

**VARIABILIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA TEMPERATURA, SALINIDAD Y DENSIDAD EN EL FIORDO AYSÉN, CHILE**

SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF TEMPERATURE, SALINITY AND DENSITY IN AYSÉN FJORD, CHILE

Dr. Julio Salcedo-Castro*Universidad de Playa Ancha – Centro de Estudios Avanzados
Valparaíso – Chile
julio.salcedo@upla.cl**M.Sc. Hellmuth Sievers**Viña del Mar – Chile
opis.sz@gmail.com**M.Sc. Manuel Contreras-López****Universidad de Playa Ancha
Valparaíso – Chile
manuel.contreras@upla.cl**FECHA DE RECEPCIÓN:** 8 febrero 2017 – **FECHA DE ACEPTACIÓN:** 10 marzo 2017

RESUMEN: Se analizó la variabilidad espacial y temporal de las características oceanográficas físicas en el fiordo Aysén, sur de Chile, utilizando los datos obtenidos en 5 cruceros realizados en distintas épocas del año, entre 1991 y 1992. Los resultados mostraron que las principales características en la distribución horizontal de la temperatura, salinidad y densidad son la influencia del río Aysén en el tercio superior del fiordo y la presencia de un frente en la zona de isla Elena, mientras que la distribución vertical estuvo compuesta por una capa superficial fuertemente influida por las variaciones estacionales y por una capa profunda más estable y constituida principalmente por Agua Superficial Subantártica Modificada (ASAAM). Además, se pudo apreciar en las campañas de verano la presencia de una inversión térmica en torno a los 25 m de profundidad, en la mitad superior del fiordo.

PALABRAS CLAVES: Estuario – Estratificación – ASAAM

ABSTRACT: An analysis of spatial and temporal variability of physical characteristics in Aysén fjord was done using data gathered during five oceanographic surveys carried out between 1991 and 1992. Results showed that the main characteristics of surface distribution of temperature, salinity and density are under the influence of Aysén River in the inner fjord, and there were evidences of a front in the south of Elena Island. The vertical distribution was composed by a surface layer of low salinity, temperature and density, strongly influenced by seasonal changes, and a deeper layer more stable conformed mostly by Modified Subantarctic Water (MSAAW). Furthermore, it could be seen in summer the presence of a thermal inversion about 25 m depth in the upper fjord.

* **Correspondencia:** Universidad de Playa Ancha, Centro de Estudios Avanzados. Traslaviña 450, Viña del Mar, Chile.

** **Correspondencia:** Universidad de Playa Ancha, Facultad de Ingeniería. Leopoldo Carvallo 270, Valparaíso, Chile.

Proyecto FONDECYT 1910410: "Caracterización oceanográfica del fiordo Aysén". Universidad de Valparaíso, Instituto de Oceanografía, Valparaíso, Chile. El trabajo contó con la colaboración de la Armada de Chile.

KEY WORDS: Estuary – Stratification – MSAAW

1. INTRODUCCIÓN

Los fiordos corresponden a estructuras geológicas desarrolladas por erosión glacial y que son llenadas parcialmente con agua del mar. Se distribuyen en altas latitudes, principalmente en la costa oeste de Norteamérica y Sudamérica, costa oeste de Europa, Groenlandia, archipiélago ártico canadiense y Nueva Zelanda¹. En Chile, uno de los fiordos más estudiados es el fiordo Aysén (45°20'S; 73°05'W). Sievers y Prado², hicieron una descripción detallada de la distribución de la temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto y nutrientes en este fiordo, comparando las condiciones encontradas en invierno y verano. Trabajos posteriores han descrito y complementado la información de estos autores, conformando una extensa base de datos³. Por otra parte, los trabajos realizados por Cáceres *et al.*⁴ y Valle-Levinson *et al.*⁵ han arrojado resultados distintos a la circulación estuarina de dos capas esperada en un fiordo, proponiendo un esquema de circulación de tres capas para el fiordo Aysén, con un tercer flujo neto de salida en la capa de fondo. Marín y Campusano⁶ propusieron un modelo hidrodinámico barotrópico para la zona y Aiken⁷ discutió la variabilidad de la señal de marea en función de la batimetría. Siervers⁸ resumió y discutió los registros de temperatura y salinidad existentes para los fiordos y canales del área, pero sin profundizar la variabilidad temporal y espacial en el fiordo Aysén. Cassis *et al.*⁹ estudian la variabilidad temporal del fitoplancton durante un periodo de 5 años, registrando quincenalmente la temperatura superficial en una estación fija cercana a la cabeza del fiordo.

Se puede constatar que los numerosos trabajos referentes a la descripción de la distribución y variabilidad interestacional de las características físicas del fiordo Aysén, se basan principalmente en campañas realizadas en invierno y primavera, no permitiendo obtener una visión global de este sistema desde un punto de vista de su variación temporal. O bien, cuando existe un registro continuo, no se profundiza en las variaciones espaciales que experimenta el fiordo. El objetivo de este trabajo es describir conjuntamente las variaciones espaciales y temporales de las características oceanográficas físicas del fiordo Aysén, en una escala de tiempo con una resolución estacional, generando un aporte en las épocas de otoño y verano que han sido escasamente abordadas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El fiordo Aysén tiene una orientación general E-W, desde la cabeza a la boca, orientándose su eje longitudinal en sentido SE-NW en los primeros dos tercios del fiordo, reorientándose en sentido NE-SW en las cercanías de la boca, donde se localiza la isla Elena (45°19'S; 73°23'W), la cual separa la boca del fiordo del canal Pilcomayo (45°17'S; 73°23'W). Este último presenta una zona muy somera en la entrada que comunica con el fiordo (Figura 1).

