UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO FACULTAD DE RECURSOS NATURALES ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR

Caracterización oceanográfica física y química de la zona de canales y fiordos australes de Chile entre el Estrecho de Magallanes y Cabo de Hornos (Cimar 3 Fiordo)

> Tesis para optar al título de Oceanógrafo por Alexander Valdenegro Mancilla

> > Valparaíso 2002

Comisión de Tesis:

Profesor Guía: Nelson Silva Sandoval. MSc.

Profesor : Sergio Salinas Marchant. MSc_____

Profesor : Jaime Letelier Pino.

AUTORIZACIÓN DE USO

Al presentar esta tesis como ultimo requisito para la obtención del título de Oceanógrafo, autorizo a la biblioteca de Ciencias del Mar de la Universidad Católica de Valparaíso, para que disponga libremente de ella. Autorizo además reproducciones parciales o totales de esta Tesis sólo con fines académicos.

Alexander A. Valdenegro Mancilla

Con todo mi r=1-sen θ , $\forall \theta \in [-\pi,\pi]$ y mi amor para ti mamá.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a lo más lindo que tengo, mi madre, gracias por tu apoyo, cariño, compañía, amor y comprensión.

A Jorge Frías por su apoyo y ayuda.

A Nelson Silva, por todas las facilidades que he tenido durante la realización de la presente Tesis, por la buena acogida en el Laboratorio de Oceanografía Química, y por toda la confianza y ayuda que siempre me ha brindado.

A todos mis amigos del laboratorio de oceanografía química (Angélica Varas, Don Reinaldo Borquez y Francisco Gallardo).

A todos mis amigos del laboratorio de oceanografía física (Luis Bravo, Cesar Hormazabal).

Al Ministerio de Hacienda, Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) y Comité Oceanográfico Nacional (CONA), por el financiamiento parcial del presente estudio.

Al proyecto FONDEF 2-41 (CERIO), por el aporte de instrumental utilizado en los análisis químicos.

A los comandantes del AGOR Vidal Gormáz, C.F. Sr. Rodolfo Storaker, sus oficiales y tripulación por su apoyo a abordo en la toma de las muestras en las respectivas etapas del crucero Cimar 3 Fiordo.

Al Profesor Sergio Salinas M, por la revisión del texto y las sugerencias propuestas, las cuales ayudaron a mejorar la calidad de esta tesis.

Finalmente quiero agradecer a todas las personas, que luego me cobrarán sentimientos, por no haber dejado un testimonio escrito de mis agradecimientos hacia ellos, gracias, gracias, gracias.

INDICE

Portada de presentación	
Comisión de tesis	i
Autorización de uso	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Índice	v
Resumen	viii
Introducción	1
Objetivos	4
Materiales y métodos	5
Resultados	7
Estrecho de Magallanes	
Características geográficas Distribución de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y nutrientes para el estrecho de Magallanes. Diagrama T-S Estación YO-YO Frecuencia de Brunt-Väisälä Regresiones lineales entre la salinidad y los parámetros muestreados. Relación N:P	7 9 9 9 10 10
Seno Otway-canal Jerónimo	
Características geográficas Distribución de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y nutrientes Diagrama T-S Frecuencia de Brunt-Väisälä Regresiones lineales entre la salinidad y los parámetros muestreados. Relación N:P	11 11 12 12 12 12

Seno Agostini, seno Koets y seno Magdalena

Características geográficas	13
Distribución de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y nutrientes	13
Diagrama T-S	13
Frecuencia de Brunt-Väisälä	13
Regresiones lineales entre la salinidad y los parámetros muestreados.	13
Relación N:P	13

Canal Cockburn, canal Magdalena y seno Magdalena

Características geográficas	15
Distribución de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y nutrientes	15
Diagrama T-S	16
Frecuencia de Brunt-Väisälä	16
Regresiones lineales entre la salinidad y los parámetros muestreados.	16
Relación N:P	16

Seno Almirantazgo, canal Whiteside y bahía Inútil

Características geográficas	17
Distribución de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y nutrientes	17
Diagrama T-S	18
Frecuencia de Brunt-Väisälä	18
Regresiones lineales entre la salinidad y los parámetros muestreados.	19
Relación N:P	19

Bahía Desolada, canal Ballenero, canal O'Brien, brazo Noroeste y canal Beagle

Características geográficas	19
Distribución de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y nutrientes	19
Diagrama T-S	21
Frecuencia de Brunt-Väisälä	21
Regresiones lineales entre la salinidad y los parámetros muestreados.	21
Relación N:P	22

Brazo Sudoeste, Canal Murray, Bahía Nassau

Características geográficas	22
Distribución de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y nutrientes	22
Diagrama T-S	23

Frecuencia de Brunt-Väisälä	23	
Regresiones lineales entre la salinidad y los parámetros muestreados.		
Relación N:P	24	
Discusión	24	
Aspectos geomorfológicos	24	
Distribución de temperatura	25	
Distribución de salinidad	26	
Estación Yo-Yo	27	
Distribución de oxígeno disuelto y pH	27	
Distribución de nutrientes (fosfato y nitrato)	30	
Relación N:P	31	
Distribución frecuencia de boyantes	34	
Masas de agua	35	
Influencia del Océano Pacífico sobre las masas de agua en la	35	
entrada occidental del estrecho de Magallanes.		
Influencia del Océano Atlántico sobre las masas de agua en la	37	
entrada oriental del estrecho de Magallanes.		
	• •	
Cuantificación de masas de agua mediante el método de análisis	38	
multiparámetros (OMP).		
	27	
Circulación general en algunos canales	37	
Comparación de los regultados obtenidos en Cimer 2 Fierdo con los	20	
Desultadas abtenidas en las enverses enteriores	39	
Resultados oblemaos en los cruceros ameriores.		
Circulación general en algunos canales	39	
en outworken general on algunos outwices	27	
Comparación del los resultados obtenidos en Cimar 3 Fiordo con	41	
los resultados obtenidos en los cruceros anteriores		
Conclusiones	43	
Referencias	45	
Figuras	50	
Anexos	89	

RESUMEN

En la porción austral de la zona de los canales y fiordos chilenos, desde el Estrecho de Magallanes (52° 19'S) hasta el Cabo de Hornos (55° 58'S) y durante los días 9 al 22 de octubre de 1998, se realizó un crucero de investigación a bordo del Buque Científico AGOR Vidal Gormaz como parte del programa multidisciplinario e interinstitucional denominado Cimar 3 Fiordo. Uno de los objetivos de este estudio fue obtener un conocimiento general de las condiciones oceanográficas físicas y químicas de las aguas interiores de esta zona austral de Chile. Para ello se registró la temperatura y la salinidad, se tomaron muestras de agua para el análisis de oxígeno disuelto, pH, y nutrientes (fosfato y nitrato) en 51 estaciones oceanográficas distribuidas en el estrecho de Magallanes, senos Almirantazgo y Otway, bahías Desolada, Nassau e Inutil, fiordo Agostini, canales Magdalena, Brazo Norte, Brazo Sudeste, Beagle, Cokburn y Murray y la zona oceánica. Con la información así obtenida se prepararon secciones verticales para cada una de las características antes mencionadas.

En términos generales la columna de agua estuvo constituida por dos capas, una superficial de unos 50 - 75 m de espesor y una profunda bajo la anterior, la que alcanzó profundidades máximas mayores de 1.000 m en el estrecho de Magallanes. La capa superficial fue, en general, más fría, menos salina, con mayor contenido de oxígeno disuelto, mayor pH y menor contenido de nutrientes. Por el contrario la capa profunda fue menos fría, más salina, con menor contenido de oxígeno disuelto, menor pH y mayor contenido de nutrientes.

Escaparon al patrón anterior, algunos canales en que, producto de la menor profundidad y/o de una mayor mezcla vertical, se presentó una estructura más uniforme de superfície a fondo en todas las variables analizadas.

Los valores y concentraciones individuales de los diferentes canales, senos y fiordos, dependieron de las condiciones locales, producto del aporte de aguas más salinas, de menor contenido de oxígeno disuelto y pH y de mayor contenido de nutrientes desde el Pacífico y parcialmente desde el Atlántico. Los aportes glaciofluviales, precipitaciones (líquidas y Sólidas) y la cordillera de Darwin tienen un efecto importante en la distribución de propiedades en la zona occidental debido a que aportan agua dulce, fría, de alto contenido de oxígeno disuelto y pobre en nutrientes.

Entre las características batimétricas más notables, está la segregación del estrecho de Magallanes en tres subcuencas producto de la constricción batimétrica de la isla Carlos III y las bajas profundidades entre la plataforma continental argentina y la segunda angostura. Esta segregación consistente en una cuenca noroccidental, entre la plataforma continental chilena y la isla Carlos III con profundidades superiores a 800 m, una cuenca central entre la isla Carlos III y la segunda Angostura con profundidades superiores a 500 m y una cuenca oriental entre la segunda Angostura y la plataforma continental Argentina con profundidades menores de 70 m. Investigadores italianos basándose en los datos obtenidos el los cruceros del B/I Explora y B/I Cariboo,

propusieron que estas cuencas están llenas con aguas de características oceanográficas diferentes, lo cual fue confirmado con los datos de este crucero.

Utilizando la distribución de propiedades físicas y químicas como trazadores de flujo se propone un modelo esquemático de la circulación para el estrecho de Magallanes y los senos Almirantazgo, Agostini y Otway, los cuales básicamente consisten en un modelo estuarino positivo. Para el estrecho de Magallanes el agua estuarina más fría, menos salobre, más oxigenada, básica y con menor contenido de fosfato y nitrato tiene un flujo neto tanto hacia el Pacífico como el Atlántico, el cual esta modulado por la marea. Se cuantificaron, a través de un análisis multiparametros, los porcentajes de participación en la mezcla de las Aguas Subantárticas provenientes del Pacífico (ASAA), Agua Dulce proveniente de lluvias, ríos y derretimiento de glaciares (AD) y Aguas Subantárticas provenientes del Atlántico (ASAA). La cuenca noroccidental se llena con una mezcla de ASAA y un baja cantidad de AD la que produce aguas con salinidades mayores a 32 y 33 psu a la cual se denominó Agua Subantártica Modificada (ASAAM). La cuenca central se llena con una mezcla de ASAA y AD de menor salinidad con salinidades dando origen a aguas estuarinas desplazan hacia el este sobrepasando la constricción de la isla Carlos III y hundiéndose en esta cuenca, debido a su mayor densidad, para finalmente llenarla con agua de características estuarinas provenientes de la zona noroccidental. Las aguas Subantárticas del Atlántico tienen una influencia restringida a la cuenca oriental y su intrusión y/o salida esta dominada por las mareas de la zona.

INTRODUCCION

La zona sur austral de Chile tiene una extensa superficie de fiordos y canales con características estuarinas que los hacen adecuados para la utilización en cultivos marinos. Esto ha llevado al sector industrial a solicitar concesiones marítimas e instalar nuevos centros de cultivos (SERNAPESCA, 1999). Por otra parte ha habido un importante aumento del turismo y navegación en la zona. Debido a lo anterior se hace necesario contar a la brevedad con estudios de línea de base que permitan tener una referencia para monitorear los cambios que estas actividades pudieran producir en el ambiente.

Debido a la falta de información oceanográfica de la zona, la comunidad científica planteó la necesidad de estudiar y entender algunos procesos, lo que se concretó por parte del Comité Oceanográfico Nacional, en octubre de 1995 con la realización del primer crucero multidisciplinario y multi-institucional Cimar 1 Fiordo, entre Puerto Montt y Laguna San Rafael, caracterizando esta zona, sobre la base de parámetros biológicos, físicos y químicos. Un año después, entre octubre y noviembre de 1996 con objetivos similares a Cimar Fiordo 1, se realizó el crucero Cimar 2 Fiordo que abarcó la zona desde el golfo de Penas a la boca occidental del estrecho de Magallanes. Posteriormente, se realizó un tercer crucero oceanográfico, Cimar 3 Fiordo, en dos etapas. La primera etapa entre el 6 y 17 de octubre de 1997, fue destinada al muestreo de sedimentos y organismos bentónicos, y la segunda etapa entre el 9 y 22 de octubre de 1998 se orientó al estudio de la columna de agua y organismos planctónicos. Este ultimo crucero abarcó la zona entre el estrecho de Magallanes y el cabo de Hornos.

Los canales australes al sur del estrecho de Magallanes es una zona poco estudiada y su conocimiento esta basado en los resultados de algunas expediciones extranjeras como la expedición del buque canadiense C.H.S. Hudson que realizó un muestreo en los canales del sur de Chile entre Puerto Montt (41°31'S) y seno Almirantazgo (54°24'S) en marzo de 1970m, y las expediciones italianas del B/I Cariboo y B/I Itálica en el verano de 1991 y 1995 respectivamente. realizadas como parte del programa de investigación Italiana en la zona subantártica, destinada al conocimiento de la geología de la zona (Budillon *et al.*, 1995), corrientes (Michellato *et al.*, 1991), variables físicas, químicas y biológicas (Panella *et al.*, 1991; Lecaros *et al.*, 1991; Cabrini y Umani, 1991; Fontonal y Panella, 1991; Setti y Veniale, 1991; Simeoni *et al.*, 1991;Colizza,1991; Celio, 1991; Mosca y Fontolan, 1991).

Otra campaña en la zona fue la R.V. "Víctor Hensen" realizada en noviembre de 1994 obteniendose información de las comunidades planctonicas (Hamame y Antezana, 1999) y las condiciones hidrográficas del estrecho de Magallanes, canal Beagle y zona oceánica (Antezana, 1999).

Sin embargo estos cruceros sólo se han centrado básicamente en el estrecho de Magallanes y canal Beagle. Por lo tanto queda una gran cantidad de canales por estudiar en la zona, algunos de los cuales nunca han sido muestreados.

Además de los cruceros anteriores, a nivel nacional en 1993 el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) realizó una expedición oceanográfica para el estudio de fenómenos de floraciones algales nocivas, sin que sus resultados hayan sido publicados y sólo se dispone de informes internos de IFOP (Braun *et al.*, 1993).

Sin duda el estrecho de Magallanes es una de las zonas que ha cobrado importancia en estos últimos años puesto que presenta una serie de características que la hacen interesante tanto para la actividad científica, como la productiva, ya que éste separa el continente de la isla Tierra del Fuego, siendo una importante ruta comercial, que une el océano Pacífico con el Atlántico.

La zona occidental del estrecho de Magallanes es un área que, climatológicamente, se caracteriza por poseer altas precipitaciones durante todo el año, que fluctúan entre 2.000 a 5.000 mm por año, a diferencia de la zona oriental, en donde las condiciones climáticas son menos severas y la precipitación varia entre 200 a 700 mm por año (Panella *et al.*, 1991).

La condición de estar ubicada entre dos océanos y cerca de la Antártica, hace que esta zona tenga características geológicas, oceanográficas y biogeoquímicas bastante peculiares e interesantes desde el punto de vista científico. En esta zona de fiordos, las características topográficas y batimétricas de la zona juegan un importante rol en la distribución de los parámetros oceanográficos. También pueden presentarse algunas zonas en que la topografía restringe el intercambio de agua, generando zonas semiaisladas con características oceanográficas distintas a las zonas adyacentes. Una situación semejante fue encontrada por Silva *et al.* (1995) en la zona adyacente a la isla Meninea en la zona norte del área de canales australes de Chile.

Las características batimétricas en el estrecho de Magallanes determinan la existencia de tres tipos de subcuencas: la subcuenca este, la subcuenca central y una subcuenca oeste (Panella *et al.*, 1991). Las características de los cuerpos de agua de esta zona, están determinadas principalmente por las características termohalinas de las aguas del océano Atlántico, del océano Pacífico y de las aguas continentales que fluyen hacia el estrecho, como también por el régimen inducido por las mareas y los vientos. Ambas características, tanto las batimétricas como las hidrográficas de aguas que ingresan a la zona hacen de esta área un sector muy peculiar.

Sin duda la circulación del sistema está fuertemente modulado por las corrientes de marea que suelen ser de gran intensidad (Cerda, 1993). El viento es otro forzante importante en la circulación de este sistema, como también lo es, el aporte de aguas frías de baja salinidad que provienen de los ríos, escurrimiento costero y deshielos de glaciares adyacentes.

Las corrientes en el estrecho de Magallanes son normalmente fuertes, pudiendo alcanzar en algunos lugares, como la primera Angostura, velocidades sobre 450 cm·s⁻¹ (Brambati y Colantoni, 1991). Mediciones similares fueron obtenidas en Cimar 3 Fiordo (Salinas *et al.*, 1999); donde las corrientes muestran una gran intensidad, superando los 400 cm·s⁻¹ siguiendo la topografía del estrecho y con una variabilidad en la dirección e intensidad forzada por la onda de marea (Cerda, 1993).

Esta variabilidad en la intensidad y dirección de la corriente de marea junto con las características topográficas de la zona y las características hidrológicas afectan en gran medida la distribución de los parámetros físicos, químicos y biológicos en el sistema en estudio (Panella *et al.*, 1991; Lecaros *et al.*, 1991).

Desde el punto de vista científico y socioeconómico, especial atención ha cobrado el aumento de floraciones de algas nocivas documentada desde 1972, año en el cual el brote tóxico tuvo lugar en la zona media del estrecho de Magallanes y el Canal Beagle (Guzmán *et al.*,1975; Lembeye y Sfeir, 1996). Esto ha provocado una serie de problemas en la zona tanto de salud publica como económicos, debido al veneno paralizante de mariscos que ha generado graves problemas de salud a consumidores de recursos extraídos de esta zona. Por otra parte existen florecimientos nocivos no tóxicos que han afectado el desarrollo de la industria de la salmonicultura en la región (Clement, 1994). Lo que ha llevado a las autoridades a decretar el cierre de la extracción de mariscos en la zona, provocando graves problemas económicos en el sector, cuya economía local depende fuertemente de la actividad extractiva de mariscos, pesquera y de la acuicultura.

