 1,1	- 1,3	+ 8,8	+ 1,6	- 1,2	+ 13,8	+ 0,7	- 0,5
Estado neto	<i>N<sub>Gain</sub></i>	<i>N<sub>Gain</sub></i>	<i>N<sub>Loss</sub></i>	<i>N<sub>Gain</sub></i>	<i>N<sub>Gain</sub></i>	<i>N<sub>Loss</sub></i>	<i>N<sub>Gain</sub></i>	<i>N<sub>Gain</sub></i>	<i>N<sub>Loss</sub></i>
Capa profunda									
Unidad 1	- 11	-6	- 246	- 27	- 0	- 322	- 336	- 24	- 10
Unidad 2	- 0,2	- 0	- 2,2	- 0,6	- 0	- 2,9	- 7	- 0	- 0
Estado neto	<i>N<sub>Loss</sub></i>	<i>N<sub>Loss</sub></i>	<i>N<sub>Loss</sub></i>	<i>N<sub>Loss</sub></i>	<i>N<sub>Loss</sub></i>	<i>N<sub>Loss</sub></i>	<i>N<sub>Loss</sub></i>	<i>N<sub>Loss</sub></i>	<i>N<sub>Loss</sub></i>
Total S-sistema									
Unidad 1	+ 369	+ 192	- 390	+ 398	+ 273	- 450	+ 343	+ 94	- 68
Unidad 2	+ 7,5	+ 1,1	- 3,6	+ 8,3	+ 1,6	- 4,1	+ 7	+ 0,5	- 0,6
Estado neto	<i>N<sub>Gain</sub></i>	<i>N<sub>Gain</sub></i>	<i>N<sub>Loss</sub></i>	<i>N<sub>Gain</sub></i>	<i>N<sub>Gain</sub></i>	<i>N<sub>Loss</sub></i>	<i>N<sub>Gain</sub></i>	<i>N<sub>Gain</sub></i>	<i>N<sub>Loss</sub></i>

- (1) Incluye crucero C4F-2
  - (2) Incluye crucero C7F-1
  - (3) Incluye crucero C1F, C4F-1 y C7F-2
- Unidad 1 =  $10^3 \text{ mol}\cdot\text{N}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{km}^{-3}$   
 Unidad 2 =  $\text{mmol}\cdot\text{N}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{km}^{-3}$

## DISCUSIÓN

### Condiciones hidrográficas

Las variables hidrográficas de precipitación, evaporación y caudales de los ríos, en general presentan fluctuaciones a lo largo del año, producto de las variaciones estacionales, propias de latitudes intermedias, donde se ubica el fiordo Aysén.

La señal anual de la precipitación presentó un máximo característico durante los meses invernales, con mínimos en la época estival y algunos máximos secundarios durante otoño y primavera. Este patrón fue característico tanto en Puerto Aysén como en Puerto Chacabuco (Figs. 7, 8 y 9).

En cuanto a la evaporación, esta también presenta una señal anual marcada, con las mayores evaporaciones en la época estival (Fig. 10), producto de la mayor cantidad de radiación solar y menor precipitación y las menores en la época invernal, debido al efecto de la disminución de la radiación solar y el aumento en la precipitación. Sin embargo en la zona de estudio, la evaporación no fue significativa como un secuestro de agua del sistema, frente a los aportes que existen en él.

El caudal de los ríos que vierten sus aguas al fiordo, también presentan ciclos anuales. Sin embargo, el río Aysén es el que representa mayor importancia dentro del sistema, ya que aportó más del 95% de toda el agua fluvial registrada. Estos caudales presentaron un aumento durante los meses invernales, y una notable disminución en los meses estivales, coincidiendo en general con el ciclo anual de la precipitación.

Por otra parte, la característica batimetría más importante del fiordo es la presencia de un umbral situado a la altura de la isla cinco hermanos, que divide el fiordo en dos microcuencas, con características oceanográficas diferentes, debido a que la micro-cuenca al este de la isla tiene una influencia fluvial y la micro-cuenca oeste una influencia más oceánica.

### Condiciones oceanográficas

Producto de las variaciones anuales de la radiación solar, típica de zona ubicadas en latitudes intermedias, al igual que la variabilidad del aporte de aguas dulces proveniente de la precipitación y de ríos que en general fueron aguas oligotróficas durante los períodos de muestreo (del orden de  $0,04 \mu\text{M}$  para fosfato  $0,14 \mu\text{M}$  para nitrato), la distribución vertical de los parámetros oceanográficos presentó una estructura de dos capas a lo largo del año: una superior bastante variable y otra más profunda, relativamente más homogénea. Sin embargo en otoño, esta estructura de dos capas no fue observada.

Las variables oceanográficas de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes (Figs. 12a, 12b, 12c, 12d, 13a y 13b), presentaron en la zona de la cabeza una mayor fluctuación, debido a que en esta zona es donde ocurrieron los aportes de agua dulce de los ríos Aysén y Cóndor. En la boca la mezcla fue mayor debido a que los aportes de agua se reducen solo al escurrimiento costero, pluviosidad y aguas marinas desde el Moraleda.

La distribución vertical de temperatura presentó una capa superficial más cálida en la época estival, mientras que en invierno se presentó una capa superficial más fría, que en la época primaveral y otoñal. Bajo la superficie tanto en verano como en primavera se aprecia una disminución del parámetro llegando a formar un mínimo subsuperficial alrededor de los 75 m de profundidad, para luego aumentar ligeramente. En invierno por el contrario, debido al aporte de aguas dulces más frías en superficie se produce una inversión térmica, aumentando la temperatura en profundidad, lo que fue más marcado hacia la cabeza del fiordo. Esta característica parece ser típica del fiordo ya que fue descrita anteriormente por Sievers & Prado (1994), Silva *et al.* (1995), Calvete (1997), Guzmán (2000) y Guzmán & Silva (2002).

En cuanto a la zona profunda de las microcuencas, se aprecian diferencias, siendo la cuenca oeste ligeramente más fría que la este, aproximadamente 0,5°C.

La distribución vertical de salinidad presentó una capa superficial más salina en la época estival, que en la época invernal. Hacia la cabeza del fiordo en primavera se aprecian los valores más bajos, por efecto de dilución del agua que vierte el río Aysén (Fig. 16a y 16b). Esto provoca que se genere una estructura de dos capas, separada por una haloclina de profundidad variable, la que fue más intensa en verano (Silva *et al.*, 1995 y Guzmán, 2000). Bajo la capa superficial se aprecia un lento aumento de la variable, para continuar casi homohalina hasta el fondo.

En cuanto a la zona profunda de las microcuencas durante la época estival, se aprecian diferencias, siendo la microcuenca oeste más salina que la este, debido al efecto de la influencia oceánica de parte de los canales Moraleda y Darwin (Fig. 16).

La distribución vertical de oxígeno disuelto presentó una capa superficial bien oxigenada a lo largo de todo el año. Sin embargo, en primavera esta variable presentó valores más alto. En las cercanías de la cabeza del fiordo, bajo la superficie, se apreció una rápida disminución, llegando a generar un mínimo subsuperficial del orden de 2,5 ml·L<sup>-1</sup>, más somero en verano, que se centró alrededor de los 50 m de profundidad y más profundo en primavera (≈ 100 m). Estos bajos valores pueden ser aplicados sobre la base de un mayor aporte de materia orgánica transportada por el río Aysén y su posterior descomposición, además por el bajo intercambio con la capa superior debido a la fuerte haloclina de la zona y por una mayor permanencia de las aguas, entre otros.

Bajo estas profundidades el oxígeno disuelto, aumento ligeramente. Esta característica parece ser típica del fiordo ya que fue descrita anteriormente por Silva *et al.* (1995), Calvete (1997), Guzmán (2000) y Guzmán & Silva (2002). Bajo la superficie, hacia la boca del fiordo los valores de oxígeno disuelto, disminuyeron lentamente hasta valores del orden de  $5,0 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$  en profundidad.

En cuanto a la zona profunda de las microcuencas, se aprecian diferencias, siendo la microcuenca oeste ligeramente más oxigenada que la este, esta última, que se encuentra al final del fiordo, tiene una circulación más restringida y un mayor tiempo de residencia, lo cual favorece el consumo de oxígeno por procesos de degradación de materia orgánica, generada *in situ* y aportadas por el río.

La distribución vertical de nutrientes (nitrato y fosfato) presentó una capa superficial relativamente pobre en nutrientes, presentando las menores concentraciones en primavera que en el resto del año ( $< 0,2 \mu\text{M}$  para fosfato y  $< 2 \mu\text{M}$  para nitrato versus  $< 0,4 \mu\text{M}$  para fosfato y  $< 4 \mu\text{M}$  para nitrato, respectivamente). Bajo la superficie los nutrientes aumentaron rápidamente llegando a formar un máximo subsuperficial ( $> 1,8 \mu\text{M}$  para fosfato y  $> 20 \mu\text{M}$  para nitrato) más somero en verano ( $\approx 50 \text{ m}$ ) y en uno de los cruceros de primavera. En el resto del año, el máximo es ligeramente más profundo ( $> 100 \text{ m}$ ), para luego disminuir ligeramente en verano e invierno, ya que en primavera se mantienen valores relativamente altos en profundidad. Esta característica parece ser típica del fiordo ya que fue descrita anteriormente por Sievers & Prado (1994), Silva *et al.* (1995), Calvete (1997), Guzmán (2000) y Guzmán & Silva (2002).