Se realizaron 5 cruces oceanográficos en el fiordo Aysén, entre septiembre 1991 y diciembre 1992, comprendiendo distintas estaciones anuales:

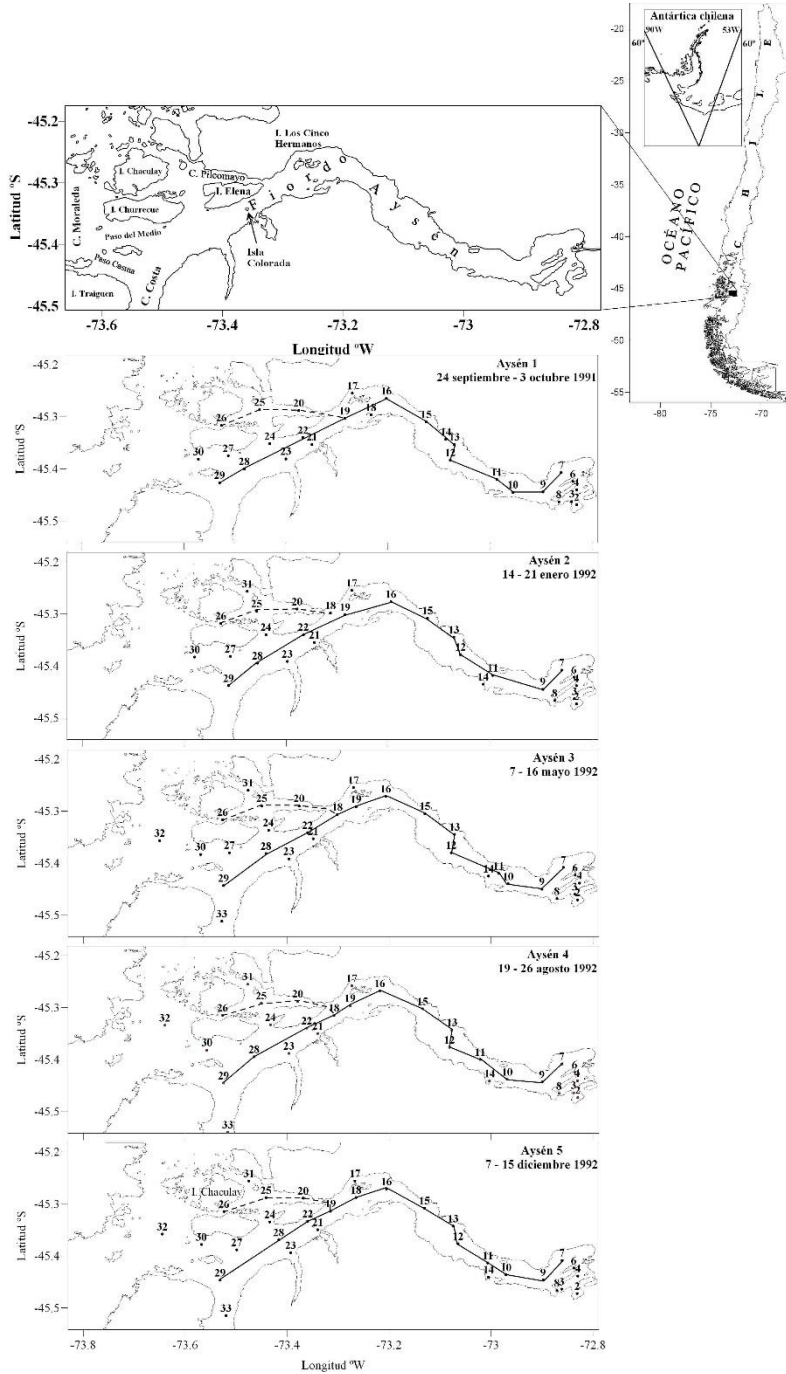
- Primavera 1991: realizado entre el 24 de septiembre y 3 de octubre de 1991.
- Verano 1992: entre el 14 y el 21 de enero de 1992.
- Otoño 1992: entre el 7 y el 16 de mayo de 1992.
- Invierno 1992: entre el 19 y el 26 de agosto de 1992.
- Primavera 1992: entre el 7 y el 15 de diciembre de 1992.

Cada uno de los cruceros consideró un total de 30 estaciones espaciales a lo largo del fiordo (Figura 1). En cada una de estas estaciones se midió la temperatura del agua de mar con termómetros de inversión y se obtuvieron muestras de agua con botellas Nansen e Hidro-Bios a profundidades preseleccionadas durante el muestreo, entre la superficie y un máximo de 270m. Para la selección de las profundidades observadas en la capa de agua hasta 50 m se utilizó la información obtenida in situ con un perfilador T/S (WTW Gerätebau modelo LF 191 con sensor LT1/T) y un electrodo específico de oxígeno YSI modelo 57.

La salinidad fue determinada por conductimetría mediante un salinómetro de inducción Autolab. El cálculo de densidad a los niveles observados se efectuó mediante el empleo de la ecuación internacional de estado de agua de mar (IES/80 UNESCO 1981).

Se confeccionaron gráficos de secciones verticales de temperatura, salinidad y densidad del fiordo Aysén, usando el programa Ocean Data View 3.1.0¹⁰, y gráficos de distribución horizontal superficial para los 5 cruceros realizados, mediante el programa Surfer 7.0. Las secciones verticales corresponden al eje longitudinal del fiordo (Figura 1).

FIGURA 1
LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL FIORDO AYSÉN (PANEL SUPERIOR) Y UBICACIÓN DE ESTACIONES DE MUESTREO DURANTE LA REALIZACIÓN DE LAS CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS



3. RESULTADOS

3.1. VARIACIÓN ESTACIONAL TEMPERATURA SUPERFICIAL

La distribución superficial de la temperatura durante el crucero primavera 1991 exhibió un aumento gradual desde 6,5° C en la cabeza del fiordo a valores mayores a 9,0° C hacia el oeste de isla Elena, sugiriendo una zona de convergencia en torno a esta isla (Figura 2).