En la presente tesis se analizaron los datos físicos (temperatura, salinidad, densidad y químicos (oxígeno, pH, nitrato y fosfato), obtenidos de columna de agua entre el estrecho de Magallanes y el cabo de Hornos, con el objeto de obtener un conocimiento general de las condiciones oceanográficas físicas y químicas de las aguas interiores de los canales y fiordos magallanicos.

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar oceanográficamente la zona de canales y fiordos australes de Chile entre el estrecho de Magallanes y el cabo de Hornos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1. Caracterizar la columna de agua en cuanto a la distribución horizontal y vertical de temperatura, salinidad, oxígeno, pH, nitrato y fosfato.
- 2. Establecer los distintos tipos de agua presentes en la zona y su probable origen.
- 3. Determinar la relación entre nitrógeno y fósforo, en la columna de agua.
- 4. Caracterizar la columna de agua según su frecuencia de boyantes.
- 5. Comparar los resultados con cruceros anteriores.
- 6. Proponer modelos esquemáticos de circulación en algunos canales de la zona de estudio.

METODOLOGIA

La zona de estudio comprende el área entre el estrecho de Magallanes y el Cabo de Hornos, incluyendo los canales Balleneros, Jerónimo, Magdalena, Cockburn y Beagle, y los senos Otway, Almirantazgo y Agostini (Fig. 1).

El muestreo se realizó entre el 9 y 22 de octubre de 1998 con el buque oceanográfico de la Armada de Chile AGOR "Vidal Gormaz". En este crucero se efectuaron 60 estaciones oceanográficas (Fig. 1), en las cuales se realizaron mediciones de temperatura, salinidad y se tomaron muestras de agua de mar para el análisis de oxígeno disuelto, pH y nutrientes (nitrato, fosfato, silicato) como parte del proyecto Cimar 3 Fiordo.

Las mediciones de salinidad y temperatura fueron realizadas con un CTD Seabird modelo 19, el cual estaba incluido en un sistema de roseta con 24 botellas Niskin para la toma de muestras de agua a profundidades estándares de 0, 10, 15, 20, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 800, 1000 y 1200 m de acuerdo a la profundidad de la zona muestreada. Además se realizó un muestreo tipo Yo-Yo, en dos estaciones en el estrecho de Magallanes, estación 6 y estación 11 (Fig. 3 y 4), donde se realizaron lances repetitivos de CTD cada 2-3 horas. El procesamiento de los datos de CTD fue realizado mediante el protocolo estándar, sugerido en el manual del CTD Seabird 19.

Las muestras de oxígeno disuelto fueron colectadas y analizadas a bordo del buque con una bureta Dosimat-665, de acuerdo al método de Winkler modificado por Carpenter (1965). Los valores de saturación de oxígeno se calcularon basándose en el algoritmo de Weiss (1970). Las muestras de pH fueron tomadas con jeringas plásticas de 60 ml de capacidad, las que fueron guardadas en oscuridad a 4 °C hasta el momento del análisis. La medición fue realizada a bordo con un pH-metro Accumet-20 de una precisión de \pm 0,001, y para ello se utilizó una celda cerrada y termostatizada a 25 °C. La calibración del pHmetro se hizo con tampones AMP de pH 6,787 y TRIS de pH 8,089, preparados en agua de mar sintética de acuerdo a Doe (1994).

Las muestras para el análisis de nutrientes fueron tomadas en botellas asépticas de polietileno de alta densidad, de 60 ml de capacidad, fijadas con cloruro mercúrico y posteriormente guardadas congeladas a -25 °C. Estos análisis fueron realizados posteriormente en el Laboratorio de Oceanografía Química de la Escuela de Ciencias del Mar de la Universidad Católica de Valparaíso, utilizando un autoanalizador de nutrientes y de acuerdo a las técnicas de Atlas *et al.* (1971).

La densidad, σ_t , fue calculada a partir de la temperatura y salinidad usando el algoritmo de Fofonoff y Millard (1981) usando los datos a intervalos de 1m. Se calculó

la frecuencia de boyantes (N), también llamada frecuencia de Brunt-Väisälä, (N = $-gd\rho/\rho dz$) para medir el grado de estabilidad de la columna de agua (Gill, 1983).

A partir de la temperatura y la salinidad se construyeron para cada sección los distintos diagramas T-S con las respectivas isolíneas de σ_t .

Para determinar las fracciones de masas de aguas presentes en la sección seleccionada, se utilizó un análisis de optimización multiparámetros (Karstensen y Tomczak, 1998; Tomczak y Large, 1998). La metodología se detalla y explica en el Anexo 1.

RESULTADOS

Estrecho de Magallanes

Características geográficas

Morfológicamente el estrecho de Magallanes puede ser dividido en tres subcuencas (Panella *et al.*, 1991). La subcuenca del lado este que es la entrada del océano Atlántico el cual es un sector muy somero (50 - 70 m) e incluye la primera y segunda Angostura. La subcuenca central considerada hasta el sector aledaño a la isla Carlos III alcanzando profundidades máximas de 600 m y la subcuenca noroccidental del estrecho va desde la entrada del océano Pacífico hasta la isla Carlos III. Esta cuenca alcanza profundidades mayores a 800 m en su parte más profunda.

Temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y nutrientes

La subcuenca del lado Este (Est. 1 y 2), (Fig. 1) es un sector muy somero y de fondo plano. En este sector, se observó una columna de agua prácticamente homogénea en todas las variables medidas

En la estación 1 las temperaturas fueron del orden de 5,8 °C, y la salinidad fluctuó entre 32,49 psu y 32,50 psu.

La concentración de oxígeno disuelto fue del orden de 6,9 ml \cdot L⁻¹ en toda la columna con valores de saturación de oxígeno disuelto de 98%. El pH fluctuó entre 7,75 y 7,76.

En el caso de los valores de nutrientes, el fosfato presentó una concentración de 1,3 μ M en casi toda la columna, las concentraciones de nitrato fueron del orden de 13,5 μ M.

Valores similares se observaron en la estación 2, en ésta estación la temperatura es levemente más cálida, encontrando temperaturas entre 6,5 y 6,6 °C, salinidades de 30,87 psu, y concentraciones de oxígeno disuelto que variaron entre 6,6 a 7,1 ml·L⁻¹, con valores de saturación de oxígeno disuelto de 98%. El pH fue de 7,79 en toda la columna.

La concentración de nutrientes (fosfato y nitrato) fueron cuasi homogéneas y del orden de 1 μ M y 7 μ M respectivamente en toda la columna.

En la subcuenca central del estrecho de Magallanes que es mucho más profunda (Est. 6 a 9), las temperaturas observadas fueron cuasi homogéneas variando entre 7 y 7,5 °C (Fig. 2).

En el caso de la salinidad esta fue de 30,5 psu en la capa superficial aumentando gradual y levemente hasta 31,5 psu bajo los 500 m de profundidad. (Fig. 2)

La concentración de oxígeno disuelto en superficie fluctuó entre 6,5 y 7 ml·L⁻¹ (Fig. 2), y una concentración de 6,5 ml·L⁻¹ bajo los 200m de profundidad. El porcentaje de saturación de oxígeno disuelto varió entre un 95,7% a 98,8% en superficie y bajo los 200 m de profundidad entre 92,7% a 94,6%.

Las observaciones de pH también fueron cuasi homogéneas fluctuando entre 7,8 en superficie, a 7,7 bajo los 25 m de profundidad (Fig. 3).

La concentración de fosfato en superficie varió entre 0,7 y 0,9 μ M, bajo los 100 m de profundidad fue del orden de 1,0 μ M. El nitrato en superficie presentó concentraciones que variaron entre 6,5 y 8 μ M, entre las estaciones 6 y 8, a una profundidad de 75 m aproximadamente, bajo esta capa superficial fue del orden de 8 μ M en toda la columna (Fig. 3).

En la subcuenca noroccidental (Est. 10 a 13), la temperatura fluctuó entre 6,5 a 7,5 °C en la capa superficial y entre 7,5 a 9,5°C bajo los 75 m de profundidad (Fig. 2), se observa una inversión térmica dando cuenta de la existencia de una termoclina invertida a este nivel de profundidad.

La salinidad en la capa superficial presentó un una haloclina intensa con un gradiente en salinidad de 1,5 psu $(10 \text{ m})^{-1}$ según la clasificación de gradientes verticales propuestos por Silva *et al.* (1995), con bajas salinidades en superficie (< 30 psu). Bajo los 75 m de profundidad la salinidad aumentó gradualmente hasta formar una capa cuasi homogénea bajo los 200 m con salinidades del orden de 33 psu en el sector más salino del núcleo (Fig. 2).

El oxígeno disuelto, presentó concentraciones cercanas a 7 ml·L⁻¹ en la capa superficial. Bajo los 75 m de profundidad el oxígeno disminuyó a una concentración de 6,0 ml·L⁻¹. Coincidiendo con la capa más cálido y salina, bajo los 200 m de profundidad la concentración de oxígeno disuelto fue de aproximadamente 6,0 ml·L⁻¹ (Fig. 2). El porcentaje de saturación de oxígeno disuelto fue de alrededor de 99% en superficie y bajo los 100 m de profundidad se observaron valores en torno a 89%.

El pH observado a nivel superficial y en profundidad fue mayor a 7,8 coincidiendo con el núcleo más cálido y salino. Bajo los 300 m de profundidad el pH observado fue menor a 7,8 (Fig. 3).

El fosfato varió entre 0,6 y 1 μ M en la capa superficial y bajo los 75 m de profundidad varió en torno a 1,0 μ M (Fig. 3). El nitrato varió entre 4 y 8 μ M en la capa superficial. Bajo los 75 m de profundidad se observó una concentración en torno a 8 μ M y bajo los 200 m de profundidad la concentración de nitrato fue del orden de 12 μ M (Fig. 3).

Diagramas T-S

Los diagramas T-S para el estrecho de Magallanes (Fig. 2) mostraron dos estructuras de aguas de características distintas. Una estructura aparece conformada por las estaciones 10, 11, 12 y 13 ubicadas en la cuenca noroccidental del estrecho de Magallanes y la otra formada por las estaciones 1, 2, 6, 7, 8 y 9, abarcando la subcuenca este y central, hasta la Isla Carlos III.

La densidad para la primera estructura de agua varió entre 1021,9 y 1025,8 kg·m⁻³ y la del segunda estructura presentó una variación menor entre 1023,6 y 1024,3 kg·m⁻³.

Estación Yo-Yo

En cuanto a las mediciones repetitivas de CTD (estaciones Yo-Yo), realizadas en el estrecho de Magallanes (Fig. 1), La estación 6 mostró una columna con temperaturas que variaron en el rango de 6,3 a 6,9°C (Fig. 4) y una variación en salinidad entre 30,5 y 30,7 psu.

La temperatura presentó una desviación del orden de $\pm 0,03$ °C con respecto al perfil promedio, en casi toda la columna de agua. En el caso de la salinidad esta variación fue del orden de 0,002 psu con respecto al perfil de salinidad promedio.

La estación 11 mostró una mayor variación vertical tanto en temperatura como en salinidad, presentando un rango de variación de temperatura a nivel superficial entre 6,5 y 7 en los primeros 40 m, para luego aumentar rápidamente a 9,5 °C a 80 m de profundidad aproximadamente (Fig. 5). La variación con respecto al perfil promedio de temperatura fue del orden de 0,2 °C y en el caso de la salinidad esta fue de 0,5 psu.

Frecuencia de Brunt-Väisälä

En la zona oeste del estrecho de Magallanes se observó una alta estratificación con una frecuencia de boyantes (Fig. 6) del orden de $0,03 \text{ s}^{-1}$ a 75 m de profundidad (Est. 13). En las estaciones 11 y 12 se observó una alta estratificación a nivel superficial con una frecuencia de boyantes que varió entre $0,02 \text{ a} 0,04 \text{ s}^{-1}$ a 25 m de profundidad, observándose además un segundo máximo aproximadamente a los 75 de profundidad con una frecuencia del orden de $0,03 \text{ s}^{-1}$.

En la zona oeste del estrecho se observó una alta estratificación (Est. 10) con una frecuencia de boyantes cercana a $0,03 \text{ s}^{-1}$ a 75 m de profundidad y una menor estratificación en las estaciones 8 y 9.

En la zona central del estrecho (Est. 6 a 9) se observó una frecuencia de boyantes menor a 0.02 s^{-1} .

Regresiones lineales entre la salinidad y los parámetros muestreados.

A partir del análisis de regresiones lineales entre la salinidad (parámetro conservativo) y las distintas variables medidas se obtuvieron para el caso de la temperatura versus la salinidad un coeficiente de correlación r = 0,86 con 99 grados de libertad para la sección completa del estrecho de Magallanes (Fig. 7A) y de r = 0,91 con 64 grados de libertad para el sector oriental y un coeficiente de correlación r = 0,53 para el sector occidental del estrecho de Magallanes con 45 grados de libertad.

En el caso de la concentración de oxígeno versus la salinidad el coeficiente de correlación fue de -0,87 con 99 grados de libertad para la sección total (Fig. 7B) y para el sector oriental del estrecho de Magallanes el coeficiente de correlación fue de -0,88 con 64 grados de libertad. En el borde occidental del estrecho el coeficiente de correlación fue de r = -0.80 con 45 grados de libertad.

La concentración de nitrato versus la salinidad considerando todas las estaciones (ambas subcuencas), presentó un coeficiente de correlación de 0,93 con 99 grados de libertad (Fig. 7C). Para el borde oriental del estrecho de Magallanes el coeficiente de correlación fue de 0,94 con 64 grados de libertad y para el caso del borde occidental la correlación fue de 0,90 con 64 grados de libertad.

La concentración de fosfato en función con la salinidad presentó un coeficiente de correlación r = 0.87 con 99 grados de libertad para la sección total (Fig. 7D) y un r = 0.54 con 64 grados de libertad para el sector occidental del estrecho de Magallanes (Est. 13, 12, 11, 10 y 9) y un r = 0.92 para el sector oriental del estrecho de Magallanes (Est. 6, 7, 8 y 9) con 45 grados de libertad.

El pH en función con la salinidad presentó un coeficiente de correlación r= -0,094 con 99 rados de libertad para la sección completa (Fig. 7E) y un coeficiente de correlación r = -0,35 con 45 grados de libertad para el borde occidental del estrecho y un r = -0,21 con 65 grados de libertad para el borde oriental del estrecho.

Relación N:P

La relación N:P (relación de Redfield) para la sección completa del estrecho de Magallanes fue de 16,65 con un coeficiente de correlación r = 0,93 con 99 grados de libertad (Fig. 7F). Para el borde noroccidental (Est. 10, 11, 12, 13), la relación N:P fue de 17,7 con un coeficiente de correlación de 0,97 con 64 grados de libertad. Para la cuenca central del estrecho (Est. 6, 7, 8, 9), la relación N:P fue de 8,2 con un coeficiente de correlación r = 0,73 con 45 grados de libertad.

Seno Otway-canal Jerónimo

Características geográficas

El seno Otway presenta una orientación noreste-suroeste (Fig. 8), el cual está conectado al Seno Skyring a través del Canal Fitz Roy y conectado al borde oriental del estrecho de Magallanes a través del Canal Jerónimo. La sección del seno Otway tiene una longitud aproximada de 49 millas náuticas (m.n.) y presenta profundidades mayores a 400 m en su parte más profunda.

Temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y nutrientes

La temperatura en la capa superficial varió entre 5,8 a 6,1 °C. Bajo la superficie a unos 25 m de profundidad se observó un pequeño mínimo con valores menores a 6,0 °C presentándose una inversión térmica con una termoclina inversa a esta profundidad. Bajo los 50 m de profundidad se observó una columna cuasi homogénea con temperaturas entre 7,0 a 7,5 °C (Fig. 8).

La salinidad, presentó una distribución similar a la temperatura en donde las menores salinidades (< 28,5 psu) se observaron en superficie sobre los 25 m de profundidad presentándose una fuerte haloclina con un gradiente vertical de salinidad de 2,5 psu·[10 m]⁻¹ Bajo los 50 m de profundidad la salinidad varió entre 30,0 a 30,5 psu (Fig. 8).

La concentración de oxígeno disuelto en superficie varió entre 7,5 y 7,0 ml·L⁻¹ (Fig. 8), a los 50 m de profundidad la concentración de oxígeno varió entre 6,5 y 6,0 ml·L⁻¹ y bajo este nivel la concentración de oxígeno disuelto disminuyó a valores en torno a 6,0 ml·L⁻¹. Las isolíneas de 6,0 y 5,5 ml·L⁻¹ mostraron una distribución vertical que es más profunda en la boca que en la cabeza del seno. Los menores valores de oxígeno (< 5,5 ml·L⁻¹) y porcentaje de saturación se ubicó hacia el interior del seno. (Fig. 8). El porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en superficie varió entre 101 a 103% y bajo los 100 m de profundidad se observó un porcentaje de saturación en el rango de 82 a 89%.

El pH disminuyó desde superficie a fondo en toda la sección observándose valores mayores a 8,0 a nivel superficial y menores a 7,8 bajo los 25 m de profundidad (Fig. 9).

El fosfato presentó concentraciones menores a 0,2 μ M en superficie y mayores a 1,0 μ M bajo los 25 m de profundidad. La concentración de nitrato varió de concentraciones menores de 4 μ M en superficie a mayores de 8 μ M bajo los 25 m de profundidad (Fig. 9).

Diagramas T-S

Los diagramas T-S para el seno Otway fueron similares en todas las estaciones por lo que pertenece a una misma estructura T-S (Fig. 8). La densidad de este cuerpo de agua varió entre 1021,9 y 1024,1 kg·m⁻³

Frecuencia de Brunt-Väisälä

La sección del seno Otway presentó una alta estratificación en la capa superficial, observándose una alta frecuencia de boyantes del orden de $0,02 \text{ s}^{-1}$ entre los 25 y 50 m de profundidad en toda la sección de seno Otway, lo que implicaría que la picnoclina se ubicaría a esta profundidad (Fig. 10).

Regresiones lineales entre la salinidad y los parámetros muestreados.

La sección del Seno Otway presentó un coeficiente de correlación de 0,95 para el caso de la temperatura versus la salinidad con 38 grados de libertad (Fig. 11A).