En cuanto a la zona profunda de las microcuencas, se aprecian diferencias, siendo la microcuenca oeste ligeramente más pobre en nutrientes que la este. Esto se debe, de acuerdo a Silva *et al.*, (1995), a que el agua que alimenta la cuenca oeste es agua de los primeros 50 m que penetra por la constricción de Meninea a la cuenca sur y llena la zona profunda del fiordo Aysén. Por otro lado, las relativamente altas concentraciones de la zona profunda de la microcuenca este concuerdan con los bajos valores de oxígeno disuelto observados subsuperficialmente en la cabeza del fiordo, lo cual es característico de descomposición de materia orgánica (Libes, 1992).

### **Masas y cuerpos de agua**

De acuerdo a Silva & Neshyba (1979-1980), frente a la isla de Chiloé y al archipiélago de Chonos, en los primeros 800 m de profundidad, se presentan tres masas de aguas, las que corresponden al Agua Superficial Subantártica (ASAA), remanentes del Agua Ecuatorial Subsuperficial (AEES) y Agua Intermedia Antártica (AIAA) (Fig. 4). El ASAA se localiza en la capa superficial, extendiéndose hasta alrededor de los 150 m, caracterizada por temperaturas moderadas, salinidades relativamente bajas, y alto contenido de oxígeno disuelto (Rojas & Silva, 1996) (Tabla 23). El AEES, que adquiere sus características frente al Perú, es transportada hasta la altura del golfo Penas ( $\approx 48^\circ\text{S}$ ) por la

corriente Subsuperficial Chile – Perú (Silva & Neshyba, 1979). Frente a Chiloé esta masa aún puede ser identificada, entre los 150 y 200 m, por remanentes de su máximo en salinidad y mínimo contenido de oxígeno disuelto (Silva & Neshyba 1979 – 1980; Silva *et al.* 1995). El AIAA, es generada al norte del Frente Polar, y a la altura de Chiloé, se ubica entre los 300 y 1000 m de profundidad, caracterizándose por un mínimo relativo de salinidad (Silva & Neshyba, 1979 - 1980).

Tabla 23: Rangos de las masas de agua presentes en la zona de los fiordos y canales de Chile.

Masa de Agua	Profundidad (m)	Temperatura (°C)	Salinidad (psu)	Oxígeno (ml·L <sup>-1</sup> )
ASAA	0 – 150	9,0 – 14,0	32,1 – 33,7	6,0 – 7,0
AESS	150 – 200	8,0 – 9,0	33,9 – 34,4	2,5 – 4,0
AIAA	300 - 1000	3,0 – 5,1	34,0 – 34,3	4,0 – 5,0

Fuente: Atlas oceanográfico de Chile. Vol. 1 (18° 21'S a 50° 0'S). (Rojas & Silva, 1996).

De acuerdo a Silva *et al.* (1995) de las masas de agua presentes frente a la zona de la isla de Chiloe y archipiélago de los Chonos y Guitecas, solo el ASAA y el AESS logran penetrar al interior de los canales a la altura de la boca del Guafo, ingresando al canal Moraleda. Sin embargo debido al relieve batimétrico de la zona, el AESS queda retenida a la altura de la isla Meninea (Fig. 4), esto queda en evidencia debido a que las salinidades relativamente altas de esta agua (> 33,9 psu) y las bajas concentraciones de oxígeno disuelto (< 3 ml·L<sup>-1</sup>), no penetran hacia la microcuenca sur del canal Moraleda. Al quedar retenida el AESS, solo el ASAA penetra hacia la microcuenca sur del canal Moraleda, la cual va mezclándose en proporciones crecientes con Agua Dulce (AD), produciéndose un cuerpo de Agua Estuarina (AE, con salinidades menores a 31 psu).

Guzmán & Silva (2002) subdividieron el AE en tres fracciones o cuerpos de agua estuarinos, de acuerdo a su salinidad: Agua Estuarina Salada (AE-Salada, con salinidades de 31 a 21 psu), Agua Estuarina Salobre (AE-Salobre, con salinidades de 21 a 11 psu) y Agua estuarina Dulce (AE-Dulce, con salinidades de 11 a 2 psu) y Agua Subantártica Modificada (ASAAM, con salinidades entre 33 y 31 psu).

Dentro del fiordo se encontró en forma estacional AE como agua superficial, ya sea salada, salobre o dulce y ASAAM como agua profunda, bajo los 50 – 75 m.

## Circulación

La circulación en el fiordo Aysén esta modulada por el efecto del caudal del río, la marea, el viento y la topografía. Si se analiza por secciones a lo largo del eje del fiordo Aysén, desde la boca (conexión hacia el canal Moraleda y Costa), al oeste de la isla Cinco hermanos, éste se comportó como un estuario parcialmente mezclado, debido a su conexión con el canal Moraleda, que aportan aguas de origen oceánico (Guzmán, 2000) .

Entre la isla Cinco hermanos, y la cabeza del fiordo (desembocadura del río Aysén) el sistema se comportó como un estuario altamente estratificado, sistemas que tienen una alta descarga de agua dulce (río) (Sievers & Prado (1994). La capa de agua más dulce se propagó hacia fuera del fiordo por la capa superficial y el agua salina ingresó en una capa inmediatamente inferior adelgazando la capa de agua dulce superficial de 8 a 5 m hacia la boca del fiordo, por efecto de mezcla (Olivares, 2002).

Bajo las condiciones anteriores, fue factible esquematizar el fiordo mediante un modelo de circulación estuarina de dos capas similar al propuesto por Pritchard (1952). En este el agua más dulce (menos densa) sale a lo largo del fiordo en dirección al mar, como agua superficial, sufriendo mezcla constante con el agua salada que ingresa por efecto de la marea en la capa inmediatamente inferior hacia la cabeza del fiordo. Silva *et al.* (1995 y 1997), basados en la distribución de salinidad, propusieron un sistema de circulación, basados en este esquema.

Sin embargo, además de esta circulación estuarina clásica de dos capas, la circulación del fiordo puede verse afectada por los cambios en el régimen del viento. Así, el viento soplando hacia el interior del fiordo, puede modificar el caudal de la superficie, causando cambios en el sentido de los caudales (Klinck & O'Brien, 1981), llegando a comportarse como un sistema de tres capas.

De acuerdo a Cáceres *et al.*, (2002) el sistema de dos capas será aceptable siempre y cuando las intensidades del viento hacia la cabeza del fiordo sean bajas (< 8 nudos). En el caso del fiordo Aysén, estos sistema de tres capas involucran una capa superficial de unos 8 metros de espesor que sale del fiordo, por efecto del caudal del río, una capa intermedia que ingresa al fiordo por efecto del viento y la marea, y una capa profunda que sale del fiordo por efecto de un caudal compensatorio del gradiente de presión (Klinck & O'Brien, 1981).

## **Balance de Masa y flujos**

La aplicación de balances de masas en estuarios permite obtener información rápida y sencilla de cómo estos se comportan (Smith, 1999). Si los elementos que participan del balance son conservativos, se puede llegar a establecer que el sistema está en equilibrio, debido a que ellos sólo se ven afectados por procesos físicos. Por el contrario, si se experimenta una pérdida o ganancia neta de masa, principalmente mediante secuestro o reposición por parte de la biota, el sistema se considera en desequilibrio (Gordon, 1996).

Las relaciones matemáticas en los modelos de caja, son bastante simples, lo cual implica que en un tiempo relativamente corto se pueden tener respuestas a la problemática planteada. Sin embargo, el sistema al cual será aplicado, necesita que tenga ciertas características para que el balance entregue resultados confiables, por ejemplo que exista un gradiente de salinidad en sistema respecto al entorno de a lo menos 1 psu, que existan aportes o pérdidas (evaporación) de agua dulce y que sea un cuerpo de agua semi protegido y/o que su geometría sea relativamente simple. Si a caso no se cumple la ultima condición señalado, es factible subdividir el sistema en unidades más pequeñas, que si la cumplan. Cumpliendo estos requisitos es posible comenzar a esbozar el balance de una manera práctica.

## **Tiempo de residencia y caudales**

Debido a que los volúmenes de cada una de las cajas que forman el fiordo Aysén, eran diferentes, fue necesario normalizar los resultados, con lo cual se permite una comparación de los tiempos de residencia en base a volúmenes unitarios ( $\text{km}^3$ ) (Tabla 14).

De esta manera, la caja uno a lo largo de las estaciones presentó un tiempo de residencia mayor debido al hecho de que se encuentra aislada de las influencias oceánicas y es un sistema alimentado por aportes fluviales donde la mezcla se ve dificultada por la fuerte haloclina. La caja dos, que corresponde a la zona intermedia o zona de frente, presentó un tiempo de residencia ligeramente menor que aquel de la caja 1. Finalmente, la caja tres presentó un tiempo de renovación de las aguas menor que el resto del sistema, debido a que se encuentra conectada en un extremo con los canales Darwin y Moraleda y con una mayor influencia oceánica y con una mayor mezcla, debido al menor gradiente vertical de salinidad que posee.