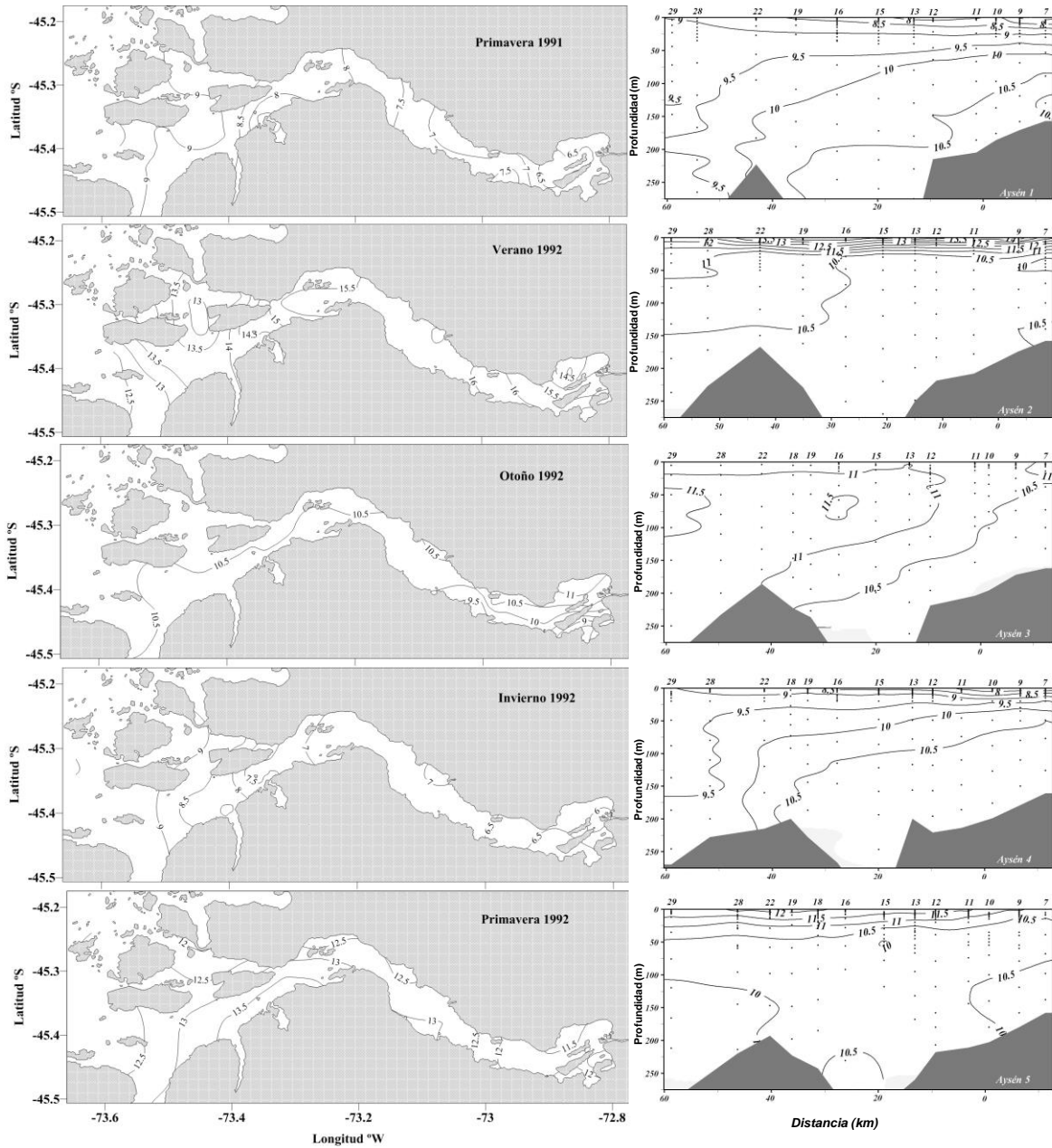
Durante el crucero verano 1992 se registraron mayores temperaturas superficiales en la cabeza del fiordo, en torno a 15° C, las cuales disminuyeron gradualmente hacia la boca, haciéndose más pronunciado el gradiente desde isla Elena hacia el SW y alcanzando valores menores a 12,5° C (Figura 2).

Por su parte, durante el crucero otoño 1992 se observó una alta homogeneidad en la distribución horizontal de la temperatura, la cual varió en un rango de 8° C a 11° C, aunque la mayor parte del fiordo presentó una temperatura superficial en torno a 10,5° C (Figura 2).

La distribución horizontal de temperatura durante la ejecución del crucero invierno 1992 presentó un predominio de valores en un rango de 6° C a 7,5° C en la mayor parte del fiordo, aumentando gradualmente hacia la boca, para comenzar adquirir un gradiente más pronunciado hacia el SW de isla Elena (Figura 2).

La situación encontrada durante la realización del crucero primavera 1992 fue un predominio de temperaturas inferiores a 12° C en la cabeza del fiordo, las cuales aumentaron a un rango de entre 12° C y 13° C entre ese sector y el grupo de islas Los Cinco Hermanos. Destaca la presencia de temperaturas mayores a 13° C en una zona que se extiende desde islas Los Cinco Hermanos hacia el SW de isla Elena, pasando por isla Colorada. Alejándose de esta zona hacia los canales Costa y Moraleda se observa nuevamente una disminución de la temperatura (Figura 2).

FIGURA 2
DISTRIBUCIÓN SUPERFICIAL (IZQUIERDA) Y VERTICAL (DERECHA) DE LA TEMPERATURA EN EL FIORDO AYSÉN, DURANTE LAS CAMPAÑAS ESTACIONALES



3.2. VARIACIÓN VERTICAL DE LA TEMPERATURA EN FIORDO AYSÉN

La temperatura correspondiente al crucero primavera 1991 exhibió un aumento desde $6,01^{\circ}\text{C}$ en superficie, en la cabeza del fiordo, a $10,72^{\circ}\text{C}$ bajo los 250 m, siendo más pronunciado este gradiente en los primeros 25 m, para luego tornarse más gradual en profundidad. Por otra parte, también se observó un gradiente horizontal marcado por la presencia de temperaturas superficiales menores en la cabeza que aumentan hacia la boca, mientras que bajo los 50 m se observaron temperaturas mayores a 10°C hacia el interior del fiordo y menores a esta temperatura hacia fuera de la boca (Figura 2).

Durante el crucero verano 1992 la temperatura varió entre $16,49^{\circ}\text{C}$ en superficie y $9,53^{\circ}\text{C}$ a nivel intermedio en la cabeza del fiordo. En esta época se observó un pronunciado gradiente térmico en los primeros 25 m de profundidad, disminuyendo la temperatura desde los 15°C en superficie a 11°C entre 20 y 25 m. Por otra parte, este gradiente perdió intensidad hacia la boca del fiordo, mientras que bajo los 50 m de profundidad predominaron temperaturas mayores a $10,5^{\circ}\text{C}$ (Figura 2). Cabe destacar que en esta campaña se observó una inversión térmica entre 30 y 50 m de profundidad, la cual se extendió hasta 30 km desde la cabeza del fiordo.