La relación de concentración de oxígeno disuelto versus la salinidad presentó una correlación de -0,94 con 38 grados de libertad (Fig. 11B).

La concentración de nitrato en la columna de agua mostró un coeficiente de correlación de 0,97 con 38 grados de libertad (Fig. 11C).

El fosfato en función con la salinidad presentó un coeficiente de correlación de 0,95 con 38 grados de libertad (Fig. 11D).

El pH en función con la salinidad presentó un coeficiente de correlación de 0,89 con 38 grados de libertad(Fig. 11E).

Relación N:P

La relación N:P (relación de Redfield) presentó un valor de 17,78 con un coeficiente de correlación r = 0.98 con 38 grados de libertad (Fig. 11F).

Seno Agostini, seno Koets y seno Magdalena

Características geográficas

El seno Agostini tiene una orientado sureste-noroeste, conectado al estrecho de Magallanes por el seno Koets el cual a su vez esta conectado al seno Magdalena (Fig. 12). La longitud aproximada de la sección seleccionada es de 45 m.n., con profundidades de 75 m en el sector más somero del trayecto seguido y profundidades mayores a los 400 m en el sector más profundo (Est. 27).

Temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y nutrientes

La sección de temperatura mostró una columna con un gradiente vertical leve a la salida del seno no así hacia la cabeza, con la presencia de una termoclina fuerte (Est. 29), en donde la temperatura superficial aumentó gradualmente desde los 6,5 °C hasta 7,5° C hacia el sector más profundo (Fig. 12).

La distribución de salinidad mostró un núcleo de menor salinidad en superficie entre la estación 27 a 29, con salinidades de 29 a 30 psu en superficie observándose una fuerte haloclina con un gradiente vertical cercano a 2 psu·[10 m]⁻¹. Bajo los 25 m de profundidad y hasta casi los 150 m de profundidad la salinidad aumentó hasta 30,5 psu. Bajo los 150 m de profundidad la salinidad siguió aumentando hasta salinidades mayores a 31 psu (Fig. 12).

La distribución de oxígeno disuelto mostró concentraciones de 7,0 ml·L⁻¹ en superficie. Se observó un núcleo de menor contenido de oxígeno disuelto bajo los 50 m de profundidad hacia la cabeza del seno Agostini (Est. 28 y 29) con una concentración del orden de 6,0 ml·L⁻¹. En el resto de la sección bajo los 100 m de profundidad el oxígeno disuelto fue del orden de 6,5 ml·L⁻¹. El porcentaje de saturación de Oxígeno disuelto en superficie fluctuó entre 96% (Est. 27) y 101% (Est. 29). En general, en profundidad (bajo los 100 m de profundidad) el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto varió entre 78% (hacia la cabeza del seno) y 94% (hacia el estrecho de Magallanes).

La distribución del pH en esta sección mostró, al igual que los demás parámetros una distribución cuasi homogénea con un pH en torno a 7,9 en superficie y en torno a 7,8 bajo los 25 m de profundidad aproximadamente (Fig. 13).

En superficie el fosfato presentó una concentración del orden de 0,6 μ M y bajo los 25 m de profundidad, en la cabeza del seno Agostini (Est. 29 y 28) fue cercana a 1,0 μ M. Bajo los 100 m de profundidad la concentración fue cuasi homogénea con una concentración del orden de 1,0 μ M (Fig. 13). El nitrato en superficie mostró una distribución horizontal cuasi homogénea, con concentraciones del orden de 1 μ M (Fig. 13).

Bajo los 25 m se observó una concentración en torno a 3 μ M y bajo los 100 m de profundidad la concentración fue del orden de 9 μ M.

Diagramas T-S

Los diagramas T-S (Fig. 12) para el seno Agostini mostraron que las aguas pertenecen a dos estructuras con características distintas. Una corresponde a las aguas interiores del seno Agostini, Koets y Magdalena (Est. 27, 28 y 29) y la otra se ubica en el estrecho de Magallanes (Est. 7). La densidad del agua en esta sección, varió entre 1023,6 y 1024,7 kg·m⁻³.

Frecuencia de Brunt-Väisälä

La sección del seno Agostini presentó una alta estratificación (Fig. 14) en las estaciones 28 y 29, observándose una alta frecuencia de boyantes del orden de $0,03 \text{ s}^{-1}$ a 25 m de profundidad lo que implica que la picnoclina se ubica a esta profundidad. En el caso de las estaciones 7 y 27 la frecuencia de boyantes no superó $0,01 \text{ s}^{-1}$.

Regresiones lineales entre la salinidad y los parámetros muestreados.

En el seno Agostini la relación entre la temperatura versus la salinidad presentó un coeficiente de correlación r=0,74 con 40 grados de libertad (Fig. 15A).

La concentración de oxígeno disuelto versus la salinidad presentó un coeficiente de correlación de r=-0,48 con 40 grados de libertad (Fig. 15B).

Las concentraciones de nitrato disuelto presentaron un coeficiente de correlación de 0,88 con 40 grados de libertad (Fig. 15C).

La concentración de fosfato disuelto en función de la salinidad para esta sección presentó un coeficiente de correlación de 0,79 con 40 grados de libertad(Fig. 15D).

El pH en función de la salinidad presentó una coeficiente de correlación de -0,72 con 40 grados de libertad (Fig. 15E).

Relación N:P

La relación N:P(relación de Redfield) para el Seno Agostini fue de 14,68 con un coeficiente de correlación r=0,97 con 40 grados de libertad (Fig. 15F).

Canal Cockburn, canal Magdalena y seno Magdalena

Características geográficas

El canal Cockburn presenta una orientación este-oeste en su primer tramo desde el océano Pacifico (Est. 30 a 32), luego presenta una orientación norte-sur (Fig. 16). Esta conectado al océano Pacífico a través del borde occidental del canal Cockburn, y al estrecho de Magallanes a través del canal Magdalena el cual a su vez esta conectado al seno Magdalena, presentando profundidades del orden de 150 m en el sector más somero y profundidades mayores a 400 m en el sector más profundo (Est. 7).

Temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y nutrientes

En este canal se observó que la distribución de temperatura es cuasi homogénea presentando temperaturas que variaron entre 6,7 y 6,9 °C en la capa superficial (Est. 32), hasta casi los 150 m de profundidad y del orden de 6,9 °C desde la parte superficial del canal (Est. 27 a la 31) hasta bajo los 200 m de profundidad (Fig. 16).

La salinidad valores del orden de 30,5 psu en superficie (Est. 7), aumentando gradualmente hasta alrededor de 31,0 psu hacia el extremo oceánico del canal Cockburn (Est. 32) (Fig. 16). Bajo los 100 m de profundidad se observó una salinidad mayor a 31,0 psu, la que superó 31,5 psu en la estación 31.

El oxígeno disuelto no vario considerablemente en toda la columna, observándose concentraciones del orden de 6,8 ml·L⁻¹ en superficie y de 6,6 ml·L⁻¹ en las capas subsuperficiales y profundas (Fig. 16). El porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en superficie fue del orden de 96% en la estación 7 y del orden de 98% en el resto de las estaciones, bajo los 100 m de profundidad, el porcentaje de saturación de oxígeno varió entre 94 a 97%.

Al igual que los parámetros anteriores el pH casi no presentó variaciones en toda la columna con valores de 7,8 desde la entrada desde el océano Pacífico hasta casi la estación 27, ya que desde la estación 7 a la 27 el pH presentó un valor de 7,9 (Fig. 17).

La concentración de nutrientes para esta sección no presentó grandes variaciones, en el caso del fosfato se observaron valores de 0,6 μ M en superficie y de 1,0 μ M en la zona profunda (Fig. 17). El nitrato presenta concentraciones menores a 4 μ M en superficie y bajo los 50 m de profundidad la concentración es cuasi homogénea y de 8 μ M (Fig. 17).

Diagramas T-S

Los diagramas T-S (Fig. 16) mostraron la diferenciación de los tipos de estructuras para el canal Cockburn, observándose la influencia del agua que ingresa desde el océano Pacífico (Est. 32, 31 y 30) y las provenientes desde el estrecho de Magallanes a través del seno Magdalena (Estaciones 7 y 27). En general la densidad en esta sección varió entre 1023,8 y 1024,7 kg·m⁻³.

Frecuencia de Brunt-Väisälä

La frecuencia de boyantes para este sector mostró que la columna de agua es altamente inestable, presentando una frecuencia de boyantes muy baja desde la estación 7 a la 32 cercana a $0,01 \text{ s}^{-1}$ en casi toda la columna. Lo cual se vio reflejado en la homogeneidad de los demás parámetros medidos (Fig. 18).

Regresiones lineales entre la salinidad y los parámetros muestreados.

En la sección Canal Cockburn-canal Magdalena-seno Magdalena la relación entre la temperatura y la salinidad presentó un coeficiente de correlación r = 0,24 con 52 grados de libertad (Fig. 19A).

La concentración de oxígeno disuelto versus la salinidad presentó un coeficiente de correlación de r = 0,22 con 52 grados de libertad (Fig. 19B).

El nitrato disuelto versus la salinidad presentó una coeficiente de correlación r = 0, 70 con 52 grados de libertad (Fig. 19C).

La concentración de fosfato en función con la salinidad presentó un coeficiente de correlación r = 0,06 con 52 grados de libertad (Fig. 19D).

El pH en función con la salinidad presentó un coeficiente de correlación r = 0,12 con 52 grados de libertad (Fig. 19E).

Relación N:P

En el caso de la relación N:P ésta fue de 9,7 con un coeficiente de correlación r = 0,57 con 52 grados de libertad (Fig. 19F).

Seno Almirantazgo, canal Whiteside y bahía Inútil

Características geográficas

El seno Almirantazgo presenta una orientación noroeste-sureste (Fig. 20). Esta conectado a bahía Inútil a través del canal Whiteside con una extensión de alrededor de 90 m.n. hasta bahía Inútil la cual a su vez esta conectada al estrecho de Magallanes. Presenta profundidades en torno a los 50 m en los sectores más someros y mayores a 300 m en su parte más profunda (Est. 54).

Temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y nutrientes

La sección de temperatura mostró una capa superficial cuasi homogénea, del orden de 5,5 °C (Fig. 20) en el extremo sur del seno Almirantazgo (Est. 51), con un núcleo relativamente más cálido (> 6,5 °C) en el extremo norte de bahía Inútil (Est. 56) en la parte superficial y de alrededor de 7,0 °C en el núcleo más cálido centrado alrededor de los 150 m de profundidad. Bajo los 200 m de profundidad la columna de agua fue cuasi homogénea presentando una temperatura que fluctuó entre 6,0 a 6,3 °C.

La salinidad mostró un comportamiento similar en cuanto a la distribución de las máximas y mínimas salinidades. En superficie la salinidad varió entre 28,0 y 30,5 psu observándose un núcleo de agua menos salina, de 28,0 psu en la parte superficial de la cabeza del seno Almirantazgo (Est. 51 a 52) presentándose en este sector los mayores gradientes verticales de salinidad (Fig. 20), con un gradiente vertical del orden de 3 psu·[10 m]⁻¹lo cual corresponde a una haloclina muy fuerte. En el extremo NE de la sección (bahía Inútil, Est. 54, 55 y 56) en superficie se observó parte de un núcleo más salino con salinidades que variaron de 31,0 a 32,0 psu el cual estaba centrado aproximadamente a los 100 m de profundidad. Bajo los 200 m de profundidad la columna de agua presentó salinidades de alrededor de 31,0 psu.

La distribución de la concentración de oxígeno disuelto mostró un máximo en superficie en el sector de la cabeza del seno Almirantazgo, con valores de 6,0 y 7,5 ml·L⁻¹ (Fig. 20), bajo los 75 m de profundidad la concentración de oxígeno varió entre 6,0 a 6,5 ml·L⁻¹ en este sector, a diferencia del sector noreste de la sección (bahía Inútil), en que observó en superficie concentraciones del orden de 7,0 ml·L⁻¹. En el sector medio del seno Almirantazgo la concentración de oxígeno en superficie fue de 6,5 ml·L⁻¹ y cerca de la cabeza del seno Almirantazgo se observó un mínimo de oxígeno de 5,5 ml·L⁻¹ a aproximadamente 75 m de profundidad. En profundidad la concentración de oxígeno disuelto varió entre 6,0 a 6,5 ml·L⁻¹. El porcentaje de saturación de oxígeno en superficie varió entre 98 y 102%. El porcentaje de saturación de oxígeno en profundidad vario entre 78,8% en el borde sur de la sección (Est. 51), y 99% en el borde norte de la sección (Est. 56).

Los valores de pH mostraron en la capa superficial valores mayores de 7,8, para luego disminuir en profundidad a valores menores de 7,8, formando un núcleo menor de 7,7 centrado a 100 m de profundidad en las estaciones 51 a 53 (Fig. 21).

Las concentraciones de fosfato presentaron un mínimo en superficie en el sector de la cabeza del seno Almirantazgo con concentraciones de 0,4 μ M (Fig. 21). En la estación 51, se observó además un núcleo de 1,6 μ M bajo los 100m de profundidad, en el otro extremo de la sección las concentraciones de fosfato variaron entre 0,4 μ M en superficie a 0,8 μ M bajo los 50 m de profundidad.

La concentración de nitrato presentó un comportamiento similar a la distribución de fosfato siendo baja la concentración en superficie en la cabeza del seno Almirantazgo con concentraciones de 2,0 μ M desde la estación 51 a la 52 (Fig. 21). Bajo los 50 m de profundidad aproximadamente, la concentración de nitrato observada fue de 10,0 μ M observándose un núcleo de una concentración 12 μ M, bajo este mínimo. En el otro extremo de la sección (bahía Inútil) sector noreste, se observó una concentración de 4,0 μ M a nivel superficial y bajo los 100 m de profundidad la concentración fue mayor a 8,0 μ M.

Diagramas T-S

Para la sección del seno Almirantazgo-canal Whiteside-bahía Inútil los diagramas T-S mostraron que las características de las aguas de las estaciones 56, 55 y 54 pertenecieron a una misma estructura, mientras que las estaciones 51 y 52 pertenecieron a otra, con temperaturas y salinidades menores en la capa superficial (Fig. 20).

Entre las estaciones 56, 55, 54 y 53 la densidad vario entre1023,8 y 1024,1 kg·m⁻³ y en las estciones 51 y 52 entre 1021,4 y1024,1 kg·m⁻³

Frecuencia de Brunt-Väisälä

El seno Almirantazgo presentó una alta estratificación a nivel superficial en el sector SE de la sección (cabeza del seno, estación 51 y 52), observándose una alta frecuencia de boyantes del orden de 0,04 s⁻¹ a nivel superficial para la estación 51 y menor a 0,02 s⁻¹ para las estaciones 52 y 53 (Fig. 22). Esto implica que la picnoclina se ubica a una profundidad de aproximadamente 25 m. Esta estratificación abarcó sólo las estaciones 51, 52 y 53. En las estaciones 54, 55 y 56 en general, la frecuencia de boyantez fue menor a 0,01 s⁻¹.

Regresiones lineales entre la salinidad y los parámetros muestreados.

La sección del seno Almirantazgo con respecto a la relación entre la temperatura versus la salinidad presentó un coeficiente de correlación de r = 0,84 con 44 grados de libertad (Fig. 23A).

La concentración de oxígeno disuelto versus la salinidad mostró un coeficiente de correlación r = 0.04 con 44 grados de libertad (Fig. 23B).

La concentración de nitrato versus la salinidad presentó un coeficiente de correlación r = 0,30 con 44 grados de libertad (Fig.23C).

El fosfato versus la salinidad presentó un coeficiente de correlación r = 0,40 con 44 grados de libertad (Fig. 23D).

El pH en relación con la salinidad presentó un coeficiente de correlación r = 0,14 con 44 grados de libertad (Fig. 23E).

Relación N:P

En el caso de la relación N:P (relación de Redfield) esta presentó un valor de 13,42 con un coeficiente de correlación r = 0,94 con 44 grados de libertad (Fig.23F).

Bahía Desolada, canal Ballenero, canal O'Brien, brazo Noroeste y canal Beagle

Características geográficas

Esta sección se considera desde la entrada del océano Pacífico en bahía Desolada, ingresando por el canal Ballenero, siguiendo por el canal O'Brien hasta conectarse con el Brazo Noroeste y el canal Beagle, pasando por el paso Richmond entre las islas Nueva y Lenox, con una extensión aproximada de casi 250 m.n. desde bahía Desolada hasta la estación 45 (Fig. 24). Esta sección presenta profundidades de 25 a 40 m en los sectores más someros y mayores a los 400 m en los sectores más profundos (Est. 35 y 37).

Temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y nutrientes

La distribución de temperatura (Fig. 25) mostró una columna homogénea con isotermas casi verticales en el sector S de esta sección (Est. 41 a la 45), con temperaturas que variaron entre 6,1 a 6,9 °C. Las temperaturas observadas en el sector occidental del canal, a nivel superficial (Est. 36 a 40) fueron del orden de 6,5 °C. Bajo los 100 m de

profundidad se observó un núcleo de agua más cálido con temperaturas del orden de 8,5 °C entre las estaciones 36 y 39.

La salinidad mostró una distribución similar, con salinidades del orden de 31,0 psu en superficie en el sector noroeste del canal (Fig. 25). Bajo los 100 m de profundidad se observó también un núcleo más salino, con salinidades en torno a los 33,0 psu entre las estaciones 36 a 39. El sector sureste del canal desde las estaciones 41 a la 45 las isohalinas al igual que las isotermas, fueron casi verticales en un sector del canal que es somero.

La concentración de oxígeno disuelto (Fig. 25) mostró máximos superficiales con valores en torno a 7,5 ml·L⁻¹ en el sector noroeste del canal (Est. 35 a 40), y concentraciones menores a 6,5 ml·L⁻¹ bajo los 100 m de profundidad. Se observó además una clara diferenciación de la concentración de oxígeno desde la estaciones 42 a la 45 (paso Richmomd), donde la concentración de oxígeno en este sector fue en torno a 6,5 ml·L⁻¹.

El porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en el extremo sur del canal (Est. 42 a al 45) presentó en superficie valores del orden de 98%, además en el sector noroeste del canal (Est. 35 a 40) los valores de saturación de oxígeno disuelto estuvieron en torno al 100% en superficie y bajo los 100 m de profundidad se observaron valores alrededor de 87%.

El pH observado (Fig. 26) en esta sección varió de 7,9 a nivel superficial a valores de 7,8 bajo los 100 m de profundidad en general no se observaron grandes variaciones en la columna de agua.

En la capa superficial se observó una concentración de fosfato en torno a 0,6 μ M, entre las estaciones 36 a 39 (Fig. 26). Bajo los 50 m de profundidad la concentración del fosfato fue del orden de 0,8 μ M y bajo los 75 m de profundidad en el sector oeste del canal (Est. 34 a la 39) la concentración de fosfato observada fue en torno a 1,0 μ M aumentando gradualmente hasta bajo los 125 m de profundidad donde se observó una concentración en torno a los 1,2 μ M. En el borde este (Est. 42 a la 45),que es el sector más somero del canal, la concentración de fosfato fue en torno a 1,0 μ M en toda la columna.

La concentración de nitrato (Fig. 26) mostró valores mínimos en la estación 38, con concentraciones menores a 4 μ M. Sin embargo a nivel superficial la concentración observada fue del orden de 4 μ M en las estaciones 34 y 44 las concentraciones fueron mayores a 8 μ M. Bajo los 75m de profundidad la concentración observada fue en torno a 8 μ M y bajo los 110 m de profundidad la concentración fue del orden de 12 μ M. Al igual que el comportamiento de las isotermas y las isohalinas en el sector SE, los nutrientes también mostraron isolíneas casi verticales.

Diagramas T-S

Los diagramas T-S (Fig. 25) de la sección bahía Desolada, canal Ballenero, canal O'Brien, brazo Noroeste y canal Beagle, mostraron claramente la separación de dos tipos de estructuras diferentes, ya que por el lado SE del canal se observó una columna muy bien mezclada (Est. 42 a 45) y por el otro sector del canal, vale decir, la entrada por bahía Deseada, se observó una columna de agua más estratificadas (Est. 34 a la 41).

La densidad entre las estaciones 42 a 45 varió entre 1024,7 y 1025,4 kg·m⁻³; y entre 1024,1 y 1025,8 kg·m⁻³ para las estaciones 34 a 41.

Frecuencia de Brunt-Väisälä

Los valores de la frecuencia de Brunt-Väisälä mostraron valores menores a $0,02 \text{ s}^{-1}$ para casi todas las estaciones (Fig. 27) presentándose los mayores valores aproximadamente a los 100 m de profundidad entre las estaciones 34 a 38. El resto de las estaciones mostró valores muy bajos de frecuencia de boyantes.

Regresiones lineales entre la salinidad y los parámetros muestreados.

En el canal Beagle (brazo noroeste) la relación entre la temperatura versus la salinidad presentó un coeficiente de correlación r = 0,64 con 94 grados de libertad (Fig. 28A).

La concentración de oxígeno disuelto versus la salinidad presentó un coeficiente de correlación de r =-0,31 con 94 grados de libertad (Fig. 28B).

Las concentraciones de nitrato disuelto presentaron un coeficiente de correlación de r = 0,82 con 94 grados de libertad (Fig. 28C).

La concentración de fosfato disuelto en función de la salinidad para esta sección presentó un coeficiente de correlación de 0,80 con 94 grados de libertad (Fig. 28D).

El pH en función de la salinidad presentó una coeficiente de correlación de -0,52 con 94 grados de libertad (Fig. 28E).

La Relación N:P

La relación N:P(relación de Redfield) para el canal Beagle-Brazo Noroeste, fue de 17,98 con un coeficiente de correlación r = 0.97 con 94 grados de libertad (Fig. 28F).

Brazo Sudoeste, Canal Murray, Bahía Nassau

Características geográficas

La sección formada por el Brazo Sudoeste, canal Murray, Bahía Nassau ubicada desde el borde occidental del océano Pacífico ingresando por bahía Cook, siguiendo la ruta del Brazo Sudoeste hacia el canal Beagle bajando por el canal Murray, hasta llegar casi al frente de la isla Hermite. La longitud aproximada de ésta sección es de 125 m.n. (Fig. 29), presentando profundidades mayores a 400 m en las estaciones 49 y 58 y del orden de 75 m en el sector más somero.

Temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y nutrientes

La distribución de temperatura mostró una columna con temperaturas mayores de 6,0 °C en la capa superficial en el sector oeste del canal (Est. 57, 58, 59, 39 y 40), las que aumentaron hacia el sur a valores mayores de 7 °C (Fig. 30). Bajo los 100 m de profundidad la temperatura observada presentó un núcleo mayor de 7,5 °C centrado a 150 m de profundidad en el sector occidental.

La distribución de la salinidad en el sector oeste del canal, mostró valores menores de 31,5 psu en la capa superficial (Est. 57, 58, 59, 39 y 40) las que aumentaron hacia el sur a valores mayores de 32,5 psu (Fig. 30). Bajo los 100 m de profundidad, la salinidad aumentó hasta valores mayores de 33,0 psu en el sector occidental (Fig. 30).

La concentración de oxígeno disuelto presentó valores máximos en superficie, con concentraciones que variaron entre 7,5 y 7,0 ml·L⁻¹ y mínimos bajo los 100 m de profundidad con valores de 6,5 ml·L⁻¹. El porcentaje de saturación de oxígeno disuelto fue máximo a nivel superficial en las estaciones 49 y 58 con valores de 118% y 108% respectivamente y bajo los 100 m de profundidad varió entre 99 a 94% del valor de saturación.

La distribución del pH observada en superficie fue de 8,0, desde la estación 48 hasta la estación 57, bajo esta capa superficial el pH observado fue de 7,9, hasta casi los 125 m de profundidad y bajo esta capa subsuperficial el pH observado fue de 7,8 (Fig. 31).

Los nutrientes (nitrato y fosfato) (Fig. 31) presentaron valores mínimos en superficie con concentraciones que variaron entre 0,2 y 0,6 μ M para el caso del fosfato y de casi 0 a 4 μ M para el caso del nitrato. Se observó que las concentraciones mínimas de ambos nutrientes se presentaron en la capa superficial de las estaciones 49 y 58.

Bajo los 100 m de profundidad la concentración de fosfato fue del orden de 1,0 μ M y el nitrato fue del orden de 12 μ M (Fig. 31).

Diagramas T-S

Esta sección mostró diagramas T-S (Fig. 30) en los cuales se puede observar que las aguas de las estaciones 40 y 46 a 49 por el borde SE del canal se separan claramente de las características oceanográficas del resto de las estaciones (Est. 39, 59, 58 y 57). Entre las estaciones 40 y 46 la densidad varió entre 1024,7 y 1025,9 kg·m⁻³, y entre 1024,1 y 1025,9 kg·m⁻³ para las estaciones 39, 59, 58 y 57.

Frecuencia de Brunt-Väisälä

En general, la sección del Brazo Sudoeste-canal Murray, no presentó una mayor estratificación (Fig. 32). Los valores observados de frecuencia de boyantez fueron bajos, menores a 0,02 s⁻¹ en todas las estaciones. Vale decir, los gradientes de densidad fueron mínimos en toda la columna de agua.

Regresiones lineales entre la salinidad y los parámetros muestreados.

En el canal Beagle (brazo suroeste) la relación entre la temperatura versus la salinidad presentó un coeficiente de correlación r = 0,80 con 77 grados de libertad (Fig. 33A).

La concentración de oxígeno disuelto versus la salinidad presentó un coeficiente de correlación de r = -0,63 con 77 grados de libertad (Fig. 33B).

Las concentraciones de nitrato disuelto presentaron un coeficiente de correlación de r = 0,78 con 77 grados de libertad(Fig. 33C).

La concentración de fosfato disuelto en función de la salinidad para esta sección presentó un coeficiente de correlación de 0,76 con 77 grados de libertad (Fig. 33D).

El pH en función de la salinidad presentó una coeficiente de correlación de 0,60 con 77 grados de libertad (Fig. 33E).

Relación N:P

La relación N:P(relación de Redfield) para el Brazo Suroeste, canal Murray y bahía Nassau fue de 18,2 con un coeficiente de correlación r = 0.97 con 77 grados de libertad (Fig. 33F).

DISCUSION

Las variaciones de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes (fosfato y nitrato) en la zona de estudio, están afectados por distintos forzantes tales como las condiciones de viento, que tiene su mayor efecto a nivel superficial, corrientes de marea, aporte de aguas de menor temperatura y salinidad y los procesos biogeoquímicos, entre otros. Los aportes de agua dulce son producto de las altas precipitaciones en la zona, la que varía entre 250 a 700 mm por año en el sector oriental del estrecho de Magallanes y entre 2.000 a 5.000 mm por año, en el sector occidental del estrecho de Magallanes (Ministerio de Obras Publicas – Dirección de Aguas, 1987). Por otra parte, también existe el aporte de aguas de deshielos de glaciares de montañas adyacentes. Otro de los factores importantes en la distribución de las variables medidas son las distintas condiciones topográficas del fondo de los senos, fiordos y canales que se analizan en la presente tesis, las que suelen generar cuencas semiaisladas.

Aspectos geomorfológicos.

Debido a la accidentada batimetría que presenta la zona de estudio, producto de sus mecanismos de formación (erosión glaciar, hundimientos tectónicos, Borgel, 1970-1971), en ella existen una serie de cuencas semiaisladas (sectores noroccidental y central del estrecho de Magallanes, canal Cockburn, seno Otway) cuyo intercambio y mezcla con aguas adyacentes ocurre a través de zonas someras.

Además, en las secciones analizadas se observaron zonas con presencia de umbrales que impiden el libre intercambio de aguas profundas con los sectores adyacentes como es el caso de la sección del Brazo Noroeste-canal Beagle-Paso Richmomd (Est. 41 a 44) (Fig. 24), Brazo Suroeste, canal Beagle, canal Murray y bahía Nassau (Est. 48 a 46) (Fig. 29). Algunas secciones interiores no presentaron profundidades someras en sus bocas (seno Agostini y Almirantazgo), que pudieran impedir el libre intercambio y mezcla con las aguas adyacentes. Sin embargo, a su vez, ellas están conectadas a canales que si están semi aislados, por lo que en definitiva, también ellos están semi aislados.

En las características geomorfológicas se debe destacar la presencia de la cordillera de Darwin con ventisqueros y glaciares adyacentes a los senos Agostini y Almirantazgo, canales Brazo Noreste, Suroeste y Beagle, que afectan las características oceanográficas térmicas y salinas de la capa superficial.

Distribución de temperatura

La temperatura de la zona sur austral de canales y fiordos entre el estrecho de Magallanes y el cabo de Hornos presentaron, en general, una estructura de dos capas, en donde la capa superficial (< 75 m) es más fría y variable, y bajo ella, fuertes termoclinas invertidas en la mayoría de los canales estudiados. Por ejemplo, para el estrecho de Magallanes se presentó una termoclina invertida de -1 °C·(10 m)⁻¹, lo cual es resultado de intrusión de aguas del Pacífico que está asociada a un núcleo de agua más cálida centrada a unos 100 m (Tabla 1) (Fig. 2). En el caso del seno Otway, que presentó temperaturas mínimas en superficie del orden de 5,8 °C y máximas en la capa subsuperficial con un valor del orden de 8 °C, se generaron gradientes verticales invertidos hacia la cabeza del seno, llegando a valores de -2 °C·(10 m)⁻¹ asociados a una termoclina invertida muy fuerte (Tabla1) (Fig. 8). Situación similar muestran los senos Agostini (Fig. 12) y Almirantazgo (Fig. 20), en los cuales los mayores gradientes se ubicaron hacia la cabeza de los senos.

De igual forma, las secciones del Brazo Noroeste-canal Beagle-paso Richmomd (Fig. 25), sección Brazo Sudoeste, canal Beagle y bahía Nassau (Fig. 30) presentan una capa superficial más fría (Tabla 1) asociada a la influencia de glaciares y fiordos adyacentes asociados a la presencia de la cordillera de Darwin. Esto produjo fuertes gradientes verticales similares a los que se producen hacia la cabeza de los senos Agostini y Almirantazgo que fueron del orden de -2,5 °C·(10 m)⁻¹ que corresponde a una termoclina invertida muy fuerte.

En el caso del seno Otway, existen diferencias con respecto a lo observado por Pickard (1971) quien registró temperaturas mayores e iguales a 10°C, con ausencia de mínimos superficiales. Esto es atribuido al período estacional en que se realizó la expedición Hudson (marzo de 1970), ya que en verano las temperaturas son mayores. Otro de los factores que explicarían estas diferencias es la ausencia de ventisqueros y glaciares adyacentes que aporten aguas frías, como también el semiaislamiento en que se encuentra este seno, el cual está conectado al estrecho de Magallanes a través de la angosta boca del canal Jerónimo. Esto permitiría que condiciones meteorológicas locales afecten las temperaturas de la columna de agua, pudiéndose alcanzar en verano los mayores valores observados por Pickard (1971).

Sin embargo existieron zonas donde la estructura vertical fue más homogénea, como aquellas ubicadas en sector oriental del estrecho de Magallanes, (Est. 1 y 2), sector canal Beagle, paso Richmomd (Est. 40 a 45), sector canal Beagle, canal Murray (Est. 46 a 49) y canal Cockburn (Fig. 16).

Producto de los diferentes forzantes que afectan la distribución térmica de los distintos canales, senos y fiordos, en algunos, se presentaron diferencias en sus valores medios, mínimos y máximos (Tabla 1). Las mayores temperaturas promedio (8,0 °C) se presentaron en la zona noroccidental del estrecho de Magallanes, mientras que las menores temperaturas promedio (5,8 °C), se observaron en la zona oriental del estrecho de Magallanes zona oriental (Tabla 1). El valor máximo de temperatura (9,9 °C) se presentó

en la zona noroccidental del estrecho de Magallanes (Est. 11), centrado a 100 m de profundidad (Fig. 2). Mientras que el mínimo fue de 4,9 °C y se presentó en la superficie de la cabeza del seno Almirantazgo (Est. 51). Los mayores valores de temperatura provienen de aguas que ingresan desde el Pacífico, mientras que los valores mínimos son generados por la presencia de un glaciar en la cabeza del seno Almirantazgo.

Sección	Promedio	Desv.	Mínimo	Máximo
		Estándar		
E. de Magallanes zona NW.	8,0	1,0	6,4	9,9
E. de Magallanes zona central	7,0	0,2	6,5	7,3
E. de Magallanes zona E	5,8	0,01	5,82	5.83
Seno Otway	7,4	0,6	5,8	8,0
Seno Agostini	7,0	0,6	6,4	7,5
Canal Cockburn	7,0	0,6	6,4	7,1
Seno Almirantazgo	6,1	0,6	4,9	6,5
Brazo Noroeste-Canal Beagle	6,1	0,8	5,8	8,7
Brazo Sudoeste-canal Murray	6,9	0,4	6,1	7,8

Tabla 1. Estadística básica de los valores de temperatura de las distintas secciones Cimar 3 Fiordo

Distribución salinidad

La salinidad, al igual que la temperatura, presentó una estructura general de dos capas, separadas por una haloclína cuya intensidad dependió de las bajas salinidades en la capa superficial. Las secciones que presentaron esta condición se caracterizaron por poseer fuertes haloclínas cuya intensidad fue variable en las distintas secciones tales como el borde occidental del estrecho de Magallanes en donde los mayores gradientes de salinidad fueron del orden de 1,5 psu·(10 m)⁻¹ asociados a las bajas salinidades en superficie. Su origen es producto de las altas precipitaciones en la zona occidental del estrecho (2.000 a 5.000 m·año⁻¹), escurrimiento costero, aguas fluvioglaciales y a la advección de aguas provenientes de canales interiores como el seno Otway.

Los senos Otway, cabeza del seno Agostini presentaron una capa superficial menos salina seguida de una haloclina fuerte (2 $psu \cdot (10 m)^{-1}$) (Est. 28 y 29), cabeza del seno Almirantazgo (3 $psu \cdot (10 m)^{-1}$) que corresponde a una haloclina muy fuerte (Est. 51, 52 y 53) y Brazo Noroeste-canal Beagle (1.5 $psu \cdot (10 m)^{-1}$) que corresponde a una haloclina fuerte (Est. 36 a 40).
Cabe señalar que en la sección Brazo Noroeste-canal Beagle existió una intrusión de aguas de menor salinidad producto del escurrimiento de aguas de los glaciares de la cordillera Darwin (Est. 36 a 39; Fig. 25), lo cual también fue observado por Antezana (1999).

Se presentaron columnas cuasi homogéneas de salinidad en las estaciones 1 y 2 de la cuenca oriental del estrecho de Magallanes, en las estaciones 41 a 45 de las sección del canal Cockburn, Brazo Noroeste, canal Beagle, paso Richmond (Fig. 25), y estaciones 40 a 46 en el Brazo Sudoeste, canal Beagle, canal Murray (Fig. 30), corresponden a zonas someras (< de 70 m). Lo anterior, junto con los fuertes vientos y corrientes de marea presentes en la zona, da como resultado una mayor mezcla y por lo tanto columnas cuasi homosalinas.

Producto de los diferentes forzantes que afectan la distribución de salinidad en los distintos canales, senos y fiordos, en algunos, se presentaron diferencias en sus valores medios, mínimos y máximos (Tabla 2). Las mayores salinidades promedio (32,53 psu) se presentaron en la zona del Brazo Sudoeste, Canal Murray y bahía Nassau, mientras que las menores salinidades promedio (30,11 psu), se observaron en el seno Otway. El valor máximo de salinidad (33,59 psu) se presentó en Brazo Noroeste (Est. 58) bajo los 200 m de profundidad. Mientras que el mínimo fue de 27,18 psu y se presentó en la superfície de la cabeza el seno Almirantazgo (Est. 51). Los mayores valores de salinidad provienen de aguas que ingresan desde el Pacífico por bahía Desolada, mientras que el mínimo se genera por la presencia de un glaciar en la cabeza del seno Almirantazgo.