Si se comparan los valores de tiempo de residencia normalizados a lo largo del año con los obtenidos por Silva *et al.*, (2000) y Guzmán (2000) (Tabla 24), se aprecia que existe cierta diferencia debido principalmente que en este caso se trabajó con el fiordo propiamente tal, dejando de lado la porción que conecta al canal Moraleda, lo cual implica un volumen más pequeño.

Además, es necesario considerar el hecho, de que en los modelos realizados por Silva *et al.*, (2000) y Guzmán (2000), los aportes de agua dulce proveniente de los ríos, se



obtuvieron en base promedios de registros históricos mensuales desde 1983 a 1996 para los caudales de los ríos Mañihuales, Simpson, Claro, y Cuervo, que fueron divididos en dos estaciones. Como además existen otros afluentes menores, estos autores les adicionaron un 30% más para corregir dicha carencia. La precipitación se estimó basándose en registros históricos de pluviosidad mensual desde 1983-1996 para la zona de Puerto Aysén y de Puerto Chacabuco. La evaporación (volumen de evaporación) se estimó en base a las cartas de evapotranspiración anual preparadas para la zona (Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de aguas, 1987), lo que no corresponde exactamente a valores de evaporación, ya que la anterior incluye la evaporación de las hojas de los vegetales, pero era el valor más cercano que dispusieron. El valor de evapotranspiración para el período frío invernal se consideró un 40% del valor anual y para el período cálido estival se consideró un 60%.

Debido a que el balance se estimó por separado en dos estaciones (verano e invierno), la serie de datos mensuales se dividió en dos períodos estacionales. Lo anterior crea una diferencia de sub- estimación de agua dulce que llegaba y salía del fiordo, con respecto a los valores utilizados en el presente trabajo.

Por otro lado, las áreas involucradas en los trabajos anteriores y el actual, son muy diferentes. Silva *et al.*, (2000) y Guzmán (2000), consideraron como fiordo desde la cabeza del Aysén hasta la constricción de Meninea, lo cual implica un largo de 111 km y un volumen aproximado de 70 km<sup>3</sup>, considerando como profundidad media 142 m. En el presente trabajo, se considera desde la cabeza del fiordo Aysén la Isla Elena, lo que arroja un largo de 57,3 km y un volumen aproximado de 62 km<sup>3</sup>, considerando como profundidad media 164. m

Tabla 24: Comparación de la estimación de agua dulce que llega y sale del sistema (Todas las unidades se encuentran en 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>)

	Modelo Silva <i>et al.</i> , (2000)	Modelo Guzmán (2000)		Modelo Guzmán (2004)		
	Sistema	Subsistema 1	Subsistema 2	Caja 1	Caja 2	Caja 3
<b>Verano</b>						
Precipitación	6	2,1	0,9	0,32	1,14	0,72
Caudales	8	9		41,20	7,08	
Evaporación	0	0,35	0,15	0,15	0,53	0,34
<b>Invierno</b>						
Precipitación	8	2,8	1,2	0,33	1,15	0,73
Caudales	10	10		84,4	6,9	
Evaporación		0,21	0,09	0,04	0,15	0,09

Por otro lado, al subdividir la zona de estudio en 3 cajas separadas por dos capas y no una caja o dos cajas, separado por 2 capas como en el caso de Silva *et al.*, (2000) y Guzmán (2000) respectivamente, se generan diferencias en los resultados obtenidos, debido a que el sistema se trata en unidades más pequeñas y la sumatoria de ellas no es igual al total (Smith, 2000).

Tabla 25: Normalización de los resultados obtenidos por Silva *et al.*,(2000), Guzmán (2000) y resultados de la Tabla 14.

	Modelo Silva <i>et al.</i> , (2000)		Modelo Guzmán (2000)			
	Verano (1)	Invierno (2)	Verano (3)		Invierno (4)	
Tiempo de Residencia	Sistema <sup>s</sup>	Sistema <sup>s</sup>	Sub sistema1*	Sub sistema-2**	Sub sistema-1*	Sub sistema-2**
$\tau$ (días)	1482	769	550	164	973	213
$\tau$ (día/km <sup>3</sup> )	3,2	1,6	11,7	8,2	20,7	10,7

	Modelo Actual (2004)					
	Verano (5)			Invierno (6)		
Tiempo de residencia	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 1	Caja 2	Caja 3
$\tau$ (días)	13	68	26	37	115	54
$\tau$ (día/km <sup>3</sup> )	3,0	1,8	1,3	8,4	3,1	2,7

- (1) Incluye cruceros C4F-2
- (2) Incluye crucero C1F y C4F-1
- (3) Incluye crucero C4F-2
- (4) Incluye crucero C4F-1
- (5) Incluye promedio de crucero Aysén II, Aysén V y C4F-2
- (6) Incluye promedio de crucero Aysén IV y C7F-1

<sup>s</sup> Entiéndase por sistema, a todo el fiordo Aysén (1 caja separada por 2 capas)

\* La caja 1 de la tabla anterior correspondería a las cajas 1 y 2 del presente trabajo

\*\*Parte de la caja 2 de la tabla anterior correspondería a la caja 3 del presente trabajo.

- entiéndase que en este trabajo la caja expuesta tiene una superficie menor

De los resultados normalizados de los tres estudios (Tabla 25) se puede apreciar que la tasa de renovación de las aguas de la caja más expuesta correspondiente a la caja 3 y subsistema-2 (Guzmán, 2000), posee un tiempo de residencia menor que el sistema compuesto por el subsistema-1 (Guzmán, 2000) y caja 2 y 3, debido al hecho de que es una caja más expuesta a las condiciones oceánicas.

El mayor tiempo de renovación del modelo de Guzmán (2000), respecto al presente, se puede derivar del hecho de que los aportes de agua dulce al igual que los egresos de esta, se subestimaron, debido a que se trataron como valores promedios semestrales, lo cual se refleja en un recambio de agua mucho más lento (Tabla 24).

Sin embargo si se revisa la normalización del modelo de Silva *et al.*, (2000), se aprecia una renovación del sistema en general del orden de 3 días por km<sup>3</sup> de agua durante la época estival, que disminuye a valores cercanos a 2 días por km<sup>3</sup> en la época invernal. Si bien es cierto, se utilizaron casi los mismos cruceros en los dos trabajos anteriores, no es posible llegar a una similitud, ya que en este tipo de modelos, cuando se fracciona un sistema, la sumatoria no es igual a tratarlo como un todo (Smith, 1999).

La comparación de los fiordos chilenos con otros fiordos de altas latitudes no es simple, ya que presentan diferencias morfológicas importantes. Tal es el caso de las rías Gallegas que son relativamente someras ( $\approx 30$  m) y de rápida renovación ( $\approx 3$  días) (Prego,

1982) y los fiordos Noruegos que son muy profundos ( $\approx 1000$  m), y de baja renovación ( $\approx 2$  años) (Wulff, 2001).

Independientemente de los resultados numéricos, los cálculos obtenidos por los diferentes autores. Permiten establecer que las aguas de la boca se renuevan más rápidamente que las de la cabeza (Tabla 25).

La relativamente rápida renovación unitaria de las aguas en la zona de la boca, junto con el hundimiento hasta el fondo de las aguas del nivel de 30 – 50 m, al sur de Meninea (Siva *et al.*, 1995), permite explicar la buena ventilación que se presentó en esta zona a lo largo del año.

En el caso de la caja 1, su baja tasa de renovación unitaria puede explicar en cierto modo la presencia de bajos valores de oxígeno disuelto en la zona profunda hacia la cabeza del fiordo y los valores relativamente altos de nutrientes en la misma zona. Debido a la baja circulación de la cuenca, la respiración de la materia orgánica suspendida esta favoreciendo la disminución de oxígeno disuelto y aumentando la concentración de nutrientes. Por otra parte el aporte de materia orgánica total en los sedimentos transportada por los ríos al sistema se ve favorecido. Maturana (1997), determinó concentraciones de MOT  $> 10\%$  en sedimentos de la cabeza del fiordo.

### **Balance de nutrientes**

De los resultados obtenidos en la tabla 20 se aprecia que los valores de  $\Delta$ DIN y  $\Delta$ DIP presentan en general un déficit o consumo de nutrientes en la capa superficial (valores negativos), a lo menos en dos de las tres cajas, siendo más marcado en la primera. En la caja 3 se aprecian valores positivos  $\Delta$ DIN y  $\Delta$ DIP, lo cual implica el caso inverso, es decir, que habría una liberación de nutrientes al medio, mediante una producción nueva y/o una producción regenerada o un ingreso desde el océano.

En la capa profunda se aprecian mayoritariamente valores positivos de  $\Delta$ DIN y  $\Delta$ DIP, por lo cual implica una continua liberación de nutrientes. La magnitud de esta liberación en las cajas 1 y 2 es mucho menor que el consumo que se produce en la capa superficial. Por el contrario en la caja 3, la liberación es casi el doble del consumo superficial, salvo en la época invernal.

El sistema en general, se comporta igual a la capa superficial, con consumo de nutrientes en dos tercios del fiordo, y liberación hacia la boca de este, lo cual permite inferir que las aguas oceánicas provenientes de los canales Moraleda y Darwin serían la principal fuente de micronutrientes al fiordo, ya que los ríos en general presentaron aguas relativamente oligotróficas.