La distribución vertical de la temperatura durante el crucero otoño 1992 mostró una capa superficial homogénea desde la cabeza a la boca del fiordo, con valores en torno a 11°C . Bajo los 25 m de profundidad se apreció un gradiente horizontal caracterizado por la presencia de aguas más cálidas que se extienden desde fuera del fiordo hasta la estación 12, entre 25 y 100 m, siendo delimitadas por la isoterma de 11°C . Se observó una capa profunda de temperaturas inferiores a $10,5^{\circ}\text{C}$, la cual se extendió desde la cabeza del fiordo hasta la estación 19 (Figura 2).

La distribución vertical de la temperatura durante el crucero invierno 1992 fue muy similar a la registrada durante el crucero primavera 1991, con un gradiente más acentuado en los primeros 25 m de profundidad y aumentando más lentamente bajo esta profundidad. En ambos casos se observó el predominio de temperaturas menores a 10°C fuera del fiordo, en toda la columna de agua (Figura 2).

La distribución de la temperatura durante la realización del crucero primavera 1992 mostró aguas más cálidas a nivel superficial, concentrándose los mayores valores en torno a la boca del fiordo. Se observó una disminución más rápida de la temperatura en los primeros 25 m. Bajo los 75 m, en la cabeza del fiordo, se registraron temperaturas mayores a $10,5^{\circ}\text{C}$, mientras que fuera de la boca se observó el predominio de valores menores a 10°C (Figura 2). Al igual que en el crucero verano 1992, se observó una inversión térmica en torno a los 50 m de profundidad, la cual se extendió hasta 40 km de la cabeza del fiordo.

3.3. VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA SALINIDAD SUPERFICIAL

La distribución superficial de la salinidad durante primavera 1991 presentó una zona con valores menores a 4 PSU en la cabeza del fiordo, una zona central con valores de salinidad entre 8 y 12 PSU y un fuerte gradiente horizontal en torno a isla Elena, donde se produjo un aumento de salinidad de 12 a 24 PSU sobre una distancia de 12 km. Fuera de la boca del fiordo se observó un núcleo de salinidad mayor que 24 PSU, el cual se extendió hacia los canales Pilcomayo y Rodríguez y que estuvo limitado hacia el suroeste por agua de menor salinidad proveniente del canal Costa (Figura 3).

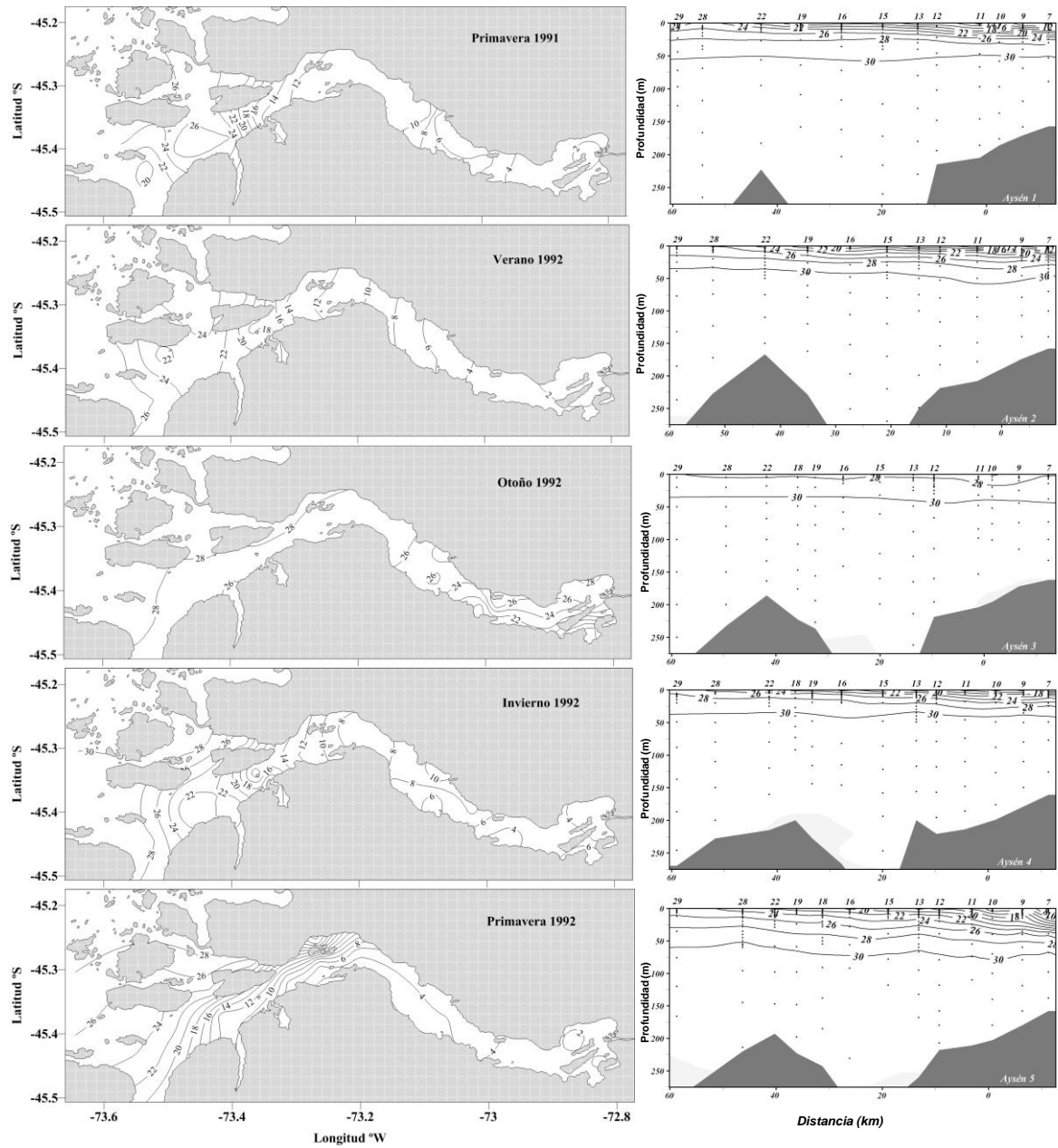
La situación encontrada en verano 1992 mostró un aumento progresivo de la salinidad desde la cabeza a la boca del fiordo, con un predominio de valores menores a 4 PSU en el tercio superior del fiordo y un gradiente más pronunciado en torno a isla Elena, produciéndose un aumento de salinidad de 14 a 22 PSU en este sector (Figura 3).