Sección	Promedio	Desv.	Mínimo	Máximo
		Estándar		
E. de Magallanes zona NW.	32,18	1,3	27.51	33.34
E. de Magallanes zona central	30,88	0,3	30,31	31,38
E. de Magallanes zona E	32,50	0,01	32,49	32,51
Seno Otway	30,11	0,7	27,75	30,65
Seno Agostini	30,99	0,7	29,03	31,45
Canal Cockburn	31,15	0,7	30,31	31,62
Seno Almirantazgo	30,46	0,7	27,18	30,73
Brazo Noroeste-Canal Beagle	32,17	0,7	30,67	33,59
Brazo Sudoeste-Canal Murray	32,53	0,7	30,90	33,32

Tabla 2. Estadística básica de los valores de salinidad (psu) de las distintas secciones Cimar 3 Fiordo.

Estación Yo-Yo

En cuanto a los lances repetitivos de CTD en las estaciones Yo-Yo, éstos son representativas de las características térmicas y salinas de la capa superficial de la columna de agua (< 100 m), tanto del sector noroccidental del estrecho (Est. 11), como del sector central (Est. 6). De estas estaciones, la estación 6 fue más homogénea que la 11, tanto en temperatura como en salinidad (Figs 4 y 5), lo cual pudo deberse a que este sector se encuentra más abierto al viento y por lo tanto más susceptible a la mezcla vertical y/o a que la estación 11 tuvo un mayor aporte de aguas más frías y menos salinas provenientes de la zona afectada por los glaciares de la cordillera de Darwin. Estos aportes de aguas frías y menos salinas provocaron que la estación 11 presentara una termoclina invertida y una haloclina intensa, situación que no ocurrió en la estación 6 (Figs. 4 y 5). El resultado final de lo anterior fue la presencia de una picnoclina en la estación 11, provocando que la columna de ésta fuera más estable, por lo que la mezcla vertical en ella estuvo menos favorecida que en la estación 6.

En cuanto a la variabilidad temporal, la temperatura y salinidad en la estación 6, presentaron una menor variabilidad respecto a la estación 11. En el caso de la estación 6 la variabilidad temporal fue baja tanto en temperatura como en salinidad, con desviaciones estándar entre \pm 0,001 y \pm 0,03 °C y entre \pm 0,001 y \pm 0,01 psu (Fig. 4). A diferencia, la estación 11 mostró una mayor variación temporal en toda la columna con una desviación estándar respecto a la media entre \pm 0,01 y \pm 0,04 °C y entre \pm 0,2 y \pm 0,6 psu (Fig. 5).

Distribución de oxígeno disuelto y pH

Las fluctuaciones presentes tanto para la distribución vertical de oxígeno como de pH, en general, son similares debido a que ambas variables se ven afectadas por la interacción de procesos biogeoquímicos como la producción y consumo de O_2 y CO₂, resultantes de los procesos fotosintéticos y respiración respectivamente. La degradación de la materia orgánica también produce consumo de oxígeno disuelto y producción de anhídrido carbónico. Como el CO₂, esta involucrado el tampón carbonato-bicarbonato, la variaciones de éste producen variaciones en el pH (Libes, 1992).

La variación del oxígeno disuelto y pH para las secciones seleccionadas se resumen en las tablas 3 y 4, en donde se puede observar que en todas las secciones estudiadas no se presentaron condiciones de anóxia, ni de pH ácidos ya que las concentraciones de oxígeno disuelto fueron mayores a 3,6 ml·L⁻¹ y de pH mayores de 7,6 (Tabla 3). Esta información junto con aquella provista por Silva *et al.* (1995; 1998) y Silva y Calvete (en prensa), permite establecer que en ninguna parte de los canales, senos y fiordos chilenos existen condiciones de anóxia en la columna de agua, al menos hasta la máxima profundidad de muestreo, que fue de 5-10 m sobre el fondo. Con respecto a las concentraciones de oxígeno disuelto, estas presentaron una estructura similar a la de la temperatura y salinidad, mostrando una estructura de dos capas, en donde la capa superficial (< 75 m) fue más oxigenada que la capa profunda. Los valores máximos están asociados a las capas superficiales producto posiblemente del libre intercambio entre el océano y la atmósfera y de los procesos fotosintéticos que en ella ocurren. Los valores mínimos están asociados a las capas más profundas, producto del consumo de oxígeno en la degradación de la materia orgánica que llega de las capas superficiales (Tabla 3).

Sección	Promedio	Desv.	Mínimo	Máximo
		Estándar		
E. de Magallanes zona NW.	6,4	0,5	5,3	7,1
E. de Magallanes zona central	6,6	0,3	6,4	6,9
E. de Magallanes zona E	6,2	0,06	6,3	7,51
Seno Otway	6,5	0,7	5,3	7,6
Seno Agostini	6,5	0,4	5,3	7,3
Canal Cockburn	6,7	0,2	5,4	6,9
Seno Almirantazgo	6,6	0,6	5,1	7,7
Brazo Noroeste-Canal Beagle	6,4	0,8	3,6	7,4
Brazo Sudoeste –Canal Murray	6,8	0,5	5,8	8,3

Tabla 3. Estadística básica de los valores de oxígeno disuelto de las distintas secciones Cimar 3 Fiordo.

Producto de los diferentes forzantes y procesos biogeoquímicos que afectan a la distribución de oxígeno disuelto en los distintos canales, senos y fiordos, al igual que la temperatura y la salinidad, en algunos de ellos, se presentaron diferencias en sus valores medios, mínimos y máximos (Tabla 3). Los mayores valores de oxígeno promedio (6,8 ml·L⁻¹) se presentaron en el Brazo Sudoeste, Canal Murray y bahía Nassau, mientras que los menores valores promedio (6,2 ml·L⁻¹), se observaron en la zona este del estrecho de Magallanes (Tabla 3). El valor máximo de oxígeno disuelto (8,3 ml·L⁻¹) se presentó en la capa superficial del Brazo Sudoeste, canal Murray y bahía Nassau (Est. 49). Mientras que el mínimo fue de 3,6 ml·L⁻¹ y se presentó en el Brazo Noroeste, canal Beagle a 175 m de profundidad (Est. 41). Los máximos valores de oxígeno están asociados a las capas superficiales producto de la interacción océano-atmósfera y los bajos valores a procesos de consumo y degradación de materia orgánica y a una baja tasa de renovación de las aguas.

La distribución vertical de pH no presentó grandes diferencias entre las secciones, mostrando una estructura similar en todas ellas. Los máximos se presentaron en la capa superficial (< 25 m) y los mínimos en la profunda, lo cual es el resultado de la interacción de procesos biogeoquímicos como la fotosíntesis y la respiración en la capa superficial (producción y consumo de O_2 y CO_2), y remineralización en la capa profunda. Los valores promedio, en general, fueron similares para todas las secciones (Tabla 4).

Sección	Promedio	Desv.	Mínimo	Máximo
		Estándar		
E. de Magallanes zona NW.	7,80	0,02	7,92	7,94
E. de Magallanes zona central	7,78	0,03	7,73	7,92
E. de Magallanes zona E	7,79	0,01	7,75	7,76
Seno Otway	7,80	0,10	7,70	8,01
Seno Agostini	7,81	0,10	7,71	8,03
Canal Cockburn	7,81	0,03	7,80	7,90
Seno Almirantazgo	7,82	0,10	7,60	7,92
Brazo Noroeste-Canal Beagle	7,81	0,10	7,71	8,01
Brazo Sudoeste –Canal Murray	7,82	0,10	7,73	8,02

Tabla 4. Estadística básica de los valores de pH de las distintas secciones Cimar 3 Fiordo.

Producto de los diferentes forzantes y procesos biogeoquímicos que afectan a la distribución de pH en los distintos canales, senos y fiordos, al igual que la temperatura y la salinidad, en algunos de ellos, se presentaron diferencias en sus valores medios, mínimos y máximos (Tabla 4). Los mayores valores de pH promedio (7,82) se presentaron en el seno Almirantazgo, Brazo Sudoeste, canal Murray y bahía Nassau, mientras que los menores pH promedio (7,78), se observaron en la zona central del estrecho de Magallanes (Tabla 4). El valor máximo de pH (8,03) se presentó en la superficie del seno Agostini (Est. 29). Mientras que el mínimo fue de 7,70 y se presentó en el seno Otway a 150 m de profundidad (Est. 21). Las variaciones de la distribución vertical de oxígeno y pH son similares ya que ambas variables se ven afectas a los procesos biogeoquímicos en donde los máximos valores de pH podrían estar asociados a producción CO₂ y los bajos valores a procesos de respiración (Libes, 1992) y degradación de materia orgánica y a una baja tasa de renovación de las aguas, en la cabeza del seno Agostini. Situaciones similares han sido observadas por Silva *et al.*, 1998 en canales y fiordos de XI región.

Distribución de nutrientes (fosfato y nitrato)

La distribución vertical de nutrientes mostró también una estructura de dos capas en general, con una capa superficial (< 75 m) con menores concentraciones de nutrientes (Tabla 5 y 6) y más variable. En la capa profunda la concentración de nutrientes tendió a ser homogénea.

En cuanto a la distribución horizontal esta mostró diferencias en las distintas secciones, distribuyéndose las menores concentraciones superficiales (< 25 a 30 m) a lo largo de toda la sección, como fue el caso del seno Otway, Agostini, Almirantazgo.

Las bajas concentraciones a nivel superficial se pueden deber en gran medida al consumo de nutrientes por parte del fitoplancton y a la mezcla con aguas de menor salinidad y temperatura, cuyo origen son las aguas de ventisqueros adyacentes y el aporte de aguas de precipitación líquida y sólida, que se caracterizan por poseer bajas concentraciones de nutrientes (nitrato y fosfato). Esto también fue indicado por Planella *et al.* (1991), como una explicación de las menores concentraciones de nutrientes a nivel superficial.

Con el fin de demostrar que las bajas concentraciones de nutrientes en la capa superficial en la zona de fiordos y canales magallanicos se debió a la acción de forzantes tales como el aporte de agua dulce, ya sea de precipitación y deshielo e influencia de la cordillera Darwin, se construyó una serie de gráficos en que se relacionó la salinidad (parámetro conservativo) con las demás variables (Fig. 7, 11, 15, 19, 23, 28 y 33). En éstos se observó que existe una clara evidencia de una relación directa entre la salinidad y la concentración de nutrientes, observándose en la mayoría de las secciones correlaciones mayores a 0,87 (Fig. 7, 11, 15, 19, 23, 28 y 33). Sin embargo existen secciones en las cuales el comportamiento es no lineal en casi todos los parámetros, presentándose sólo una buena asociación con el nitrato, tal es el caso de las secciones del canal Cockburn (Fig. 17). En general las secciones que están mayormente influenciadas por aguas oceánicas presentaron una menor dispersión respecto a un ajuste lineal.

Las mediciones en aguas superficiales presentaron una mayor dispersión que las profundas, lo cual se puede explicar basado la mayor inestabilidad de la columna (Fig. 6, 10, 14, 18, 22, 27 y 32), lo cual no impide la mezcla vertical y por lo tanto la homogeneización de las concentraciones.

Sección	Promedio	Desv.	Mínimo	Máximo
		Estándar		
E. de Magallanes zona NW.	1,0	0,2	0,3	1,3
E. de Magallanes zona central	1,0	0,1	0,7	1,1
E. de Magallanes zona E	1,0	0,1	1,2	1,3
Seno Otway	0,9	0,3	0,3	1,3
Seno Agostini	1,0	0,2	0,5	1,3
Canal Cockburn	1,0	0,1	0,8	1,1
Seno Almirantazgo	0,9	0,3	0,4	2,2
Brazo Noroeste-Canal Beagle	1,0	0,2	0,6	1,5
Brazo Sudoeste – Canal Murray	1,0	0,2	0,4	2,1

Tabla 5. Estadística básica de los valores de fosfato de las distintas secciones de Cimar 3 Fiordo.

Sección	Promedio	Desv.	Mínimo	Máximo
		Estándar		
E. de Magallanes zona NW.	9,9	3,1	4,5	15,4
E. de Magallanes zona central	8,8	1,1	6,5	10,3
E. de Magallanes zona E	6,5	0,2	13,1	13,5
Seno Otway	7,3	4,8	0,1	12,5
Seno Agostini	7,9	2,6	0,7	12,3
Canal Cockburn	8,7	1,1	5,5	11,2
Seno Almirantazgo	6,9	4,1	0,4	14,4
Brazo Noroeste-Canal Beagle	9,4	3,7	2,5	15,4
Brazo Sudoeste – Canal Murray	8,7	3,9	1,3	15,4

Tabla 6. Estadística	básica de los	valores de r	nitrato de las	s distintas se	ecciones (Cimar 3
Fiordo.						

Producto de los diferentes forzantes y procesos biogeoquímicos que afectan a la distribución de fosfato y nitrato en los distintos canales, senos y fiordos, al igual que las demás variables, en algunos de ellos, se presentaron diferencias en sus valores medios, mínimos y máximos (Tabla 5 y 6). Los mayores valores de nitrato y fosfato promedio se presentaron en el sector noroccidental del estrecho de Magallanes, Brazo Noroeste, canal Beagle, mientras que los menores valores promedio, se observaron en la zona oriental del estrecho de Magallanes (Tabla 6). El valor máximo de nitrato (15,4 μ M) se presentó en el sector noroccidental del estrecho de Magallanes (Est. 10) a 600m de profundidad, en la sección Brazo Noroeste y canal Beagle (Ets. 35) a 600 m de profundidad y Brazo Sudoeste, canal Murray (Est. 58) a 400 m de profundidad . En el caso del fosfato los máximos valores se observaron en el seno Almirantazgo (Est. 51) a 100 m de profundidad y en la sección Brazo Sudoeste, canal Murray (Ets. 49) a 200 m de profundidad. Mientras que el mínimo en nitrato fue de 0,1 µM en el seno Otway (Est. 20) en la capa superficial. Los máximos valores de nitrato y fosfato podrían estar asociados a una baja producción primaria en las capas superficiales y por ende a un bajo consumo. Los mínimos valores están asociados a las capas subsuperficiales en donde se presenta un mayor consumo de nutrientes.

Relación N:P

Existen dos puntos de vista de como la producción primaria en el océano se ve controlada por las concentraciones de nitrógeno y fósforo. Una es la visión geoquímica (regulación por fósforo) y la otra es la visión biológica (regulación por nitrógeno) (Tyrrell, 1999).

Sin embargo en cualquiera de los dos casos la relación de Redfield (N:P = 16) nos permite tener información de la columna de agua, con respecto a la disponibilidad de nutrientes para los primeros niveles tróficos. En donde la asimilación y regeneración de estos elementos por parte de la biomasa planctónica presente en un cuerpo de agua, es un proceso continuo de alimentación y retroalimentación (Redfield, 1963)

En general si observamos los valores de las concentraciones de nitrato y fosfato, que son las especies iónicas predominantes de nitrógeno y fósforo en un ambiente oxigenado, en función de la profundidad, se esperaría que ambos aumentaran en la medida que la materia orgánica que decanta se descompone. El aumento debería ser en forma proporcional a la relación de Redfield ya que la tasa de liberación del nitrato y fosfato debería ser en función de ésta.

Cuando las concentraciones de nitrato son menores en comparación con las concentraciones de fosfato disuelto, la proporción N:P es baja (< 16). Si la concentración superficial llega, a valores muy bajos, de modo que no es suficiente para los requerimientos del fitoplancton, bacterias y microalgas especializadas pueden obtener nitrógeno por fijación del nitrógeno disuelto (N_2°) (Libes, 1992). Así el nitrógeno fijado y transformado en materia orgánica, al descomponerse, retorna al agua en la forma de amonio y nitrato disuelto, aumentando la relación N:P a valores más cercanos a los de Redfield en un proceso de retroalimentación negativa. (Tyrrell, 1999)

En la zona de estudio se presentaron diferencias en torno a la relación N:P (Tabla 7), que dan cuenta de la mayor o menor concentración de uno de los dos elementos. Ello podría interpretarse como que en algunas zonas estaría actuando la regulación por fósforo y en otras la regulación por nitrógeno.

Sección	Estaciones	N:P
Relación teórica de Redfield		16
E. de Magallanes zona occidental.	10 a 13	17,8
E. de Magallanes zona central	6 a 9	8,6
E. de Magallanes zona E	1 y 2	22,7
Seno Otway	20, 21, 22 y 26	14,6
Seno Agostini	7, 27, 28 y 29	14,7
Canal Cockburn	7, 27, 30, 31 y 32	9,7
Seno Almirantazgo	51, 52, 53, 54, 55 y 56	13,4
Brazo Noroeste-Canal Beagle	34, 35, 36, 37, 38, 39, 40 y 41	17,9
Paso Richmomd	42 a 45	23,0
Brazo Sudoeste – Canal Murray	46, 47, 48, 49, 40, 39, 59, 58 y 57	18,2

Tabla 7. Resumen los valores de la relación N:P las distintas secciones de Cimar 3 Fiordo.

En cuanto a la relación teórica de Redfield para la relación N:P, el valor de 16 corresponde a un valor promedio para la composición química de un grupo determinado de especies de fitoplancton (Redfield *et. al,* 1963). Por otra parte, ésta relación presenta variaciones dependiendo de la ubicación geográfica. Fedele (1993), mostró que esta fluctuó, en el Pacífico Sudoriental, de valores del orden de 17 frente al Perú (10°S) a 15 a la altura del estrecho de Magallanes (52°S). Debido a lo anterior se decidió aceptar un rango de variación de ± 2 con respecto al valor teórico (16), como valor válido para considerar como "normal". Por lo tanto se consideró a todas las secciones con relaciones N:P entre el intervalo 14 a 18, dentro del rango de valores que corresponden a la relación de Redfield. Así se observaron zonas que se caracterizaron por poseer una relación cercana a la relación teórica N:P (estrecho de Magallanes zona noroccidental, senos Otway y Agostini, Brazo Noroeste-Canal Beagle y Brazo Sudoeste-Canal Murray; Tabla 7).