## Pérdida ( $N_{Loss}$ ) v/s Ganancia de Nitrógeno ( $N_{Gain}$ )

El proceso de fijación de N ( $N_{Gain}$ ) es bastante bajo en los sistemas marinos ( $< 1 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ;  $< 400 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ ). En muchos sistemas marinos no se observa este proceso, sin embargo hay sistemas que exhiben tasas de  $N_{Gain}$  sobre 20 veces el límite general señalado (Smith *et al.*, 1999).

El proceso de pérdida de Nitrógeno ( $N_{Loss}$ ) ocurre en sistemas con metabolismo bentónico y también puede ocurrir en sistemas totalmente planctónicos (Smith, 1999). El principal requerimiento es una respiración relativamente rápida. Las tasas típicas en sistemas bentónicos pueden ser alrededor de  $0,5$  a  $2 \text{ mmol N}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  ( $200 - 700 \text{ mmol N}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ ), sin embargo es posible encontrar sistemas altamente productivos con tasas mayores a  $10 \text{ mmol N}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  (o cerca de  $4 \text{ mol N}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ ) (Gordon *et al.*, 1996).

El termino anterior ( $N_{Gain} - N_{Loss}$ ) expresa el metabolismo neto del nitrógeno con tasas típicas para la zona oceánica entre  $+1$  a  $-2 \text{ mmol N}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  ( $+0,4$  a  $-1 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ ) (Smith *et al.*, 1999), con lo cual sería un sistema en equilibrio.

La razón de utilizar la ecuación anterior se debe a que algunos  $\Delta DIN_{(obs)}$  se encuentran dentro de los nutrientes observados, y se asume la relación de Redfield N:P = 16:1, implicando que el desbalance entre lo observado y lo esperado es una estimación del efecto neto de otras fuentes y sumidero, que no han sido consideradas como tales.

Al aplicar la ecuación (12), se puede inferir que si  $N_{Gain}$  es igual  $N_{Loss}$  ello permite deducir que el sistema esta en equilibrio con respecto al nitrógeno y que los nutrientes producidos o consumidos (nitrato y fosfato) lo están haciendo en la proporción planctónica de Redfield (16:1). Por el contrario si  $N_{Gain}$  es mayor que  $N_{Loss}$ , ello implica que habría una acumulación de nitrógeno producto de la fijación de éste por organismos especializados (*i.e.* bacterias, microalgas, etc.) y si  $N_{Gain}$  es menor que el  $N_{Loss}$ , implicará que habrá un consumo de nitrógeno por algún proceso de pérdida de Nitrógeno (Gordon *et al.*, 1996; Rules & Thumb (2000)).

La situación de la tabla 22 implica que, sobre la base del desbalance observado en la proporcionalidad de  $\Delta DIN$  y  $\Delta DIP$  respecto a la relación de Redfield, el sistema en la capa superficial estaría ingresando nitrógeno en base a una producción nueva producto de la utilización de nitrógeno disuelto asimilado por organismos especializados. Este nitrógeno fijado sería posteriormente liberado al medio al mineralizarse la materia orgánica producida.

Respecto a la capa profunda la situación fue diferente, ya que en este caso se presentó una situación de consumo de nitrógeno en cada una de las cajas en que fue separado el fiordo Aysén. Este proceso en general fue más intenso en la caja 3 durante la época invernal.

Como se dijo anteriormente la pérdida de Nitrógeno es el resultado del desbalance observado en la proporcionalidad de  $\Delta\text{DIN}$  y  $\Delta\text{DIP}$  respecto a la relación de Redfield indicando un consumo de nitrato, en todo el sistema. En este caso se tiene una degradación de la materia orgánica, utilizando como aceptor de electrones al nitrato (Hattori, 1983). Este tipo de proceso es frecuente en zonas donde existe una alta remineralización de materia orgánica, siendo este proceso realizado por organismos especializados (*i.e.* bacterias, microalgas, etc.).

En cuanto al resumen del sistema total, se aprecia una concordancia con la capa superficial, ya que en general el sistema se comporta como fijador de nitrógeno en las cajas menos expuestas, que serían la caja 1 denominada completamente protegida de la influencia oceánica directa y la caja 2 que se estableció como una caja intermedia o de frente entre la zona protegida y la expuesta. La caja 3 que es la caja más expuesta, presenta una condición neta de pérdida de Nitrógeno.

Los resultados son bastante similares a lo largo del año tanto en la capa superficial como en la capa profunda. El estado neto de cada una de las cajas refleja la misma situación que el de la capa superficial a lo largo del año, aún cuando los procesos de pérdida y/o ganancia de nitrógeno puede haber sido más o menos intenso.

Al igual que se hizo con el tiempo de residencia, se compararan los resultados obtenidos en el presente trabajo con los expuestos por Guzmán (2000), normalizando estos últimos por el volumen de las cajas, para establecer diferencias o similitudes en base a comparaciones por volumen unitario.

Tabla 25: Normalización del resultado del balance de nutrientes para los resultados obtenidos por Silva *et al.*, (2000), Guzmán (2000), y resultados presentados en la Tabla 22.

$N_{\text{Gain}}$ v/s $N_{\text{Loss}}$	Modelo Silva <i>et al.</i> , 2000	Modelo Guzmán (2000)			
	Verano (1)	Verano (2)		Invierno (3)	
Capa superficial	Sistema	Subsistema-1	Subsistema-2	Subsistema-1	Subsistema-2
Unidad 1	+ 0,51	+ 4,5	+ 5,5	+ 0,06	+ 7,6
Unidad 2	0	+ 0,01	+ 0,04	0	+ 0,05
Estado neto	$N_{\text{Gain}}$	$N_{\text{Gain}}$	$N_{\text{Gain}}$	$N_{\text{Gain}}$	$N_{\text{Gain}}$
Capa profunda					
Unidad 1	- 0,71	- 0,5	- 9,5	- 0,7	- 10,7
Unidad 2	0	0	- 0,07	- 0,01	- 0,08
Estado neto	$N_{\text{Loss}}$	$N_{\text{Loss}}$	$N_{\text{Loss}}$	$N_{\text{Loss}}$	$N_{\text{Loss}}$
Total S-sistema					
Unidad 1	- 0,20	+ 4,0	- 4,0	- 0,64	- 3,1
Unidad 2	0	+ 0,01	- 0,03	- 0,01	- 0,03
Estado neto	$N_{\text{Loss}}$	$N_{\text{Gain}}$	$N_{\text{Loss}}$	$N_{\text{Loss}}$	$N_{\text{Loss}}$

N <sub>gain</sub> v/s N <sub>Loss</sub>	Modelo Actual (2004)					
	Verano (4)			Invierno (5)		
Capa superficial	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Caja 1	Caja 2	Caja 3
Unidad 1	+ 380	+ 198	- 144	+ 425	+ 273	- 128
Unidad 2	+ 7,7	+ 1,1	- 1,3	+ 8,8	+ 1,6	- 1,2
Estado neto	<i>N<sub>Gain</sub></i>	<i>N<sub>Gain</sub></i>	<i>N<sub>Loss</sub></i>	<i>N<sub>Gain</sub></i>	<i>N<sub>Gain</sub></i>	<i>N<sub>Loss</sub></i>
Capa profunda						
Unidad 1	- 11	- 6	- 246	- 27	- 0	- 322
Unidad 2	- 0,2	- 0	- 2,2	- 0,6	- 0	- 2,9
Estado neto	<i>N<sub>Loss</sub></i>	<i>N<sub>Loss</sub></i>	<i>N<sub>Loss</sub></i>	<i>N<sub>Loss</sub></i>	<i>N<sub>Loss</sub></i>	<i>N<sub>Loss</sub></i>
Total S-sistema						
Unidad 1	+ 369	+ 192	- 390	+ 398	+ 273	- 450
Unidad 2	+ 7,5	+ 1,1	- 3,5	+ 8,3	+ 1,6	- 4,1
Estado neto	<i>N<sub>Gain</sub></i>	<i>N<sub>Gain</sub></i>	<i>N<sub>Loss</sub></i>	<i>N<sub>Gain</sub></i>	<i>N<sub>Gain</sub></i>	<i>N<sub>Loss</sub></i>

- (1) Incluye crucero C4F-1
- (2) Incluye crucero C4F-2
- (3) Incluye crucero C4F-1
- (4) Incluye crucero C4F-2
- (5) Incluye crucero C7F-1

Unidad 1 = \*10<sup>3</sup> mol N d<sup>-1</sup> km<sup>-3</sup>

Unidad 2 = \*mmol N m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> km<sup>-3</sup>

Según los resultados de la tabla 25 se puede apreciar que el estado neto de los nutrientes de las aguas en la capa superficial, de la caja más expuesta caja 3 y subsistema-2 (Guzmán, 2000), presenta una condición de consumo de nitrógeno a diferencia del sistema compuesto por el subsistema-1 (Guzmán, 2000) y caja 1 y 2, que presenta en general una condición de Ganancia de Nitrógeno, debido al hecho de que representan zonas más protegidas de las condiciones oceánicas.

Por otro lado los resultados de los dos balance anteriores en la capa superficial, son concordantes, reflejando una pérdida de nitrógeno en la zona protegida (trabajo actual), con lo obtenido por Silva *et al.*, (2000), para todo el sistema,.