Durante el crucero otoño 1992 se registraron condiciones distintas a los dos cruceros anteriores, con un predominio de mayores valores de salinidad a lo largo de todo el fiordo, relegando los menores valores de salinidad, los cuales fueron superiores a 14 PSU, al interior de bahía Chacabuco y hacia la ribera sur, en el tercio superior del fiordo, lo cual generó un gradiente transversal de salinidad en este sector (Figura 3).

Los resultados obtenidos durante el crucero invierno 1992 presentaron valores menores a 8 PSU en la mitad superior del fiordo los cuales aumentaron rápidamente desde islas 5 hermanos hacia la boca del fiordo, superando los 22 PSU hacia el SW de isla Elena. Los contornos de salinidad sugieren un frente en torno a isla Colorada y otro menos pronunciado que se extendió entre las islas Elena y Churrecue y la entrada al canal Costa (Figura 3).

Durante el crucero primavera 1992 se observó un predominio de valores bajos de salinidad (< 6 PSU) en los dos tercios superiores del fiordo Aysén, además de un notorio gradiente transversal en el sector comprendido entre islas Cinco Hermanos y las islas ubicadas al oeste de isla Elena. Este gradiente resultó de la distribución de aguas menos salinas hacia la ribera sur del fiordo, desde donde la salinidad aumentó progresivamente hacia el oeste y noroeste (Figura 3).

FIGURA 3
DISTRIBUCIÓN SUPERFICIAL (IZQUIERDA) Y VERTICAL (DERECHA) DE LA SALINIDAD EN EL FIORDO AYSÉN, DURANTE LAS CAMPAÑAS ESTACIONALES



3.4. VARIABILIDAD VERTICAL DE LA SALINIDAD

La distribución vertical de la salinidad durante el crucero primavera 1991 mostró una sección caracterizada por un pronunciado gradiente vertical en la cabeza del fiordo, con una salinidad superficial cercana a 2 PSU y que aumenta a 29 PSU en los primeros 15m de profundidad. Hacia la boca se observó una salinidad superficial de 16 PSU, la cual aumentó a 29 PSU en una profundidad de 13m. Bajo los 25m, la salinidad aumentó en forma más gradual, localizándose la isohalina de 30 PSU en torno a los 50m y alcanzando un máximo de 32,5 PSU a 260 m de profundidad en el interior del fiordo (Figura 3).

En verano 1992 la distribución vertical de la salinidad a lo largo del fiordo no difiere significativamente de aquella registrada en el crucero primavera 1991, con la excepción de que la capa superficial de menor salinidad se extendió un poco más hacia la boca del fiordo y la salinidad de fondo al interior del fiordo fue de 31,4 PSU (Figura 3).

Durante otoño 1992, se registró el predominio de altos valores de salinidad en superficie, superiores a 20 PSU, a lo largo de todo el fiordo Aysén. Por otra parte, fuera de la boca del fiordo y bajo los 100m de profundidad se pudo apreciar la presencia de aguas de salinidad mayor que 31,5 PSU, las cuales sólo se habían observado bajo 250 m y 150 m durante los cruceros Aysén 1 y 2, respectivamente (Figura 3).

La distribución vertical de la salinidad durante el crucero invierno 1992 fue similar a aquella registrada en el crucero primavera 1991, caracterizada por bajas salinidades superficiales en el tercio superior del fiordo, un gradiente pronunciado en los primeros 15 a 20 m de profundidad y un aumento más gradual bajo los 50 m de profundidad. En esta campaña no se registraron valores de salinidad superiores a 31,5 PSU (Figura 3).

Durante la realización del crucero primavera 1992, se observó una menor salinidad superficial, caracterizada por una mayor extensión de la isohalinas de 24 y 26 PSU más allá de la boca del fiordo. Por otra parte, se registró un notorio gradiente vertical en la cabeza del fiordo (Figura 3).

3.5. VARIABILIDAD ESTACIONAL DE LA DENSIDAD SUPERFICIAL

La distribución de la densidad estuvo estrechamente relacionada con la salinidad en las 5 campañas realizadas. Durante el crucero primavera 1991 se observó una zona de agua menos densa en el tercio superior del fiordo cercano a la cabeza, con valores de σ_t menores a 4. Desde isla Mentirosa hasta islas Los Cinco Hermanos, la densidad aumentó lentamente. Sin embargo, desde este conjunto de islas hasta el extremo suroccidental de isla Elena la densidad aumentó rápidamente, sugiriéndose un frente a la altura de isla Colorada, en la boca del fiordo. Fuera del fiordo, la densidad superficial fue del orden de los 18 a 20 (Figura 4). Por otra parte, la situación encontrada durante el crucero verano 1992 fue algo similar, aunque con una mayor extensión de las aguas de menor densidad hacia el Este, ubicándose la isopícnica de 2 al oeste de isla Mentirosa; además, el aumento de la densidad hasta fuera de la boca del fiordo fue gradual, sin la conformación de un frente, como se observó en el crucero Aysén 1 (Figura 4).

En otoño 1992, se observó el ingreso de aguas de mayor densidad hasta la cabeza del fiordo, lo cual quedó en evidencia por la presencia de la isopicna de 20 en este sector. Las aguas de menor densidad quedaron restringidas principalmente a bahía Chacabuco. En contraste, la distribución de la densidad superficial durante agosto de ese año (Invierno 1992) fue similar a aquella correspondiente al crucero primavera 1991, con un aumento gradual de la densidad desde la cabeza del fiordo hasta islas Los Cinco Hermanos, para luego producirse un fuerte gradiente horizontal a la altura de isla Colorada, presentándose además un segundo frente, de menor intensidad, entre las islas Churrecue y Casma y la entrada al canal Costa (Figura 4).