Las diferencias más significativas por sobre la relación teórica N:P se presentaron en las aguas someras del borde oriental del estrecho de Magallanes y Paso Richmomd (Tabla 7). Estos altos valores (> 22) se podría explicar en base a que la subcuenca oriental y el Paso Richmomd se caracterizan por ser muy somera, con un fuerte régimen de mareas (Michelato et al., 1991; Planella et la., 1991; Cerda 1994) en donde se presenta gran cantidad de material en suspensión. Además, el sector se caracteriza por poseer gran cantidad de sedimentos en suspención, con altas concentraciones de nitrógeno orgánico particulado (Fabiano *et al.*, 1999) lo que explicaría que estos dos sectores presentan características similares, y estarían siendo mayormente influenciados por aguas del Atlántico (Antezana, 1999).

Además existen zonas que se caracterizaron por poseer una relación N:P menor a la teórica (cuenca central del estrecho de Magallanes, canal Cockburn y seno Almirantazgo; Tabla. 7). En estas zonas, la producción primaria debería ser baja, y por ende se debería presentarse una menor biomasa de organismos planctónicos, lo cual concuerda con lo observado por Palma y Aravena (2001). Lo cual puede ser explicado en base a la asociación que existiría entre la segregación de los parámetros químicos y físicos con la menor o mayor abundancia de la biomasa en estos sectores.

Distribución frecuencia de boyantes

En cuanto a la distribución de la frecuencia de boyantes se observó una diferenciación de grupos de estaciones con respecto a la menor o mayor estabilidad de la columna de agua en las distintas secciones analizadas. La columna de agua, en general, presentó dos capas, una superficial (< 25 m de profundidad), donde se tienen los mayores valores y variabilidad de la frecuencia de boyantes, y una capa profunda donde la columna es inestable, con valores de frecuencia de boyantes más bajos. Así por ejemplo, la distribución vertical de la frecuencia de boyantes presentó altos valores (en torno a 0,02 0,04 s⁻¹) en la capa superficial hacia la cabeza de los senos estudiados (senos Otway, Agostini y Almirantazgo), lo cual puede ser explicado en base a la influencia de aguas de

menor densidad provenientes de los glaciares adyacentes desde la cordillera de Darwin, (Fig. 10, 14 y 22).

Existen otras zonas que también muestran una alta estratificación en la vertical, como por ejemplo el sector occidental del estrecho de Magallanes, en donde el gran aporte de aguas de precipitación y fluvioglaciales (Ministerio de Obras Publicas – Dirección de Aguas, 1987; Planella *et al.*, 1991) genera una capa superficial de menor temperatura y salinidad, con altos valores de frecuencia de boyantes lo que implican una fuerte estratificación y una columna de agua estable (Fig. 6).

Por otra parte, existen secciones que presentaron una estratificación baja en toda la columna y por ende una menor frecuencia de boyantes. Este caso se presentó en las secciones del canal Cockburn (Fig. 18), y las estaciones someras, como es el caso del paso Richmomd (Est. 42 a 45) (Fig. 27), canal Murray y bahía Nassau (Est. 40 a 46) (Fig. 32), junto con el sector oriental del estrecho de Magallanes (Est. 1 y 2), las que presentaron debido a una mayor mezcla, una columna cuasi homogénea en casi todos las variables muestreadas. Ello puede ser el resultado de una mayor mezcla debido a la presencia de fuertes corrientes en la zona que pueden alcanzar valores sobre los 400 cm·s⁻¹ (Planella *et al.*, 1991; Cerda, 1993; Salinas *et al.*, 1999) en el sector de la primera y segunda angostura.

En las secciones en que se presentaron fuertes haloclinas y/o termoclinas invertidas, producto del gran rango de salinidad presente en la zona, en general, la densidad esta dominada por ésta. Lo anterior se produjo que las zonas de haloclinas estuvieran asociadas a zonas de alta frecuencia de boyantes y por lo tanto de estabilidad (Pond y Pickard, 1983; Gill, 1982).

Masas de Aguas

Influencia del océano Pacífico sobre las masas de agua en la entrada occidental del estrecho de Magallanes

Silva y Neshyba, 1970/80 plantean que la distribución de temperatura y salinidad de las masas de agua superficiales en la zona frente a los canales fiordos del sur de Chile, están fuertemente influenciadas por las variaciones estacionales de la radiación solar.

Al sur de los 30°S, se distingue, en la capa superficial, el agua Subantártica (ASAA), la que se caracteriza por temperaturas entre 9 y 15°C y salinidades entre 33,0 y 34,3 psu y un contenido de oxígeno disuelto del orden de 5 a 7 ml·L⁻¹. Esta masa de agua cambia sus características según su posición en latitud, producto que se mezcla con otros tipos de masas de agua con características distintas como las aguas Subtropicales (AST), de mayor temperatura y salinidad (18 a 25 °C y 34,7 a 35,3 psu), proveniente de la zona norte, frente al Perú (Silva y Konow, 1975; Silva y Neshyba (1979a).

La capa superficial del sector oceánico frente a la zona de fiordos y canales del extremo sur de Chile corresponde a la zona de origen de las ASAA y con temperaturas que fluctúan estacionalmente entre 9 y 15 °C y la salinidad que varia entre 33 y 34,3 psu (Rojas y Silva, 1996). Bajo el ASAA y centrado alrededor de los 200 m se encuentran remanentes de Agua Ecuatorial Subsuperficial que proviene de la zona frente al Perú, caracterizándose en la zona frente a Chiloé (48°S), por temperaturas entre 13 y 15 °C, un máximo de salinidad de 33,5 psu y un mínimo de oxígeno disuelto del orden de 4 ml·L⁻¹.(Silva *et al.,* 1995). Finalmente, la zona recibe el aporte de agua dulce (AD) proveniente de precipitaciones, ríos y derretimiento de glaciares.

En cuanto a la circulación general, la zona de estudio se localiza en el área de influencia de la corriente de la Deriva de los Vientos del Oeste ("West Wind Drift") y al norte del Frente Polar, influenciado por aguas Subantárticas que transporta esta corriente. Al chocar contra el continente Americano Silva *et al.* (1995), indican que ella se divide en dos, una parte sigue hacia el norte como la corriente de Humboldt y la otra al sur para luego girar al este, bordeando en el extremo del continente Americano. A esta última se le denomina corriente del cabo de Hornos. En el choque contra el continente, parte del ASAA penetra hacia el interior de los canales mezclándose con el agua dulce continental, disminuyendo su salinidad.

Debido a lo anterior, Silva *et al.* (1995 y 1998) proponen la definición de un cuerpo de agua con características Subantárticas que estarían siendo modificadas por condiciones locales, a las que denominaron "Aguas Subantárticas Modificadas" (ASAAM) por la mezcla con aguas de baja salinidad presentes en el interior de los canales, producto de la presencia de "Aguas Estuarinas" (AE) con salinidades entre 27 a 30.5 y AD con salinidades menores de 2 psu, en la zona. El ASAAM fue definida como agua con salinidades entre 32 y 33.5 psu.

Lo anterior ocurre a lo largo de toda la costa desmembrada de la zona de canales, siendo las principales entradas de ASAA hacia los canales, la zonas frente a la boca del Guafo (43°5'S) (Silva . *et al*, 1998), frente al golfo de Penas (47°5'S) (Sievers *et al.*, en prensa) y estrecho Nelson (51°7'S) (Sievers *et al.* en prensa). Por lo tanto es lógico esperar que ASAA también ingrese al estrecho de Magallanes (53°2'S) mezclándose con aguas superficiales dulces y estuarinas menos salobres y por lo tanto menos densas, provenientes de la zona continental, para formar ASAAM.

Bajo los 100 m de profundidad, el ASAA ingresa sin mezclarse con el agua superior, manteniendo sus características, lo cual se observa en las secciones de temperatura y salinidad del estrecho de Magallanes (Fig. 2). En la capa de agua superficial estarían saliendo aguas estuarinas de menor temperatura y salinidad hacia el océano Pacífico. En el caso del canal Cockburn también muestra la influencia de aguas del océano Pacífico, pero no es tan claro hasta donde llega, ya que se aprecia una columna bien mezclada, semihomogénea en casi todos los parámetros, en donde además el diagrama T-S muestra que estas aguas pertenecen a una misma estructura.

Las aguas del borde occidental del estrecho de Magallanes y el borde oriental, se tiene que ambos sectores están influenciados por tipos de agua distintos, ya que por un lado estarían ingresando agua de características Subantárticas del Pacífico y por otro, aguas Subantárticas del Atlántico lo cual se muestra en el diagrama T-S de la figura 37 en que se utilizaron las estaciones 31 de la expedición Piquero por el sector occidental del estrecho. Expedición llevada a cabo entre el 16 de diciembre de 1968 y el 16 de abril de 1969. Junto con la estación DS (de la expedición del buque Discovery de 1963) (Fig. 37).

Influencia del océano Atlántico sobre masas de agua en la entrada oriental del estrecho de Magallanes.

La plataforma Argentina se encuentra influenciada por las aguas Subantárticas transportadas por la corriente de las Malvinas la que se caracteriza por poseer bajos valores de temperaturas del orden de 7 °C y salinidad, del orden de 33,5 psu que varia según la latitud y la cercanía a la costa. (Piccolo, 1998).

Al sur de los 45° S, el análisis de diagramas T-S de las aguas sobre la plataforma continental de Argentina, efectuado por Krepper y Rivas (1979a), muestra la presencia de tres masas de agua, Agua Subantártica, Agua Costera y Agua de la Plataforma. Estas aguas presentan un gradiente de salinidad desde la costa hacia el océano, con valores de salinidad menores o iguales a 32,5 psu en la costa, 33-33,5 psu en la plataforma y mayores de 34 para las aguas oceánicas Subantárticas (Piccolo, 1998).

Los autores Lusquiños y Valdez (1971) y Krepper (1977) *fide* Piccolo, (1998) muestran la presencia de agua que ingresaría a la plataforma continental Argentina desde el estrecho de Magallanes, con bajas salinidades las que se extenderían hacia el norte a lo largo de la costa hasta los 38° S. Además establecen a través de un análisis volumétrico que estas aguas ingresarían a la plataforma continental del Atlántico con velocidades de 26 cm·s⁻¹.

En la presente tesis se observa que también existe una influencia de aguas del Atlántico sobre el estrecho de Magallanes, que llegaría más allá de la estación 6 en el sector central del estrecho. Esto se puede inferir basándose en los resultados obtenidos en Cimar 3 Fiordo los que concuerdan con los resultados de cruceros anteriores como las expediciones Italianas (Planella *et al.*, 1991). En este caso agua del Atlántico entra al estrecho durante la llenante afectando la cuenca central. Pickard (1971) y Planella *et al.* (1991) sugieren la influencia de aguas del Atlántico hacia el sector oeste del estrecho de Magallanes que se extendería hasta el Paso Ancho del estrecho. En el lado occidental hacia el este la influencia de aguas del Pacífico hasta la isla Carlos III que actúa como una constricción en este sector (Planella *et al.*, 1991).

Posteriormente, durante la vaciante, agua estuarina, producto de la mezcla de ASAA Atlántica mezclada con AD sale hacia la plataforma continental Argentina, siendo transportada al norte por la corriente de las Malvinas.

Cuantificación de masas de agua mediante el método de análisis multiparámetros (OMP).

Con el fin de cuantificar la influencia de las aguas Subantárticas del Océano Pacífico y de las Aguas Subantárticas del Atlántico, junto con la mezcla de agua dulce se construyeron las secciones de los porcentajes de participación de cada uno de estos tipos para el estrecho de Magallanes.

Las secciones de salinidad y temperatura, del extremo noroccidental del estrecho de Magallanes, muestran claramente la presencia de una intrusión de una masa de agua desde el Pacífico, más salina y más cálida bajo los 100 m de profundidad, la que avanza hasta más allá de la constricción de la isla Carlos III (Fig. 2 y 37). Por su parte, el análisis de los diagramas T-S para todas las estaciones del estrecho, también muestran en el sector oriental del estrecho la influencia de aguas del Atlántico y en el sector occidental las del Pacífico.

Lo anterior hace necesario cuantificar las fracciones individuales de las masas de agua en los distintos sectores, a fin de determinar el grado de mezcla e inferir el efecto que esta tiene en la distribución de los demás parámetros químicos. Se utilizó la metodología denominada "Optimal Multparameter Process" (OMP), optimización multiparámetros, propuesta por Tomczak y Lage (1998) para el analizar las proporciones de participación cuantitativa de masas de agua en secciones hidrográficas. La cual tiene la ventaja sobre el triángulo de mezcla, que incluye la participación de la variables no conservativas en la estimación de las fracciones.

El valor de los parámetros de salinidad o de temperaturas de las aguas fuente pueden ser referidos a valores bibliográficos o preferentemente, pueden ser inferidos del análisis del lugar de origen de la formación de la masa de agua. En el método OMP, el procedimiento general es graficar todos los parámetros medidos en la sección con respecto a uno de los parámetros conservativos y determinar el rango en que la relación es lineal entre todos los parámetros. Posteriormente se aplica un análisis multiparámetros definiendo una matriz en que se suman las proporciones de participación de cada variable y se iguala a los valores tipo propuesto, más una cantidad residual, estandarizando la matriz debido a las diferentes unidades de los distintos parámetros. Para mayores detalles ver Tomczak y Lage (1998) o Anexo 1.

Utilizando los siguientes valores tipo del AD y ASAA del Pacífico y Atlántico. Los cuales para el caso del sector del Océano Pacífico se realizó el análisis de regresiones propuesto por Tomczak y Lage (1998), y para el caso del AD y ASAA del Atlántico se refieren a valores bibliográficos (Tabla 8), se obtuvo la distribución porcentual del aporte de aguas de características Subantárticas y del AD en ambos sectores del estrecho de Magallanes junto con la construcción de la sección de σ_{θ} (Fig. 38A, B, C y D), en donde la figura 39 muestra el excelente ajuste en un rango de σ_{θ} del orden de 21,5 a 25.5. Bajo este nivel de densidad en el ajuste uno cometería a lo más un error menor al 10% en la

estimación de participación porcentual de las distintas masas de agua, ya que existe una variabilidad de los residuales mayor al 10% siendo atribuibles a un efecto de variabilidad con respecto a la varianza de los datos generándose una mayor dispersión (Fig. 39).

Variable	AD	ASAA Pacifico	ASAA Atlántico
Temperatura (°C)	5,5	8,1	5,2
Salinidad (psu)	2	33,3	32,7
Oxígeno Disuelto(µmol/kg).	432	221	250
Fosfato(µmol/kg).	0,2	1,36	1,6
Nitrato(µmol/kg).	2,0	12,3	12,6

Tabla 8: Valores tipo del AD y ASAA del Pacífico y Atlántico

El análisis OMP determinó que las aguas ASAA de Pacífico estarían en un 50 a 80 % en sector noroccidental del estrecho (Est. 13 a 10), y con 50 a 60 % en la cuenca central (Fig. 38A). En este sector noroccidental a nivel superficial se observa la influencia de agua dulce alcanzando un 10%, lo que genera las bajas salinidades superficiales (< 29 psu) de las estaciones 10 a la 13 (Fig. 2 y 38C).

En el sector de la cuenca central, desde la estación 6 a la 9 se observa el ingreso de aguas de características Subantárticas del Atlántico, las que estarían presente con un 40 a 50 % de participación en la mezcla (Fig. 38B). Las aguas Subantárticas del Atlántico tienen una influencia restringida a la cuenca oriental y su intrusión y/o salida esta dominada por las mareas de la zona.

La distribución porcentual de masas de agua (Fig. 38A, 38B y 38C) fue obtenida según el criterio del análisis de la densidad potencial (Figs. 38D y 39) y según la conservación de la masa. Mientras los residuales sean más cercanos a cero, la estimación del porcentaje de las masas de agua es más robusta, lo que implicaría que corresponde a la zona donde el análisis multiparámetro es más confiable y ella está ubicada entre las densidades de 1021,5 y 1025,5 kg·m⁻³ ó σ_{θ} 21,5 y 25,5 (Fig. 39).

Circulación general en algunos canales.

En base, a las secciones construidas de temperatura, salinidad, oxígeno y nutrientes utilizando la distribución de las propiedades físicas y químicas como trazadores de la circulación general se propuso algunos modelos esquemáticos para la circulación de algunas secciones (estrecho de Magallanes, seno Otway, seno Agostini y seno Almirantazgo). De ellos se puede inferir que, en general, existe un sistema de circulación estuarino positivo de dos capas, en el cual la capa superficial es de menor temperatura y salinidad (al menos en primavera), bajos nutrientes y mayor estabilidad, la cual sale hacia el mar. Mientras que bajo ella existe una capa profunda semihomogénea en casi todos los

parámetros muestreados. Esta capa corresponde a agua de características marinas que ingresan hacia los canales.

En el estrecho de Magallanes, se propone un modelo de circulación para el borde occidental con una capa superficial que estaría saliendo hacia el Océano Pacífico con aguas estuarinas menos salinas y de menor temperatura (en la época primaveral) con bajo contenido de nutrientes y alta concentración de oxígeno disuelto, debido al gran aporte de agua dulce. Y una capa subsuperficial que estaría ingresando por el borde occidental del estrecho bajo los 80 m de profundidad, con aguas más cálidas (en la época primaveral) y salinas, con alto contenido en nutrientes y menor contenido en oxígeno disuelto (Fig. 2 y 3). La capa profunda, que ingresa desde el Pacífico, tiene como barrera física por el borde oriental del estrecho un umbral de unos 70 m de profundidad a la altura de la isla Carlos III, que estaría impidiendo su paso hacia el lado este, para ingresar a la subcuenca central. Por el lado oriental del estrecho, agua Subantárticas del Atlántico ingresan por el sector oriental del estrecho hacia la cuenca central (Fig. 2). Sin embargo, es conveniente dejar abierta la posibilidad que la circulación general, en algunos canales, pueda ocurrir en más de dos capas, ya que este tipo de análisis utilizando las propiedades oceanográficas físicas y químicas como trazadores sólo permite tener una apreciación general del flujo.