El proceso de ganancia de Nitrógeno, ha sido descrito a través de cianobacterias como *Trichodesmium* y especies como *Richelia intracellularis* y la epífita *Calothrix rhizosoleniae* que contribuyen de manera significativa a la ganancia de Nitrógeno en océano abierto (Kuypers *et al.*, 2003). Lo anterior, junto con el desbalance de nitrógeno observado en la capa superficial del Aysén, permite inferir que en la zona pueden existir fijadores de nitrógeno que se desconocen y que sería de gran valor científico investigar. Sin embargo, el efecto del desbalance puede haber sido generado por ingresos y/o pérdidas de nitrógeno, no incorporadas en el balance de caja, situación que también deberá ser investigada.

En cuanto a la capa profunda, en todos los casos se aprecia un efecto de consumo de nitrógeno a lo largo del fiordo Aysén. Con todo, los procesos de pérdida de Nitrógeno identificados en la cabeza del fiordo no parecen atribuibles a los clásicos procesos de pérdida de Nitrógeno de la columna de agua de océano abierto, dado que estos tienen lugar en medios hipóxicos con concentraciones de oxígeno disuelto menores a  $0,2 \text{ ml}\cdot\text{L}^{-1}$  (Thomas, 1966; Hattori, 1983), concentraciones que no se presentaron en el fiordo Aysén.

El sistema en general, presenta variaciones en el resultado al utilizar cada uno de los modelos, en el sistema de 1 caja, se obtiene un proceso *in situ* favorable a la pérdida de Nitrógeno. Sin embargo, cuando se trata al sistema como dos cajas, se obtienen durante la época estival que la caja hacia la cabeza del fiordo presentó una condición de ganancia de Nitrógeno, mientras que la caja hacia la boca de este exhibió una condición favorable a la pérdida de Nitrógeno. En el caso del modelo de tres cajas, el sistema en general fue favorable a la ganancia de Nitrógeno en dos tercios del sistema, a diferencia del tercio restante, que se encuentra hacia la boca donde la microcuenca los procesos fueron favorable a la pérdida de Nitrógeno.

Nimptsch (2000), propone que los procesos de pérdida de Nitrógeno observados bajo la cabeza del Aysén, puede ser debido a la presencia de micozonas anóxicas dentro del ambiente óxico.

El caso de la pérdida de Nitrógeno existente en la capa profunda, bajo la cabeza de este fiordo puede estar relacionado con las altas concentraciones de nutrientes que pueden ser explicadas mediante el efecto de acumulación de sedimentos aportados por los ríos y la baja circulación. El hecho de que se acumulen los sedimentos, implica que al descomponerse la materia orgánica es necesario utilizar el oxígeno como aceptor de electrones.

No obstante, los resultados (Tabla 25) expresados en “Unidad 2” ( $\text{mmol N m}^{-2} \text{ d}^{-1} \text{ km}^{-3}$ ), por Silva *et al.*, (2000) y Guzmán (2000), de acuerdo a lo expuesto por Smith *et al.*, (1999), estarían dentro de los rangos de equilibrio, tanto en la capa superficial como en la capa profunda. Por otro lado los resultados del actual modelo reflejan cierto equilibrio solo en la capa profunda, de acuerdo a lo expresado por Smith *et al.*, (1999).

Ahora bien, si comparamos la proporción estequiométrica por la cual se relacionan los elementos nutrientes (Anexo A, Tabla 26), respecto a lo esperado según la relación de Redfield-Richards (Smethie, 1987; Libes, 1992), que implica que el nitrógeno y el fósforo están en una relación 16:1 en la columna de agua, al igual que lo que se obtiene mediante la biomasa planctónica (Redfield *et al.*, 1963), se puede observar que en el fiordo Aysén en general existe una clara relación de tipo lineal entre las concentraciones de nitrógeno y fósforo en la columna de agua.

Aún cuando las regresiones lineales (Figs. 22, 23, 24, 25 y 26) presentaron coeficientes de determinación relativamente buenos en gran parte de los cruceros, esto permite aceptar con un 80% de confianza, los valores obtenidos. Sin embargo la pendiente de las relaciones, siempre tuvo un valor inferior a lo planteado por Redfield-Richards, fluctuando entre 6,6 y 13,7 (Tabla 26), lo cual se refleja principalmente una cierta alteración de la proporción N:P, debido a que los puntos profundos tienden a escaparse de la recta (Figs. 22, 23, 24, 25 y 26), lo cual sería atribuible a una alteración desde los sedimentos y/o del intercambio del agua intersticial más pobre en nitrato (Libes, 1992).



## CONCLUSIONES

La estructura vertical de las variables oceanográficas presentaron diferencias a lo largo de las estaciones muestreadas. La temperatura se vio afectada principalmente por las fluctuaciones anuales de la radiación solar presentando un ciclo anual, siendo más homogénea en otoño y primavera que en el resto del año. La distribución de salinidad presentó diferencias principalmente en la capa superficial debido a los aportes variables de agua dulce provenientes de los ríos, lluvia y deshielos.

Los otros parámetros oxígeno disuelto y nutrientes presentaron diferencias en la estructura vertical, lo cual se atribuye a efectos biogeoquímicos como fotosíntesis, respiración, mineralización y circulación, entre otros.

Las aguas del fiordo tienen una gran componente marina ( $\approx 90\%$  de ASAAM + AESal) y una baja componente de aguas dulces a salobres ( $\approx 10\%$  de AESalo + AEDul + AD).

Al aplicar un modelo de balance de agua, sal y nutrientes, fue posible tratar un sistema fiordo Aysén, como un sistema de tres cajas basados en las características topográficas, quedando la caja 1 en el tercio superior situado en la cabeza del fiordo (siendo relativamente somera, menor a 100 m, más afectada por el río), la caja 2 en parte media (ligeramente profunda, mayor 300 m) y la caja 3 en el tercio situado en la boca del fiordo, del orden de 250 m, el cual se conecta al canal Moraleda.

La caja 1 (cabeza), presenta una tasa de renovación promedio (o tiempo de residencia medio) de 7 días por  $\text{km}^3$ , la caja 2 (centro), presenta una tasa de renovación promedio de 3,2 días por  $\text{km}^3$  y la caja 3 (boca), tiene una renovación de 2,2 días por  $\text{km}^3$ .

La capa superficial de las caja 1 y 2 (cabeza y centro), presentan un déficit o consumo de nutrientes en los valores de  $\Delta\text{DIN}$  y  $\Delta\text{DIP}$  (valores negativos). En la boca del fiordo (caja 3) se aprecian valores positivos  $\Delta\text{DIN}$  y  $\Delta\text{DIP}$ , lo cual implica una liberación de nutrientes al medio, mediante una producción nueva y/o una producción regenerada o un ingreso desde el océano.

En la capa profunda del todo el fiordo se aprecian mayoritariamente valores positivos de  $\Delta\text{DIN}$  y  $\Delta\text{DIP}$ , lo cual implica una continua liberación de nutrientes.

El sistema total, en general presenta un consumo de nutrientes en la parte media y superior del fiordo, y liberación hacia la boca de éste. Esto permite inferir que las aguas provenientes de los canales Moraleda y Darwin son la principal fuente de micronutrientes al fiordo, ya que los ríos en general presentaron aguas relativamente oligotróficas.

El desbalance de nitrógeno mostrado por la aplicación del modelo de cajas permitió inferir que la capa superficial del fiordo en general presentaron una condición de ganancia de Nitrógeno, mientras que en la capa profunda se infirió una condición cuasi de equilibrio, debido a los bajos valores de pérdida de Nitrógeno (consumo de nitrato).

El resultado de la ganancia de N v/s pérdida de N en cada caja, presentó ciertas diferencias, ya que la caja 1 presentó un desbalance favorable a la ganancia de N, que fue relativamente más importante al exhibido por la caja 2, que aparentemente presenta una situación de equilibrio. Sin embargo la caja 3 hacia la boca del fiordo presentó una clara pérdida de N. Lo anterior permite concluir que la hipótesis de trabajo, debe ser aceptada.

## REFERENCIAS

- 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, T. 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.
- Cáceres, M., A. Valle-Levinson, H. Speúlveda & K. Holderied. 2002. Transverse variability of flow and density in Chilean fjord. *Cont. Shelf Res.* 22 (2002): 1683-1698.
- Carpenter, J. 1965. The Chesapeake Bay Institute Technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnol. Oceanogr.*, 10:141-143.
- Carrit, D. E. & J. H. Carpenter. 1966. Comparison and evaluation of currently employed modifications of the Winkler method for determining dissolved oxygen in seawater; a NASCO Report. *J. Mar. Res.*, 24: 286-318.
- Fierro, J., M. Bravo & M. Castillo. 2000. Caracterización del régimen de mareas y corrientes a lo largo del canal Moraleda (43°54' S – 45°17' S). *Cienc. Tecnol. Mar* 23: 3 –14.
- Gordon, Jr., D.C., P. R. Boudreau, K. H. Mann, J. E. Ong, W. L. Silvert, S. V. Smith, Wattayyakorn, F. Wulff & T. Yanagi, 1996. LOICZ Biogeochemical Modelling Guidelines. LOICZ Report & Studies, Texel, The Neatherlans, 96 pp.
- 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.
- 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 (cruce Cimario-Fiordo 4. *Cienc. Tecnol. Mar.* 25(2): 45-76.
- HABITERRA, S.A. 2003. Resumen ejecutivo, etapa de diagnóstico. Actualización plan regional de desarrollo urbano de la región de Aysén. 54 pp. Encomendado por la Secretaria Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo a la Pontificia Universidad Católica de Chile.