Durante el crucero primavera 1992 se observó una mayor extensión de las aguas de menor densidad hacia la boca del fiordo. Entre las islas Los Cinco Hermanos y el extremo sureste de la isla Elena la distribución de las isopicnas fue paralela a la costa, produciéndose un gradiente transversal caracterizado por la presencia de aguas menos densas en la ribera sur del fiordo (Figura 4).

3.6. VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA DENSIDAD

La distribución vertical de la densidad durante el crucero primavera 1991 mostró un gradiente horizontal existente en una capa superficial de 10 m de grosor. En esta capa se observó un aumento de la densidad desde la cabeza hacia la boca del fiordo, registrándose un frente en esta última zona. Este estrato correspondiente a un rápido aumento de la densidad con la profundidad se extendió hasta aproximadamente 25 m, estando marcado este límite por la isopicna de 22. Bajo los 25 m, la densidad fue aumentando de manera más gradual con la profundidad, alcanzando un máximo de 25,3 (Figura 4).

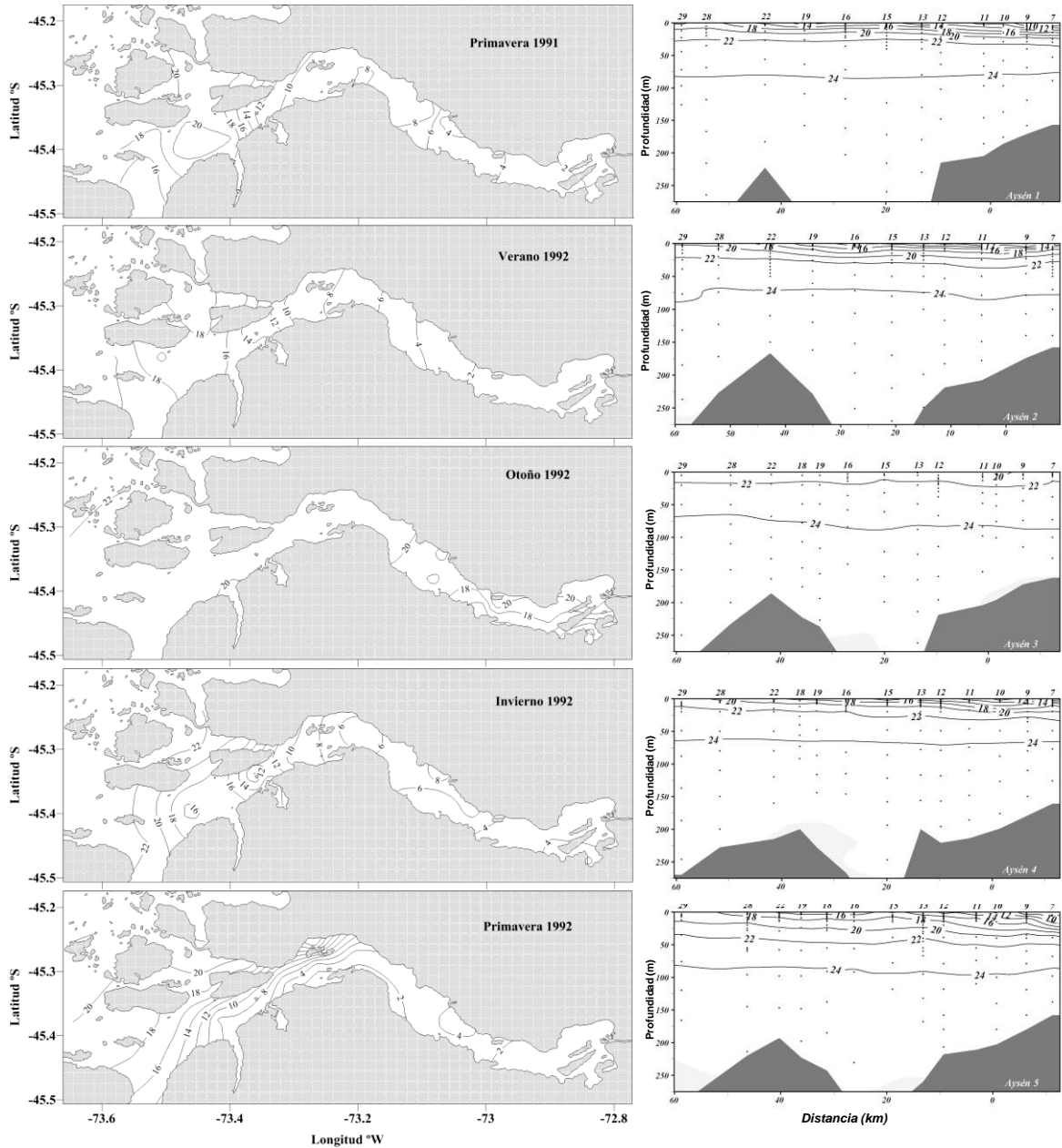
En verano 1992 la distribución de la densidad a lo largo del fiordo Aysén fue similar a la observada durante el crucero primavera 1991, con la presencia de gradiente horizontal superficial y un frente situado en la boca, aunque de menor intensidad al anterior (Figura 4).

La estructura vertical de densidad observada durante la ejecución del crucero otoño 1992 mostró un importante cambio a nivel superficial, respecto de los dos cruceros anteriores. Este cambio se reflejó en un predominio de aguas de una mayor densidad relativa en los primeros 15m de profundidad, con magnitudes mayores a 20. Por otra parte, también fue posible apreciar un ascenso de la isopicna de 22 (Figura 4).

La distribución de densidad en invierno 1992 fue similar a la observada en los cruceros primavera 1991 y verano 1992, aunque con un estrato superficial más atenuado en cuanto a su extensión horizontal, delimitada por la isopicna de 18, y vertical, definida por una leve elevación de la isopicna de 22 (Figura 4).

En primavera 1992, la distribución vertical de la densidad estuvo marcada por una mayor extensión del agua del río Aysén hacia la cabeza del fiordo, la cual se registró como una pluma de aguas de menor densidad en esta zona. Paralelamente, en la cabeza del fiordo también se observó un intenso gradiente vertical que fue suavizándose hacia la boca del fiordo (Figura 4).