Hablar de un flujo neto hacia el sector central del estrecho no es claro que ocurra durante todo el año o que presente variaciones estacionales, aun cuando el crucero Cimar 3 Fiordo muestra evidencias en los diagramas T-S (Fig 2 y 37), que existiría la intrusión de aguas desde el sector Atlántico hacia el sector central del estrecho, asociado a un flujo de agua más salina que las aguas interiores. También se debe tener en cuanta las mareas, que es un modulador importante en la circulación de este sistema (Cerda, 1993).

Este tipo de circulación concuerda con la separación en base a la presencia de tres subcuencas planteada por Planella *et al.*(1991). Por otra parte Antezana (1999), plantea que esta subdivisión también es coherente con la abundancia o biomasa presente de ciertos organismos zooplantónicos.

En el caso del seno Otway, a partir del análisis del diagrama T-S (Fig. 8) se observa que las aguas pertenecerían a una misma estructura, en donde existiría un flujo superficial que desembocaría en el estrecho de Magallanes a través del canal Jerónimo, y por debajo de esta capa se presentaría la intrusión de aguas desde el estrecho (Fig. 8 y 9). También es posible plantear un esquema de circulación estuarina positiva para el seno Almirantazgo en donde existirían básicamente dos capas, una superficial con menor temperatura y salinidad, que saldría hacia el canal Magdalena y el estrecho de Magallanes y la otra más profunda que ingresaría hacia el seno con aguas provenientes de la subcuenca central del estrecho de Magallanes con mayores salinidades y temperaturas y mayor contenido de nutrientes (Fig. 20 y 21). En el caso del canal Cockburn es clara la influencia de las aguas del océano Pacífico, pero debido a la intrincada geografía con una serie de islas y canales adyacentes, junto con la heterogeneidad de la distribución de sus parámetros, no permite claramente proponer o plantear un esquema de circulación para esta sección. Plantear una circulación estuarina positiva en dos capas parece ser lo más razonable en una zona como la analizada. Sin embargo, es conveniente dejar abierta la posibilidad de que la circulación general, en algunos canales, pueda ocurrir en más de dos capas, ya que este tipo de análisis utilizando las propiedades oceanográficas físicas y químicas como trazadores sólo permite tener una apreciación general del flujo.

Sin duda el planteamiento de estos modelos esquemáticos de circulación en estos canales es cualitativa ya que utilizan las características físicas y químicas como trazadores de flujo. En estos canales, a excepción del estrecho de Magallanes, no se cuentan con mediciones de correntometría (Cerda, 1993; Salinas et al., 1999; Michelato et al., 1991), que permitan establecer modelos más elaborados.

Comparación del los resultados obtenidos en Cimar 3 Fiordo con los resultados obtenidos en los cruceros anteriores

Para la comparación de los resultados del crucero oceanográfico Cimar 3 Fiordo, con otros cruceros realizados en la zona, se seleccionaron entre ellos las estaciones geográficamente más cercanas, tanto para el borde occidental, como el oriental del estrecho de Magallanes. Estos cruceros fueron el canadiense Hudson, y los italianos Cariboo e Itálica, los cuales se llevaron a efecto en períodos de verano de 1970, 1991 y 1995 respectivamente, mientras que Cimar 3 Fiordo fue realizado a finales de primavera de 1997. Las estaciones seleccionadas correspondientes al borde occidental del estrecho fueron las número 2, 82, 10 y 10 de los cruceros Itálica, Hudson, Cimar 3 Fiordo y Cariboo respectivamente y las estaciones 8, 74, 6 y 16, lo fueron para el borde oriental (Fig. 34).

Para la comparación se generaron perfiles verticales de temperatura y salinidad, los que, en general, muestran una capa superficial más variable (0 - 100 m) y una capa profunda (> 100 m) más estable, que tiende a la homogeneidad (Fig 35 y 36). La diferencia entre cruceros que más se destaca, es la diferencia de temperatura que existe entre el crucero Cimar 3 Fiordo y los demás cruceros. Estas diferencias de temperatura, a nivel superficial, alcanzan valores de ≈ 2 °C, pueden tener explicación en base a que los cruceros oceanográficos comparados fueron realizados en períodos climáticos distintos.

En el caso de Cimar 3 Fiordo, se presentaron inversiones térmicas en la cuenca occidental generándose una termoclina invertida ubicada a una profundidad de ≈ 100 m a diferencia de la cuenca oriental, que es más homogénea (Fig.35 y 36). En el caso de los otros cruceros, la distribución térmica mostró una mayor temperatura en la capa superficial, generando en algunos casos una termoclina normal fuerte (Cariboo Est. 16 e Itálica Est 8; Fig. 35 y 36)

Otra diferencia notable en la temperatura entre Cimar 3 Fiordo y los demás cruceros, es la mayor temperatura en la parte profunda de la cuenca occidental, la que supera a los otros cruceros en casi 0,5°C (Fig. 35), situación que no se repitió en la cuenca

central donde las diferencias de temperaturas fueron menores a 0,3°C (Fig. 36). Esta diferencia térmica evidenciaría un gran dinamismo en la circulación y renovación de las aguas profundas, ya que hay sólo dos años de diferencia en el muestreo del Cimar 3 Fiordo con el Itálica y cinco años con el Cariboo y la cuenca es muy profunda (> 800 m) para cambiar tan rápidamente. Por otra parte, también existe una diferencia térmica en esta cuenca entre el Itálica y el Cariboo, sólo que en este caso, ella es menor y del orden de 0,25°C y la diferencia entre ellos es de cuatro años.

La capa profunda de la cuenca central parece ser más estable ya que las diferencias térmicas entre el Hudson y Cimar 3 Fiordo son menores a 0,1 psu (Fig. 36). Los otros dos cruceros no mostraron valores bajo los 100 m de profundidad.

Con respecto a la salinidad, la cuenca noroccidental del estrecho mostró una capa superficial del orden de 50 m semihomogénea, para luego aumentar rápidamente en profundidad, donde se muestra la presencia de una haloclína intensa hasta los 100 m de profundidad (Fig. 35). Condición que se repite en los demás cruceros pero con diferencias del orden de 0,5 psu entre el crucero Cariboo y Cimar fiordo 3, en la capa superficial (Fig. 35), lo cual es de esperar ya que esta zona es muy variable y depende fuertemente de las condiciones locales, ambientales y estacionales.

En la capa profunda se observaron diferencias del orden de 0,3 psu entre el crucero Cariboo y Cimar 3 Fiordo, a diferencia de los cruceros Itálica y Hudson que presentaron una distribución similar con una diferencia menor a 0,1 psu y fueron más cercanas a las mediciones obtenidas en Cimar 3 Fiordo (Fig.35).

En el caso de la sección central del estrecho, en la capa superficial de la estación correspondiente al crucero Cariboo mostró una diferencia notable con respecto a las demás estaciones con una diferencia a nivel superficial del orden de 0,5 psu. A diferencia del sector occidental del estrecho las estaciones de la cuenca central (Est. E2 del Itálica, E82 del Hudson, E10 de Cimar 3 Fiordo y E10 de Cariboo) no mostraron la presencia de una fuerte haloclína. Desafortunadamente, bajo los 100 m de profundidad, no se dispuso de valores para las estaciones de los cruceros Cariboo e Itálica para hacer una comparación similar a la cuenca occidental. Sin embargo, se pudieron comparar las estaciones de los cruceros Hudson y Cimar 3 Fiordo, las que mostraron un comportamiento similar con una muy leve diferencia menor a 0,2 psu, lo cual implicaría que este sector es menos dinámico que el sector occidental del estrecho de Magallanes en donde existen diferencia importantes de salinidad en profundidad.

Las diferencias observadas en los distintos cruceros también pueden deberse a los distintos instrumentos que se utilizaron (Guerrero, 2000). En el caso del Hudson se utilizaron botellas Copenhague y termómetros de inversión, realizando los análisis de salinidad con salinómetro inductivo. En el caso del Itálica, Cariboo y Cimar 3 Fiordo, se utilizó un CTD.

CONCLUSIONES

- 1. La distribución de las variables físicas (temperatura, salinidad y frecuencia de boyantes) y químicas (oxigeno disuelto, pH, nitrato y fosfato) en la columna de agua, en general, presentaron una estructura de dos capas, una superficial caracterizada por bajas salinidades y bajas temperaturas con la presencia de fuertes termoclinas invertidas, al igual que la existencia de fuertes haloclínas. Estas características son variables en los distintos senos y canales analizados, de acuerdo al grado de influencia de las aguas de deshielos, como también de los aportes de agua dulce, debido a las altas precipitaciones. También hubo zonas donde la estructura vertical tendió a ser uniforme debido a la mayor inestabilidad de ellas. En estos casos la distribución de las variables presentó una sola capa.
- 2. La concentración de nutrientes fue menor en las secciones interiores de senos y fiordos, presentándose una capa profunda con altos valores de nutrientes con valores similares en todas las secciones estudiadas.
- 3. A partir del análisis de las distintas variables en función con la salinidad hubo secciones en las cuales la mayoría de los parámetros presentaron un comportamiento lineal, y otras en las cuales la asociación no fue significativa. Los casos en los cuales existió una relación lineal significativa entre la salinidad y los nutrientes, se presentó en los sistemas menos expuestos y semiaislados como por ejemplo aquellos que presentaron una estructura vertical de temperatura, salinidad y nutrientes bien definida en dos capas.
- 4. En la relación N:P, en la mayoría de las secciones existió una alta correlación entre el contenido de nitrógeno en forma de nitrato disuelto con respecto al fósforo en forma de fosfato disuelto en la columna de agua. Hubo secciones en las cuales la relación N:P fue cercana a la relación teórica de Redfield. En general, las secciones mayormente influenciadas por las aguas oceánicas presentaron una mayor cercanía con la relación de Redfield, no así el canal Cookburn y los sectores más someros (< 75 m) los cuales se alejaron de la relación teórica.</p>
- 5. En las masas de agua dominantes en el sistema de fiordos y canales magallanicos existe la mezcla de aguas ASAA del Pacífico y ASAA del Atlántico junto con agua dulce (AD) cuyo origen es la alta precipitación, deshielo de glaciares y ventisqueros adyacente. En la medida que ingresan estas aguas de características Subantárticas se van mezclando con las aguas interiores de los canales, senos y fiordos magallanicos y el agua dulce (AD), en este proceso de mezcla cobran importancia las barreras topográficas que impiden el libre transito de las agua generando zonas semiaisladas
- 6. Se corrobora lo propuesto por Planella *et al.*, (1991) al plantear la existe una segregación horizontal de las variables en el estrecho de Magallanes producto de la generación de dos subcuencas profundas, una noroccidental y otra central, debido a la

existencia de una constricción batimétrica a la altura de la isla Carlos III y una tercera, más somera, en el borde oriental del estrecho.

- 7. La circulación horizontal propuesta en base a la distribución de los parámetros conservativos y no conservativos, junto con el análisis de los diagramas T-S. Se infirió, para el caso del estrecho de Magallanes, la existencia de un flujo hacia el Pacífico a nivel superficial y hacia el interior del estrecho de Magallanes, bajo los 100 m de profundidad aproximadamente, de aguas de características Subantárticas. Se infirió además, la intrusión de aguas desde el Atlántico, las que también poseen características Subantárticas, siendo menos salinas que las del Pacífico.
- 8. Se determinó, basado en el análisis de multiparámetros (OMP), que ASAA del Pacífico y ASAA del Atlántico ingresan al estrecho de Magallanes, mezclándose con AD proveniente de la lluvia, ríos y derretimiento de glaciares de la zona. Esto provocó que la cuenca noroccidental y central este llena con aguas de características Subantárticas del Pacífico y que el AD tenga una participación menor en la capa superficial.

REFERENCIAS

- Antezana, T., M. Hamamé, Y. Eissler y S. Jara. 1996. Hydrography of Chilean fjiords: Strait of Magellan to Beagle Channel. Ber. Polarforsch., 190:16-18.
- Antezana, T. 1999. Hydrographic features of Magellan and Fueguian inland passges and adjacent Subantarctic waters. Sci. Mar., 63(Supl.1): 23-34
- Antezana. T., L. Guglielmo y E. Ghirardelli. 1991. Microbasins within the Strait of Magellan affecting zooplankton distribution. En: V. A. Gallardo O. Ferreti y H. I. Moyano (eds): Oceanografía en Antártica, pp. 453-458.
- Anderson, L. y J. Sarmiento. 1994. Redfield ratios of remineralization determined by nutrient data analysis. Global Biogeochem. Cycles, 8:65-80.
- Atlas, E., S. Hager, L. Gordon y P. Park. 1971. A practical manual for use of the Technicon Autoanalyzer in sea water nutrient analyses. O.S.U. Dept. of Oceanography. Technical report, 215 pp.
- Blanc, S., G. Goñi y J. Navarini, 1983. Surface mixed layer temperature and layer depth in water off the Argentinean coast. J. Gephys. Res., 88(C10): 5987-5996.
- Borgel, R. 1970-1971. Geomorfología de las regiones australes de Chile. Rev. Geog. Chile, 21: 135-140.
- Brambati, A. y P. Colantoni. 1991. Preliminary report on a seismic survey in the Estrecho de Magallanes. Boll. Oceanol. Teor. Appl., 9(2-3): 99-106
- Braun, M., J. Blanco y J. Osses. 1993. Programa básico de monitoreo de marea roja en la XII región. Informe técnico a la subsecretaria de pesca. Julio 1993. 181 pp.
- Bravo, M. y J. Fierro. 1996. Caracterización de mareas y corrientes Guafo y Moraleda.En: Comité Oceanográfico Nacional. Resúmenes ampliados del crucero Cimar-Fiordo 1, pp. 23-27.
- **Calvete, C. 1997.** Distribución 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 a primavera de 1995. Tesis para Optar al título de Oceanógrafo. Universidad Católica de Valparaíso, 136 pp.
- Cabrini, M. y U. Fonda. 1991. Phytoplankton populations in the Strait of Magellan. Boll. Oceanol. Teor. Appl., 9(2-3): 137-144

- **Cerda, C. 1993.** Estudio de la propagación de ondas de marea en el Estrecho de Magallanes, Tesis para Optar al título de Oceanógrafo. Universidad Católica de Valparaíso,199 pp.
- Carrada G., M. Fabiano, P. Povero y V. Saggiomo. 1994. Surface distribution of sizefractionated chlorophyll *a* and particulate organic matterin the Strait of Magellan. Polar Biol., 14:447-454.
- Clement, A. 1994. Floraciones nocivas de <u>Leptocylindrus minimus</u> en el sur de Chile. Asociación de productores del Salmón y Trucha, Puerto Montt. Informe técnico N°3, Agosto de 1994.
- **Colozza, E. 1991.** Preliminary report on coastal morphology and sea-bottom sediments of the Canales Beagles, ballenero, Brecknock, Cockburn, and Magdalena.
- **Doe. 1994.** Handbook of methods for the analysis of the various parameters of the carbon dioxide system in sea water; version 2, A. G. Dickson & C. Goyet, eds. (unpublished manuscript).
- Fabiano, M., P. Povero, R. Danovaro y C. Misic. 1999. Particulate organic matter composition in a semienclosed Periatartic system: the Straits of Magellan. Sci. Mar., 63(Supl. 1):89-98.
- **Fedele, A. 1993.** Razón N-NO₃⁻ : P-PO₄⁻³ anómala, un trazador químico para la masa de Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). Tesis para Optar al título de Oceanógrafo. Universidad Católica de Valparaíso, 134 pp.
- **Fontolan, G. y S. Panella. 1991.** Distribution and chemistry (Fe, Zn, Cu, Cd, Chlorophyll a) of suspended particulate matter in the Strait of Magellan: Austral Spring 1989. Boll. Oceanol. Teor. Appl., 9(2-3): 179-192.
- **Fofonoff, P. y R. Millard. 1983.** Unesco 1983. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater, Unesco Tech. Pap. in Mar. Sci., 44: 1-53.
- **Guerrero, Y. 2000.** Distribución de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en las aguas interiores de la zona de los canales australes entre el Golfo de Penas y seno Almirantazgo. Tesis para Optar al título de Oceanógrafo. Universidad Católica de Valparaíso, 96 pp.
- Gill, A. 1982. Atmosphere-Ocean Dynamics. Academic Press: New York. 662 pp.
- Guzmán, L. y I. Campodonico. 1975. Marea Roja en la región de Magallanes. Publ. Inst. de la Patagonia, Ser. Monografías. Punta arenas, 9: 1-44.

- Hamamé, M. y T. Antezana. 1999. Chlorophyll and zooplankton in microbasins along the Straits of the Magellan-Beagle Channel passage. Sci. Mar., 63(Supl.1): 35-42.
- Karstensen, J. y M. Tomczak. 1998. Age determination of mixed water masses using CFC and oxygen data. J. Geophys. Res., 103(C9): 18599-18610.
- Krepper, C. y A. L. Rivas. 1979a. Análisis de las características oceanográficas de la zona austral de la plataforma continetal argentina y aguas adyacentes. Acta Oceanogr. Arg., 2(2):55-82.
- Lembeye, G y A. Sfeir. 1997. Distribución de quistes de <u>Alexandrium catenella</u> y otros dinoflagelados en sedimentos de canales y fiordos someros entre los 47° y 52°S. En: Comité Oceanográfico Nacional. Resúmenes ampliados del crucero Cimar-Fiordo2, pp. 64-69.
- Lecaros, O., P. Alberti y S. Astorga. 1991. Paraffinic hydrocarbons in the water of the Strait of Magellan. Boll. Oceanol. Teor. Appl., 9(2-3): 126-136.
- Libes, S. 1992. An introduction to marine biogeochemistry. Ed. J. Willey and Sons Inc. New York, 734 pp.
- Lusquiños, A. y A. J. Valdez, 1971. Aportes al conocimiento de las masas de agua del Atlántico Sudoccidental. Serv. Hidrogr. Naval (buenos Aires) H 659: 48 pp.
- Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. 1987. Balance Hídrico de Chile. Litografía Marinetti S.A. 24 pp, 36 láminas.
- Mazzocchi, M. y A. Ianora. 1991. A faunistic study of the copepod assemblages in the Strait of Magellan. Boll. Oceanol. Teor. Appl., 9(2-3): 151-1162.
- Michelato, A., E. Accerboni y P. Berger. 1991. Current meter observations in the eastern and central sectors of the strait of Magellan, Boll. Oceanol. Teor Appl 9 (2-3): 261–271.
- Mosca, R. y G. Fontolan. 1991. Preliminary results on major, monor and trace element chemistry of surficial sediments in the Strait of magellan. Boll. Oceanol. Teor. Appl., 9(2-3): 287-292.
- Panella, S., A. Michellato, R. Perdicaro, G. Magazzu, F. Decembrini y P. Scarazzato. 1991. A preliminary contribución to understanding the hydrological characteristics of the strait of Magallan: Austral spring 1989. Boll. Oceanol. Teor. Appl., 9(2-3):107-126.
- Palma, S. y G. Aravena. 2001. Distribución de quetognatos, eufáusidos y sifonóforos en la región magallánica. Cienc. Tecnol. Mar, 24:47-59.