- Hattori, A. 1983. Nitrification and dissimilatory nitrate reduction. E.J. Carpenter y D.G. Capone, (eds.). En: Nitrogen in the Marine Environment. Academic Press, New York & London. pp. 191–232.
- Hidrografía de Aysén, 2003. Página www [<http://www.bcn.cl/pags/regional/cont/pags/20010103175520.html>]. Revisado el 12/12/2003.
- Klinck, J. M., O'Brien, J. J. & Svendsen, H. 1981. A simple model of Fjord and coastal circulation interaction. *J. Geophys. Res.*, 11, 1612-1626.
- Kuypers, M., S. Schouten & J. Sinninghe. 2003. Cyanobacterial N<sub>2</sub> fixation, fuelled enhanced biological CO<sub>2</sub> pumping during a Cretaceous oceanic anoxic event. 67-91. Página www [<http://library.uu.nl/digiarchief/dip/diss/2003-0625-100046/c5.pdf>]. Revisado el 30/12/2003.
- Libes, S. 1992. An introduction to marine biogeochemistry. Ed. J. Wiley and Sons Inc. New York, 734 pp.
- Maturana, J. 1997. Distribución de materia orgánica, carbono total, carbono orgánico, carbono inorgánico, nitrógeno orgánico y fósforo total en los sedimentos superficiales de la zona de canales australes, entre Puerto Montt y laguna San Rafael. Tesis de Título de Oceanógrafo. Escuela de Ciencias del Mar, Universidad de Católica de Valparaíso. 53 pp
- Nimptsch, J. 2000. Variación estacional de la abundancia y proporciones de los principales compuestos inorgánicos de Nitrógeno del seno Aysén (Lat. 45° 20'S). Tesis para optar al grado de licenciado y al título profesional de Biólogo Marino. Facultad de Ciencias del mar. Universidad de Valparaíso Chile. 83 pp.
- Olivares, J. P. 2002. Clasificación de fiordos y canales del sur de Chile (43,5° - 46,5° Sur) de acuerdo a la estratificación de la columna de agua. Trabajo de titulación para optar al Título de especialidad de Ingeniero Naval Hidrográfico y Oceanógrafo. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de Chile (SHOA). 77 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 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, In: H. J. Freeland, D. M. Farmer & Levings (eds) *Fjords Oceanography*. Nato Conferences Series IV: Marine Sciences. Plenum Press, New York. pp 1-51

- Prado R. 2000. Distribución espacial del Amonio en Fiordos y Canales comprendidos entre Puerto Montt y Laguna San Rafael en período de Primavera. *Cienc. Tecnol. Mar*, 23: 15-24.
- Prego, R. 1982. Intercambio de sales nutrientes entre cuerpos de agua oceánicos, seguido por métodos químicos. Memoria para optar al grado de Doctor en Química. Universidad de Santiago Compostela. España. 281 pp.
- Pritchard, D. W. 1952. Estuarine hydrography. *Advances in Geophysics* 1, 243 - 280.
- Redfield, A., B. Ketchum & F. Richard. 1963. The influence of organism on the composition of sea water. *The Sea*. 2, 26–76.
- Región de Aysén, 2003. Página www [<http://www.puntoaisen.cl>]. Revisado el 12/12/2003.
- 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.
- Rules & Thumb. 2000. Página www. [<http://data.ecology.su.se/MNODE/Methods/rot/thumb.htm>]. Revisado 12/12/2003.
- 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.
- Salinas, S. & S. Hormazábal. 1997. Circulación en la constricción de Meninea en el canal Moraleda 45° 15'S. Resultados crucero Cimar fiordo 1. Resúmenes ampliados. 21-22.
- Silva, N. & S. Neshyba. 1979. On the southernmost extention of the Peru-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., 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 I). *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 I). *Cienc. Tecnol. Mar.*, 21: 17-48.
- Silva N., D. Guzmán & A. Valdenegro. 2000. Water and salt budget for Aysén Sound, Chile. En: Smith, S. V., V. Dupra region: carbon, nitrogen and phosphorus fluxes. LOICZ Reports & Studies No. 15 ii + 87 pages, LOICZ, Texel, The Netherlands. pp. 55 - 64.
- Smith, S., J. M. Crossland & C. Crossland. 1999. Mexican and central Americans Coastal Lagoon System: carbon, Nitrogen and Phosphorus Fluxes (Regional Workshop II), LOICZ Reports & Studies. LOICZ IPO, Texel, The Netherlands. 13: 1-115 pp.
- Smethie, W. 1987. Nutrient regeneration and NLossrification in low oxygen fjords. *Deep-Sea Res.* 34 (5/6): 983 – 1006.
- Thomas, W. 1966. On NLossrification in the northeastern tropical Pacific Ocean. *Deep-Sea Res.*, 13: 1109-1114.
- Valle-Levinson, A., J. L Blanco & J. J. Fierro. 2002. Observations of winds effects on exchange flows in a channel constriction of Chilean Inland Sea. The 2<sup>nd</sup> Meeting on the Physical Oceanography of Sea Strait, Villefranche, 15<sup>th</sup>-19<sup>th</sup> April 2002. 223-227.
- Weiss, R. 1970. The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and sea water. *Deep-Sea Res.*, 17: 721-735.
- Wulff, F., L. Rahm & D. Swaney. 2001. The Baltic Sea: Nutrient budgets of the sub-basins of an estuarine sea. Página www. [[http://data.ecology.su.se/MNODE/Europe/BalticRegion/Baltic2001/baltic\\_seabud.htm](http://data.ecology.su.se/MNODE/Europe/BalticRegion/Baltic2001/baltic_seabud.htm)]. Revisado 12 de diciembre de 2001.

## **ANEXO A**

**Relaciones estequiométricas entre nutrientes (N – Nitrato y P – Fosfato)**

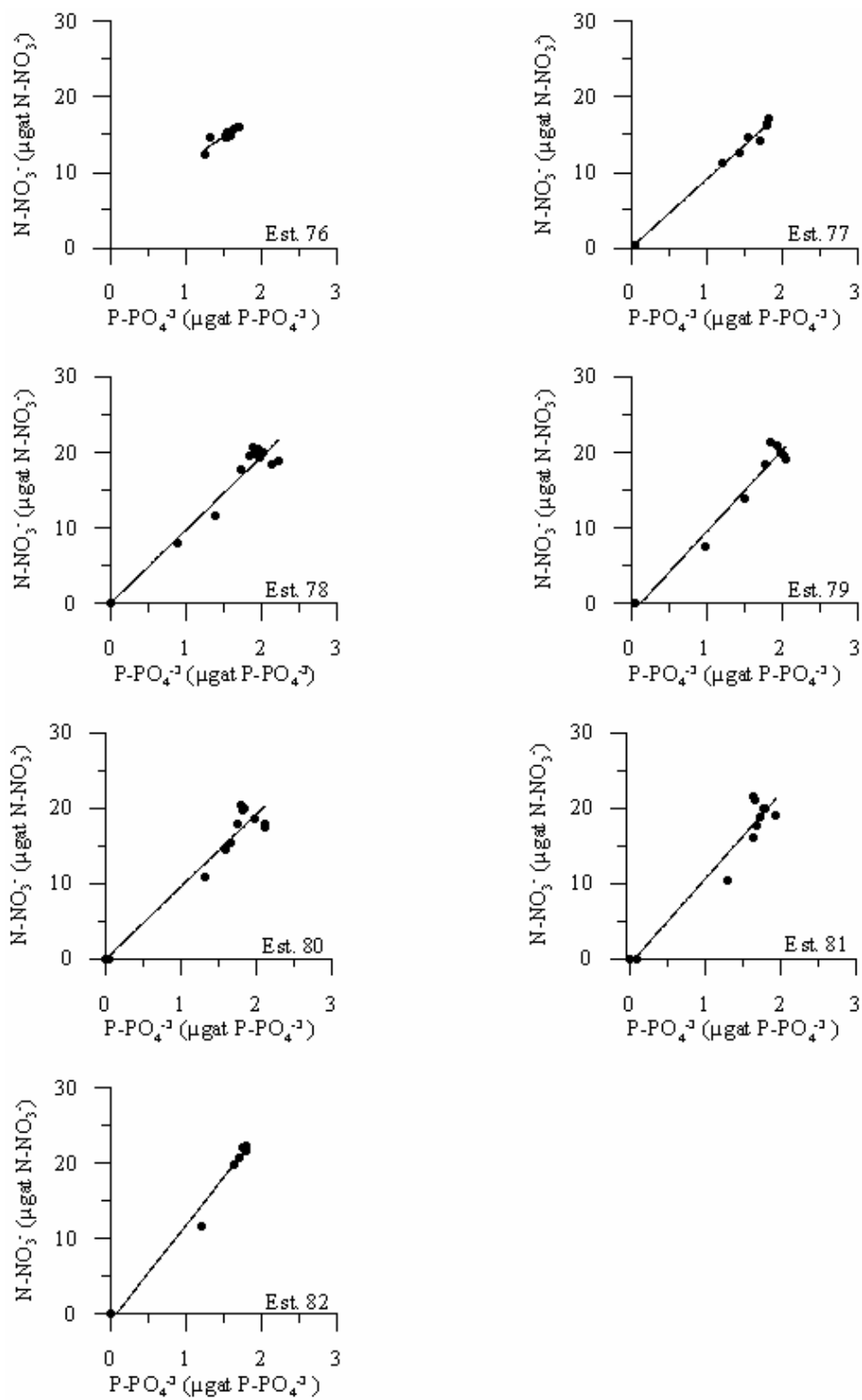


Figura 22: Gráfico de regresión lineal entre  $N - NO_3^-$  y  $P - PO_4^{3-}$  el fiordo Aysén, durante el crucero Cimar Fiordos 1.