FIGURA 4
DISTRIBUCIÓN SUPERFICIAL (IZQUIERDA) Y VERTICAL (DERECHA) DE LA DENSIDAD EN EL FIORDO AYSÉN, DURANTE LAS CAMPANAS ESTACIONALES



4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La distribución de la temperatura mostró un patrón estacional marcado por la menor insolación durante el invierno y mayor radiación en verano. Asimismo, la distribución espacial de la temperatura superficial está fuertemente determinada por influencia del río Aysén, el cual genera un gradiente horizontal a raíz del aporte de aguas relativamente más frías en invierno y más cálidas en verano. Destaca la recurrencia en la formación de frentes en la zona de isla Elena, como se observó durante los cruceros primavera 1991, verano 1992 e invierno 1992 (Figura 3).

Las secciones verticales mostraron una gran variabilidad estacional en el estrato superficial, mientras que bajo 25 m se observó un menor rango de variación. Destaca la inversión térmica observada durante los cruceros otoño 1992 y primavera 1992 (Figura 2). Según Sievers y Prado¹¹ este aumento de la temperatura con la profundidad sería consecuencia de una renovación de aguas profundas por aguas más cálidas y salinas, proveniente de la zona de los canales por penetración a nivel intermedio, durante alguna época del año, posiblemente en otoño. Por otra parte, Silva *et al.*¹², analizando los datos de la expedición Hudson 70, observaron una inversión térmica en las dos estaciones ubicadas en la cabeza del fiordo de 1° C en los primeros 5 m. Según estos autores, las inversiones serían consecuencia del aporte de agua dulce fría que al llegar a la cabeza del fiordo se mezcla con el agua de mar y se distribuye en forma de una delgada capa superficial de menor temperatura, provocando las inversiones.

Por otra parte, durante el crucero otoño 1992 se observó una zona subsuperficial más cálida (>11° C) bajo los 25 m y que se extendió hasta 20 km de la cabeza del fiordo (Figura 2).

La distribución vertical de la temperatura en la cabeza del fiordo se caracteriza por un fuerte gradiente térmico en los primeros 25 m, bajo los cuales se observó una mayor constancia de la temperatura (Figura 2). Cabe destacar que en esta zona ya se puede observar la inversión térmica registrada durante los cruceros verano 1992 y primavera 95.

La distribución superficial de la salinidad mostró, al igual que la temperatura, una tendencia a la conformación de frentes en la zona de isla Elena (Figura 3). La recurrencia de este frente ya ha sido notada por Sievers y Prado¹³ y Guzmán y Silva¹⁴, destacando además la alta estabilidad a nivel profundo y el pronunciado gradiente térmico y salino en los primeros 25m, sobre todo en la cabeza del fiordo. Por otra parte, Nimpstch¹⁵ afirma que las aguas al interior del fiordo Aysén son ASAAM (Agua Superficial Subantártica Modificada) y AD (Agua Dulce), mientras que Guzmán¹⁶ señala la presencia de tres cuerpos de agua al interior del fiordo Aysén, conforme a la clasificación de Silva *et al.*¹⁷, correspondiendo al ASAAM (con salinidades entre 33 y 31 PSU) que se explica por una mezcla de las aguas Subantárticas (ASAA) oceánicas con agua dulce (AD) proveniente de los ríos y lluvia, Agua Estuarina (AE) que se subdivide en AE-Salada (31 a 21 PSU), AE-Salobre (21 a 11 PSU) y AE-Dulce (11 a 2 PSU) que llena gran parte del fiordo y en una pequeña cantidad Agua Dulce (AD) como agua superficial < 2 PSU, situada principalmente hacia la cabeza el fiordo.

El crucero otoño 1992 destaca por los altos valores de salinidad observados en superficie, los cuales se extendieron hasta la cabeza del fiordo (Figura 3). En este sentido, Guzmán¹⁸ señala que en otoño predomina ASAAM en toda la columna al interior del fiordo Aysén, aunque la causa más

probable sea un bajo caudal del río Aysén durante esta época del año¹⁹, el cual fluctúa entre 250 y 400 m³•s⁻¹. Asimismo, el crucero primavera 1992 destaca por la tendencia del agua menos salina a distribuirse en la ribera sur del fiordo, en la zona comprendida entre islas Los Cinco Hermanos y la entrada al canal Costa, fenómeno que podría atribuirse al efecto de Coriolis, que tiende a desviar la capa de agua más liviana a la izquierda de su dirección de salida, como lo observa Cáceres²⁰ en el flujo de salida en la boca. En tanto, la distribución vertical longitudinal de la salinidad (Figura 3) presentó un patrón bastante regular, con una mayor variabilidad en los primeros 25m, donde se refleja la estacionalidad del aporte del río Aysén. Esta mayor variabilidad, expresada como la presencia de gradientes pronunciados, ya ha sido destacada por otros autores²¹. Se observa más claramente la situación observada durante el crucero otoño 1992, con un predominio de altos valores de salinidad en la capa superficial. Este predominio no estaría asociado al ascenso de aguas profundas, sino más bien al ingreso de aguas de mayor salinidad desde fuera del fiordo.

El mecanismo que regularía la distribución y variabilidad de la salinidad al interior del fiordo Aysén ha sido planteado por Silva *et al.*²², quienes señalan que el agua subsuperficial que ingresa en los canales es el agua superficial subantártica (ASAA), la cual se va mezclando con AD a medida que se interna en esta zona. Al pasar por la constricción de Meninea, el ASAA y ASAAM, con salinidades menores a 32 PSU y sigma-t menor que 24,4 logran ingresar a la cuenca sur y hundirse bajo el agua menos densa.