- Pickard, G. 1971. Some physical oceanographic features of inlets of Chile. J. Fish. Res. Bd. Canada, 28: 1077-1106.
- **Piccolo, M. 1998.** Oceanography of the Weatern south Atlantic Continental Shelf from 33 to 55°S. The Sea, 11:253-271.
- **Pinochet, P. y S. Salinas. 1996.** Estructura térmica y salina de fiordos y canales adyacentes a Campos de Hielo Sur, Chile. Ciencia Tecnol. Mar., 19: 92-122.
- **Pond, S. y G. Pickard. 1983.** Introductory Dynamical Oceanography. Butterworth Heinemann, Oxford, 329 pp.
- **Rojas, R. y 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. 129 pp.
- Salinas, S. y S. Hormazabal. 1996. Circulación en la constricción de Menninea, Canal Moraleda, 45°15'S. En: Comité Oceanográfico Nacional. Resúmenes ampliados del crucero Cimar-Fiordo 1, pp. 21-22.
- Salinas, S., M. Contreras y J. Fierro. 1999. Propagación de la onda de marea en el Estrecho de Magallanes. En: Comité Oceanográfico Nacional. Resúmenes ampliados del crucero Cimar-Fiordo 3, pp. 21-26.
- **SERNAPESCA, 1999.** Anuario estadístico de pesca 1999. Servicio Nacional de Pesca. Ministerior de Economía, Fomento y Reconstrucción. Chile. Valparaíso. 291 pp.
- Setti, M. y F. Veniale. 1991. Bottom sediments in the Strait of Magellan: mineralogy of the fine fraction (<62μm). Boll. Oceanol. Teor. Appl., 9(2-3): 193-202.
- Simeoni, O., G. Ghezzi., E. Bozzo. y G. Fontolan. 1991. Magnetic susceptibility of surficial sediments from the Strait of Magellan. Boll. Oceanol. Teor. Appl., 9(2-3): 203-216.
- Sievers, H. y A. Vega. 1996. Distribución de temperatura, salinidad y densidad entre Puerto Montt y la laguna San Rafael. En: Comité Oceanográfico Nacional. Resúmenes ampliados del crucero Cimar-Fiordo 1, pp. 28-30.
- Sievers, H., C. Calvete y N. Silva (En prensa). Distribución de características físicas, masas de agua y circulación general para algunos canales australes entre el golfo de Penas y el estrecho de Magallanes (Crucero Cimar-Fiordo 2), Chile. Cienc. Tecnol. Mar. en prensa.
- Silva, N. y S. Neshyba. 1979/1980. Masas de agua y circulación geostrófica frente a la costa de Chile Austral. Ser. Cient. Inst. Antárt.. Chileno, (25/26): 5-32.

- Silva, N., H. Sievers y R. Prado. 1995. Características Oceanográficas y una proposición de circulación, para algunos canales australes de Chile entre 41°20'S y 46°40'S. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 30: 207-254.
- Silva, N., C. Calvete y H. Sievers. 1997. Características oceanográficas físicas y químicas de canales chilenos entre Puerto Montt y laguna San Rafael (crucero Cimar-Fiordo 1). Cienc. Tecnol. Mar., 20: 23-106.
- Silva, N., C. Calvete y H. Sievers. 1998. Masas de agua y circulación general para algunos canales australes entre Puerto Montt y laguna San Rafael (crucero Cimar-Fiordo 1). Cienc. Tecnol. Mar., 21: 17-48.
- Silva, N., y C. Calvete. (En prensa). Características oceanográficas físicas y químicas de canales australes chilenos entre Golfo Penas y el Estrecho de Magallanes (Crucero Cimar Fiordo 2). Cienc. Tecnol. Mar., en prensa.
- **Tyrrell, T. 1999.** The relative influences of nitrogen and phosphorus on oceanic primary production. Nature.,400: 525-531.
- Tomczak, M. y D.G.B. Lage. 1998. Optimun multiparameter analysis of mixing in the thermocline of the eastern Indian Ocean. J. Geophys. Res., 95(C11): 16141-16149.
- Uribe, J. 1991. Net-phytoplankton distribution in the Strait Magellan. Boll. Oceanol. Teor. Appl., 9(2-3): 145-150.
- Weiss, R. 1970. The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater Deep-Sea Res., 17: 721-735.



Figura 1. Ubicación de la zona de estudio y las secciones seleccionadas.



Figura 2. Distribución de Temperatura, Salinidad, Oxígeno, diagrama T-S y posición de las estaciones para el estrecho de Magallanes



Figura 3. Distribución de pH, nitrato, fosfato y esquema de circulación general para el estrecho de Magallanes



Figura 4. (A) Perfil vertical de temperatura (Estación 6 yo-yo), (B) Promedio y desviación estándar de los perfiles verticales de temperatura (C) Perfil vertical de salinidad (Estación 6 yo-yo), (D) Promedio y desviación estándar de los perfiles verticales de salinidad



Figura 5. (A) Perfil vertical de temperatura (Estación 11 yo-yo), (B) Promedio y desviación estándar de los perfiles verticales de temperatura (C) Perfil vertical de salinidad (Estación 11 yo-yo), (D) Promedio y desviación estándar de los perfiles verticales de salinidad



Figura 6. Frecuencia de Brunt-Väisälä para el estrecho de Magallanes, estaciones 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7 y 6.



Figura 7. Análisis de regresiones lineales para las distintas variables en el estrecho de Magallanes en función de la salinidad (A, B, C, D, E) y relación N:P (F).



Figura 8. Distribución de Temperatura, Salinidad, Oxígeno, diagrama T-S y posición de las estaciones para el seno Otway



Figura 9. Distribución de pH, nitrato, fosfato y esquema de circulación general para el seno Otway



Figura 10. Frecuencia de Brunt-Väisälä para el seno Otway, estaciones 26, 22, 21y 20 .



Figura 11. Análisis de regresiones lineales para las distintas variables en el seno Otway en función de la salinidad (A, B, C, D, E) y relación N:P (F).



Figura 12. Distribución de Temperatura, Salinidad, Oxígeno, diagrama T-S y posición de las estaciones para el seno Agostini.



Figura 13. Distribución de pH, nitrato, fosfato y esquema de circulación general para el seno Agostini


Figura 14. Frecuencia de Brunt-Väisälä para la sección del seno Agostini, estaciones 7, 27, 28 y 29.



Figura 15. Análisis de regresiones lineales para las distintas variables en el seno Agostini en función de la salinidad (A, B, C, D, E) y relación N:P (F)



Figura 16. Distribución de Temperatura, Salinidad, Oxígeno, diagrama T-S y posición de las estaciones para el canal Cockburn



Figura 17. Distribución de pH, nitrato, fosfato para el canal Cockburn



Figura 18. Frecuencia de Brunt-Väisälä para el canal Cockburn, canal Magdalena y seno Magdalena, estaciones 7, 27, 30, 31, y 32.



Figura 19. Análisis de regresiones lineales para las distintas variables en el canal Cockburn en función de la salinidad (A, B, C, D, E) y relación N:P (F)



Figura 20. Distribución de Temperatura, Salinidad, Oxígeno, diagrama T-S y posición de las estaciones para el seno Almirantazgo



Figura 21. Distribución de pH, nitrato, fosfato y esquema de circulación general para el seno Almirantazgo



Figura 22. Frecuencia de Brunt-Väisälä para la sección del seno Almirantazgo, estaciones 51, 52, 53, 54, 55 y 56.



Figura 23. Análisis de regresiones lineales para las distintas variables en el seno Almirantazgo en función de la salinidad (A, B, C, D, E) y relación N:P (F)



Figura 24. Posición de las estaciones para las secciones del Brazo Noroeste, canal Beagle, Paso Richmomd.



Figura 25. Distribución de temperatura, salinidad, diagrama T-S y oxígeno para el Brazo Noroeste- canal Beagle en donde la línea roja indica cambio de dirección



Figura 26. Distribución de pH, nitrato, fosfato y esquema de circulación general para el Brazo Noroeste y canal Beagle en donde la línea roja indica cambio de dirección



Figura 27. Frecuencia de Brunt-Väisälä para el Brazo Noroeste, canal Beagle, estaciones 34, 35, 36, 37 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44 y 45.



Figura 28. Análisis de regresiones lineales para las distintas variables en el Brazo Noroeste y canal Beagle, en función de la salinidad (A, B, C, D, E) y relación N:P (F)



Figura 29. Posición de las estaciones para las secciones de Brazo Sudoeste, canal Murray, bahía Nassau.



Figura 30. Distribución de temperatura, salinidad, diagrama T-S y oxígeno para el Brazo Sudoeste-canal Murray-Ba. Nassau en donde la línea roja indica cambio de dirección



Figura 31. Distribución de pH, nitrato, fosfato y esquema de circulación para el Brazo Suroeste-canal Murray-Ba. Nassau en donde la línea roja indica cambio de dirección



Figura 32. Frecuencia de Brunt-Väisälä para el Brazo Sudoeste, canal Murray, Bahía Nassu



Figura 33. Análisis de regresiones lineales para las distintas variables en el Brazo Suroeste, canal Murray y bahía Nassau, en función de la salinidad (A, B, C, D, E) y relación N:P (F)



Figura 34. Posición de las estaciones de comparación de los cruceros Hudson, B/I Cariboo, Italica y Cimar 3 Fiordo desde cabo Deseado hasta bahía Inútil.



Figura 35. Comparación de perfiles verticales de temperatura y salinidad para el sector occidental del estrecho de Magallanes, entre los cruceros oceanográficos Cimar 3 Fiordo, B/I Itálica, B/I Cariboo y Hudson (Nótese los cambios de escala vertical y horizontal).



Figura 36. Comparación de perfiles verticales de temperatura y salinidad para el sector oriental del estrecho de Magallanes, entre los cruceros oceanográficos Cimar 3 Fiordo, B/I Itálica, B/I Cariboo y Hudson (Nótese los cambios de escala vertical y horizontal).



Figura 37. Comparación de diagramas T-S, para las estaciones del borde occidental del estrecho de Magallanes (Estaciones 11, 12, 13 Cimar 3 Fiordo y estación 30 de la expedición Piquero de 1969) y del sector oriental (Estaciones 1, 2 Cimar 3 Fiordo y DS de la expedición Discovery, 1931)



Figura 38.Cálculo de porcentaje de masas de agua Subantártica del Pacífico(A), del Atlántico (B), AD (C) y sección de sigma-t (D) para el estrecho de Magallanes.



Figura 39. Diagrama de dispersión de los residuales en base a la conservación de la masas para el cálculo de los porcentajes de las masas de agua

ANEXO

El método de análisis de optimización multiparámetros parte de la premisa de que la mezcla es un proceso lineal y afecta a todos los parámetros por igual (esto ocurre por ejemplo en un flujo turbulento). Este tipo de análisis permite descomponer la situación de mezcla que ayuda a definir los Tipos de Agua Fuente (TAF) antes de ser mezclados.

Los valores de los parámetros observados que contribuyen a las fracciones de mezcla desde TAF original deben ser una combinación lineal de los valores de TAF.

El aporte de las fracciones de TAF (denominada x_i) para cada punto de datos es obtenido buscando la mejor combinación lineal en los parámetros definidos, vale decir, la temperatura, salinidad, oxigeno y nutrientes que minimizan los residuales.

La solución incluye dos condiciones físicas como:

- a) El aporte de todos los TAF debe sumar 100%
- b) Todos los TAF contribuyen con valores positivos

Así por ejemplo para resolver la mezcla de dos TAF y cinco parámetros, el sistema lineal de ecuaciones para un análisis multiparametros considerando los cambios biogeoquímicos es:

$$\begin{split} X_1T_1 + X_2T_2 + 0 + 0 + 0 &= T_{obs} + R_T \\ X_1S_1 + X_2S_2 + 0 + 0 + 0 &= S_{obs} + R_S \\ X_1PO_{4,1} + X_2PO_{4,2} + r_P / & \Delta P + r_D\Delta N^{deni} + 0 &= PO_{4,obs} + R_{PO4} \\ X_1NO3, 1 + X_2NO_{3,2} + r_N / \Delta P - \Delta N^{deni} + 0 &= NO_{3,obs} + R_{NO3} \\ X_1O_{2,1} + X_2O_{2,2} - r_O / \Delta P + 0 + 0 &= O_{2,obs} + R_{O_2} \\ X_1 + X_2 + 0 + 0 + 0 &= 1 + R_{\Sigma} \end{split}$$

En donde se definen los valores observados de temperatura (T_{obs}), salinidad (S_{obs}), oxígeno ($O_{2,obs}$), fosfato (PO_{4obs}) y nitrato ($NO_{3,obs}$) con sus respectivos residuales (R) en la columna del lado derecho del sistema de ecuaciones.

Los valores de lado izquierdo del sistema $(T_i, S_i, O_{3,i}, NO_{3,i}, PO_{4,i})$ son los valores fijos de los cuatro TAF para cada parámetro.

La cantidad de fosfato agregado por la remineralización de la materia orgánica $(\triangle P)$, se incorpora a través de la relación de Redfield donde $r_{trazador}/P$ nos permite cuantificar los cambios biogeoquímicos remanentes causados por la degradación de la materia orgánica particulada (MOP). En la parte biogeoquímica del método (columnas 4

a la 6) la cantidad de nitrato removido por la denitrificación está incluida como $\triangle N^{deni}$. También se considera r_D como la tasa de remineralización del fósforo dada por la perdida de nitrato y se asume que es 0.01 (Anderson y Sarmiento, 1994) y la ultima fila del sistema representa la conservación de la masa. Así el sistema puede escribirse de la siguiente forma:

$$G x = d + R$$

Donde G es la matriz TAF, d es el vector de datos observados, R es el vector residual del ajuste de la combinación lineal y, x es el vector de los TAF que se pueden observar en la zona de estudio.

Para solucionar el sistema de ecuaciones, es necesario normalizar la matriz G de los TAF en orden a hacer comparables los valores que son muy diferentes en magnitud. Si j es el índice para las filas (1 a m-1 parámetros) e i el índice de las columnas (1 a n) Se puede obtener el sistema normalizado de la siguiente forma:

$$G_{ji}^n = (G_{ji} - G_j) / \sigma_j$$

Donde G_j es la matriz promedio de TAF del parámetro j que será calculada como:

$$G_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n G_{ji}$$

Donde σ_i es la desviación estándar para cada fila calculada como:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{m} (\sum_{i=1}^m (G_{ji} - \overline{G}_j)^2)}$$

Las variables normalizadas son adimensionales con media igual a cero y desviación estándar igual a 1. Al aplicar el método, el lector debe tener en cuenta que las cantidades de nitrato removido por la denitrificación y la tasa de remineralización del fósforo pueden ser un factor importante en la cuantificación de los cambios biogeoquímicos y por ende en la resolución del sistema. Variaciones en estas cantidades podrían alterar la cuantificación de los porcentajes de las masa de agua.

Estrecho de Magallanes un caso de estudio.

Al realizar el análisis de búsqueda de la mejor transformación lineal para cada una de las distintas variables medidas con respecto a la salinidad (parámetro conservativo) no se consideraron en la transformación lineal las estaciones que no pertenecían al grupo de mezcla, para el caso del extremo oriental del estrecho de Magallanes (Est. 6, 7, 8 y 9), bajo el supuesto de que la mezcla es lineal tomando como referente el diagrama T-S (Fig. 2) para decidir que estación no considerar en la transformación lineal, ya que no cumplen con el supuesto. A partir de este criterio se obtuvieron las distintas relaciones lineales (Fig.), adjuntándose los grados de libertad, coeficiente de correlación y el error normal asociado a la transformación lineal. Y a partir del análisis OMP se obtienen las figuras 38 y 39.

Parámetros	Limite sup. TAF	Limite inf.	Promedio	g.l.	Error
		TAF	δ_{j}		normal
Temperatura	8,1	7,5	0,37	52	2,61
Salinidad	33,3	27,5	-	52	2,61
Oxígeno	221	232	0,95	52	6,71
Fosfato	1,36	0,63	0,31	52	2,19
Nitrato	12,3	4,46	0,61	52	4,31

Tabla 1. Resultado de las transformaciones lineales para la región oriental del estrecho de Magallanes (ASAA).

Tabla 2. Valores tipo para el agua dulce para el estrecho de Magallanes.

Parámetros	Limite sup. TAF	Limite inf. TAF	Promedio δ_i	g.l.	error normal
Temperatura	5.5	-	-	-	-
Salinidad	2	-	-	-	-
Oxígeno	432	-	-	-	-
Fosfato	0,2	-	-	-	-
Nitrato	2,0	-	-	-	-
		-			

Parámetros	Limite sup. TAF	Limite inf. TAF	Promedio δ_i	g.l.	error normal
Temperatura	5,2	-	-	-	-
Salinidad	32,7	-	-	-	-
Oxígeno	250	-	-	-	-
Fosfato	1,6	-	-	-	-
Nitrato	12,6	-	-	-	-

Tabla 3. Valores tipo para el ASAA del Atlántico.