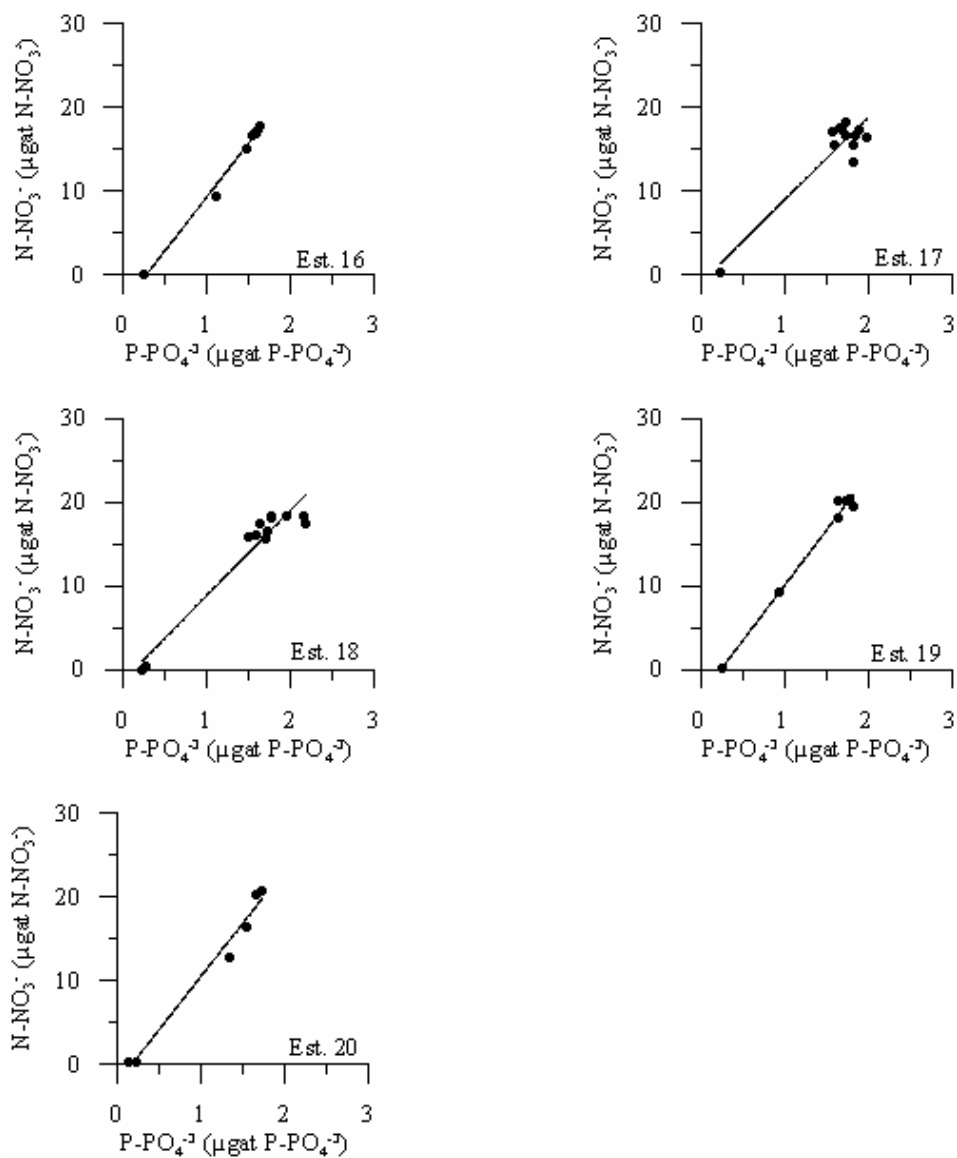


Figura 23: Gráfico de regresión lineal entre N – NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y P – PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> en el fiordo Aysén, durante el crucero Cimar Fiordos 4 etapa 1.

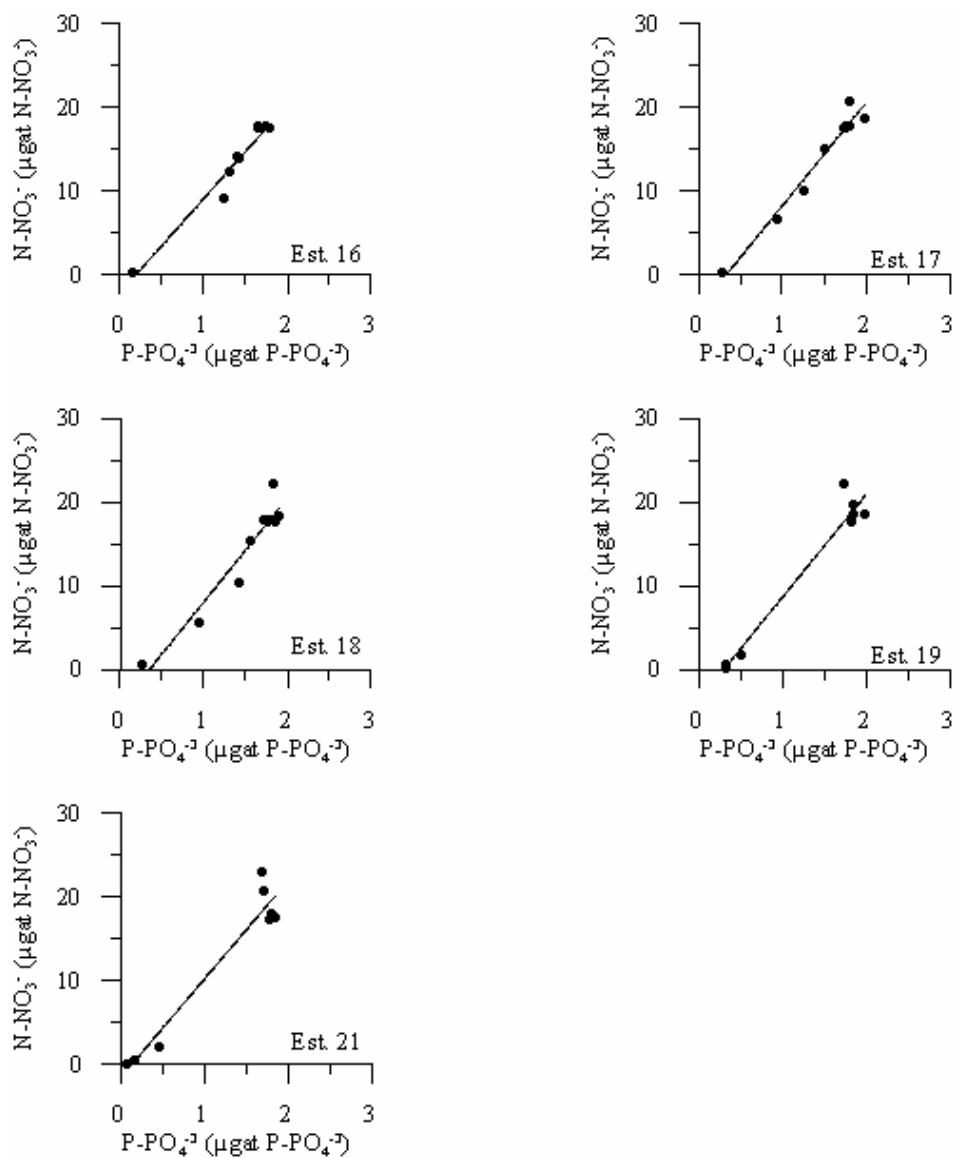


Figura 24: Gráfico de regresión lineal entre N – NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y P – PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> en el fiordo Aysén, durante el crucero Cimar Fiordos 4 etapa 2.

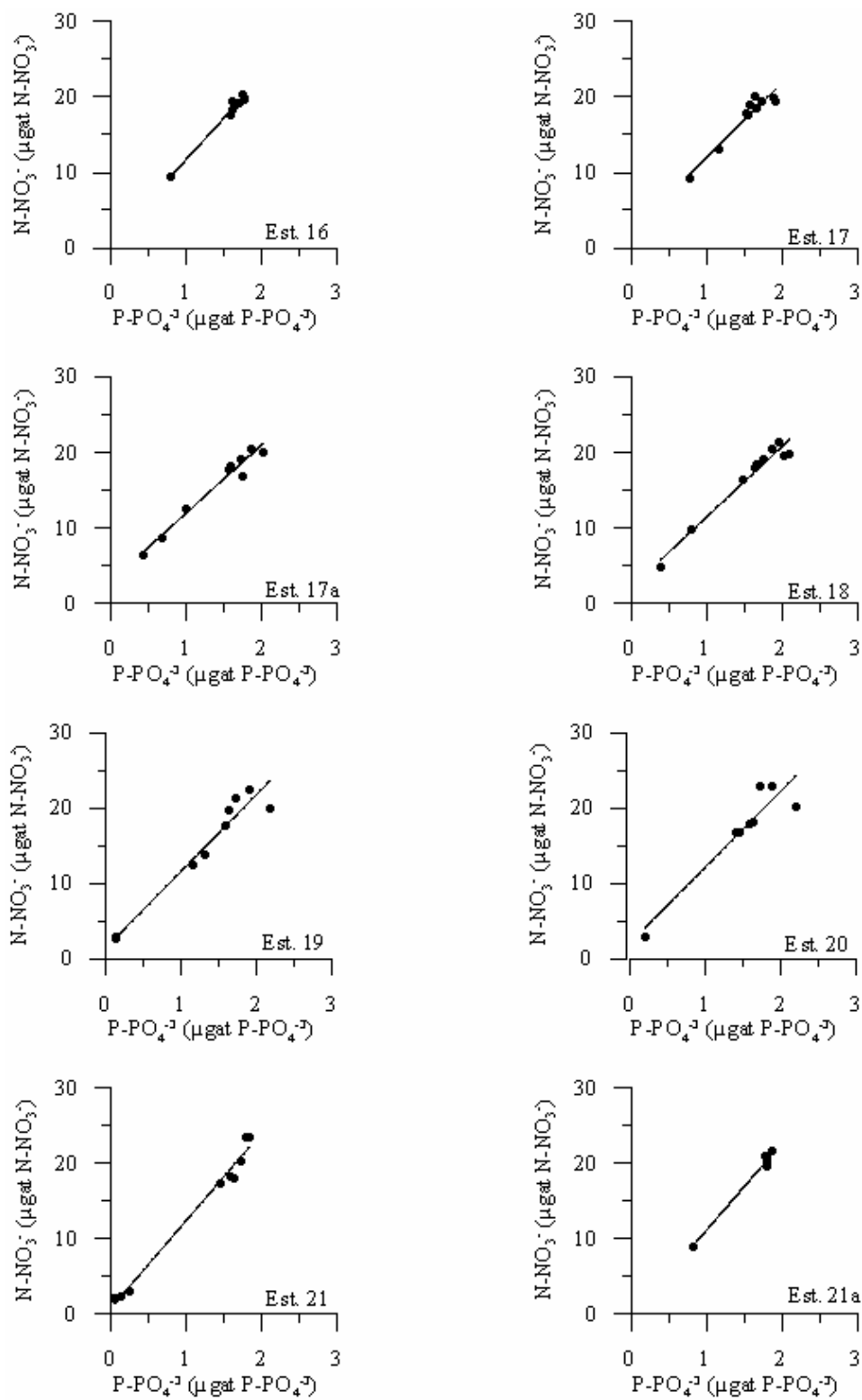


Figura 25: Gráfico de regresión lineal entre N – NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y P – PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> en el fiordo Aysén, durante el crucero Cimar Fiordos 7 etapa 1.

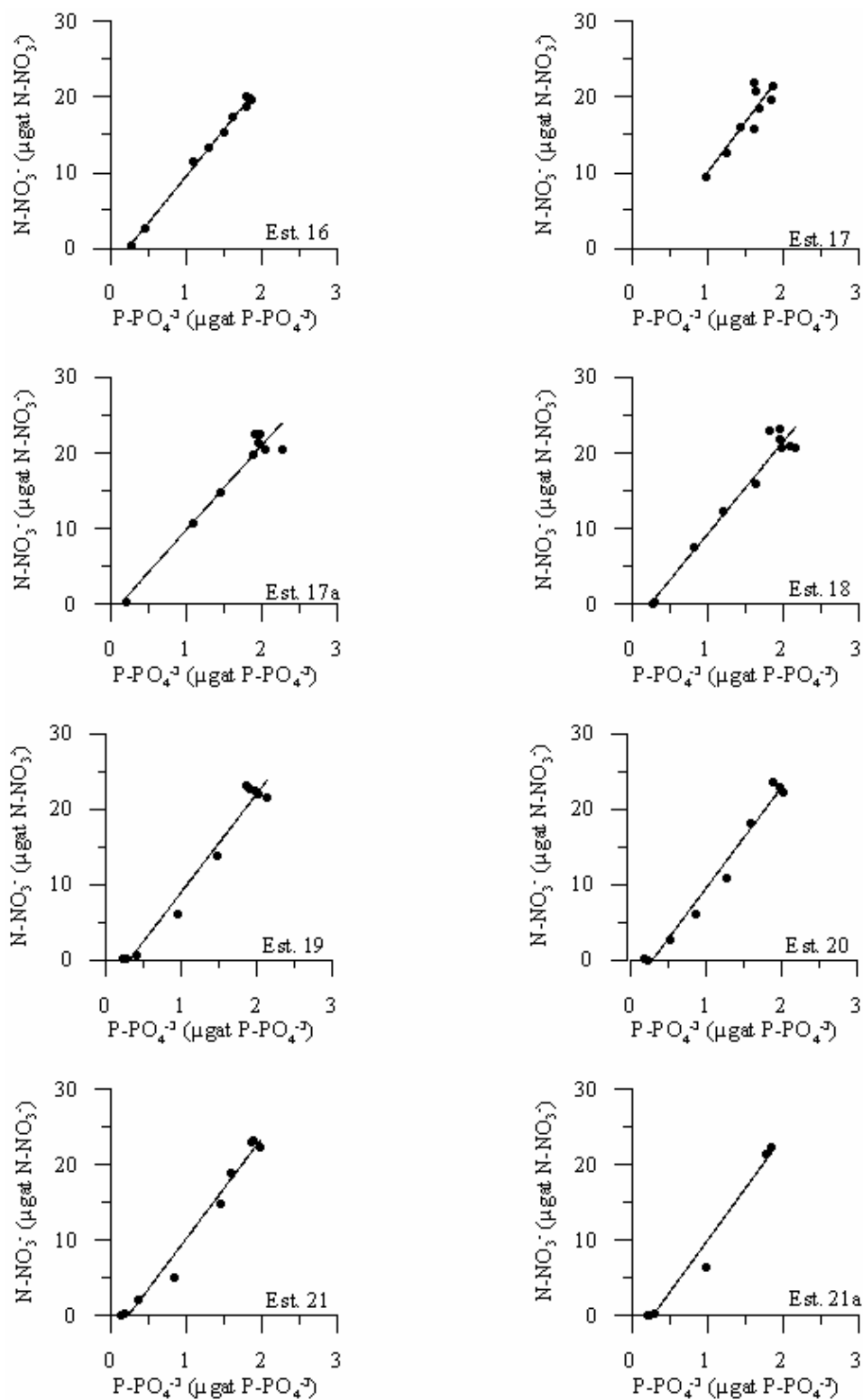


Figura 26: Gráfico de regresión lineal entre N – NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y P – PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> en el fiordo Aysén, durante el crucero Cimar Fiordos 7 etapa 2.

Tabla 26: Relación N:P y Coeficiente de regresión en el fiordo Aysén durante los cruceros Cimar Fiordos, 1 , 4 y 7 en sus dos etapas.

<b>CRUCERO CIMAR 1 FIORDOS</b>	<b>Estación</b>	<b>Relación N:P</b>	<b>Coef. De determinación</b>
	76	6,6	0,82
	77	9,0	0,99
	78	9,7	0,94
	79	10,8	0,96
	80	9,6	0,93
	81	11,3	0,93
	82	12,7	0,98
	<b>Total</b>	<b>10,3</b>	<b>0,90</b>
<b>CRUCERO CIMAR 4 FIORDOS ETAPA 1</b>	<b>Estación</b>	<b>Relación N:P</b>	<b>Coef. De determinación</b>
	16	12,9	0,99
	17	9,9	0,85
	18	10,2	0,93
	19	13,2	0,99
	20	16,7	0,98
<b>Total</b>	<b>10,9</b>	<b>0,91</b>	
<b>CRUCERO CIMAR 4 FIORDOS ETAPA 2</b>	<b>Estación</b>	<b>Relación N:P</b>	<b>Coef. De determinación</b>
	16	11,3	0,96
	17	12,3	0,97
	18	12,4	0,93
	19	12,3	0,96
	21	11,8	0,93
<b>Total</b>	<b>11,8</b>	<b>0,94</b>	
<b>CRUCERO CIMAR FIORDOS 7 ETAPA 1</b>	<b>Estación</b>	<b>Relación N:P</b>	<b>Coef. De determinación</b>
	16	11,0	0,98
	17	9,9	0,92
	17a	9,0	0,96
	18	9,4	0,96
	19	10,2	0,94
	20	10,0	0,88
	21	11,7	0,99
	21a	11,5	0,98
<b>Total</b>	<b>10,2</b>	<b>0,94</b>	
<b>CRUCERO CIMAR FIORDOS 7 ETAPA 2</b>	<b>Estación</b>	<b>Relación N:P</b>	<b>Coef. De determinación</b>
	16	12,3	0,99
	17	13,3	0,81
	17a	11,2	0,94
	18	12,2	0,96
	19	13,0	0,97
	20	13,4	0,98
	21	13,2	0,98
	21a	13,7	0,98
<b>Total</b>	<b>12,6</b>	<b>0,96</b>	