La distribución de densidad (Figura 4) siguió el mismo patrón de la salinidad. La isopícnica de 22 marca el límite inferior de la capa superficial, como ya había sido planteado por Sievers y Prado²³.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

a) Artículos

- Aiken, Christopher M. "Barotropic tides of the Chilean Inland Sea and their sensitivity to basin geometry" *Journal of geophysical Research* Vol. 113 C08024 (2008), pp. 1-13. doi:10.1029/2007JC004593
- Cáceres, Mario, Arnoldo Valle-Levinson, Héctor Sepúlveda y Kristine Holderied. "Transverse variability of flow and density in a Chilean fjord" *Continental and Shelf Research* Vol. 22 n° 11-13 (2002), pp. 1683-1698. doi: 10.1016/S0278-4343(02)00032-8
- Cáceres, Mario. "Surface features of the circulation in fjords of southern Chile observed in ERS and LANDSAT images" *Gayana* Vol. 68 n° 2 suppl. (2004), pp. 71-76. doi: 10.4067/S0717-65382004000200014
- Cassis, David, Pablo Muñoz y Sergio Avaria. "Variación temporal del fitoplancton entre 1993 y 1998 en una estación fija del seno Aysén, Chile (45°26'S 73°00'W)" *Revista de Biología Marina y Oceanografía* Vol. 37 n° 1 (2002), pp. 43-65. doi: 10.4067/S0718-19572002000100007
- Farmer, David y Howard Freeland. "The Physical Oceanography of Fjords" *Progress in Oceanography* Vol 12 n° 2 (1983), pp. 147-220. doi: 10.1016/0079-6611(83)90004-6
- Guzmán, Dafne y Nelson Silva. "Caracterización física y química y masas de agua en los canales australes de Chile entre boca del Guafo y golfo Elefantes (Crucero Cimar Fiordo 4)" *Ciencia y Tecnología del Mar* Vol. 25 n° 2 (2002), pp. 45-76.

Marín, Víctor y Francisco Campusano. "Un modelo hidrodinámico-barotrópico para los fiordos australes de Chile entre los 41°S y los 46°S" *Ciencia y Tecnología del Mar* Vol. 31 n° 2 (2008), pp. 125-136.

Sievers, Hellmuth. "Temperatura y salinidad en canales y fiordos australes" En: Nelson Silva y Sergio Palma (Eds.). *Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos* (Valparaíso: Comité Oceanográfico Nacional - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2006).

Sievers, Hellmuth y Roberto Prado. "Contraste de las características oceanográficas del seno Aysén, Chile, entre invierno y verano (Lat. 45° 20'S)" *Revista de Biología Marina* Vol. 29 n° 2 (Valparaíso, 1994), pp. 167-209.

Silva, Nelson, Carolina Calvete y Hellmuth Sievers. "Características oceanográficas físicas y químicas de canales australes chilenos entre Puerto Montt y Laguna San Rafael (Crucero Cimar-Fiordo 1)" *Ciencia y Tecnología del Mar* n° 20 (1997), pp. 23-106.

Silva, Nelson, Carolina Calvete y Hellmuth Sievers. "Características Masas de agua y circulación general para algunos canales australes canales entre Puerto Montt y Laguna San Rafael, Chile (Crucero Cimar-Fiordo 1)" *Ciencia y Tecnología del Mar* n° 21 (1998).

Silva, Nelson, Hellmuth Sievers y Roberto Prado. "Características oceanográficas y una proposición de circulación, para algunos canales australes de Chile entre 41°20'S y 46°40'S" *Revista de Biología Marina* Vol. 30 n° 2 (Valparaíso, 1995).

Silva, Nelson y Dafne Guzmán. "Condiciones oceanográficas físicas y químicas, entre boca del Guafo y fiordo Aysén (Crucero Cimar 7 Fiordos)". *Ciencia y Tecnología del Mar* Vol. 29 n° 1 (2006).

UNESCO. "Tenth report of the joint panel on oceanographic tables and standards" *Unesco Technical Papers in Marine Science* n° 36 (Sidney, B.C. Canada, 1981), pp. 1-24.

Valle-Levinson, Arnoldo, Mario Cáceres, Héctor Sepúlveda y Kristine Holderied. "Patrones de flujo en los canales asociados a la boca del seno Aysén" *Ciencia y Tecnología del Mar* Vol. 25 n° 2 (2002), pp. 5-16.

b) Tesis

Guzmán, Dafne. *Caracterización hidrográfica, oceanográfica y balance de nitrógeno y fósforo del fiordo Aysén* (Valparaíso: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso - Universidad de Valparaíso. Tesis para optar al grado de Magíster en Oceanografía, 2004).

Nimpstch, Jorge. *Variación Estacional de la Abundancia y Proporciones de los Principales Compuestos Inorgánicos de Nitrógeno del Seno Aysén (Lat. 45°20'S)* (Valparaíso: Universidad de Valparaíso. Tesis para optar al grado de licenciado y al título profesional de Biólogo Marino, 2000).

c) Linkografía

Schlitzer, Reiner. "Ocean Data View" (2006). [<http://awi-bremerhaven.de/GEO/ODV>]

¹ David Farmer y Howard Freeland. "The Physical Oceanography of Fjords" *Progress in Oceanography* Vol 12 n° 2 (1983), pp. 147-220.

² Hellmuth Sievers y Roberto Prado. "Contraste de las características oceanográficas del seno Aysén, Chile, entre invierno y verano (Lat. 45° 20'S)" *Revista de Biología Marina* Vol. 29 n° 2 (Valparaíso, 1994), pp. 167-209.

³ Nelson Silva, Hellmuth Sievers y Roberto Prado. "Características oceanográficas y una proposición de circulación, para algunos canales australes de Chile entre 41°20'S y 46°40'S" *Revista de Biología Marina* Vol. 30 n° 2 (Valparaíso, 1995), pp. 207-254; Nelson Silva, Carolina Calvete y Hellmuth Sievers. "Características oceanográficas físicas y químicas de

canales australes chilenos entre Puerto Montt y Laguna San Rafael (Crucero Cimar-Fiordo 1)” *Ciencia y Tecnología del Mar* n° 20 (1997), pp. 23-106; Nelson Silva, Carolina Calvete y Hellmuth Sievers. “Características Masas de agua y circulación general para algunos canales australes canales entre Puerto Montt y Laguna San Rafael, Chile (Crucero Cimar-Fiordo 1)” *Ciencia y Tecnología del Mar* n° 21 (1998), pp. 17-48; Jorge Nimpstch. *Variación Estacional de la Abundancia y Proporciones de los Principales Compuestos Inorgánicos de Nitrógeno del Seno Aysén (Lat. 45°20’S)* (Valparaíso: Universidad de Valparaíso. Tesis para optar al grado de licenciado y al título profesional de Biólogo Marino, 2000); Dafne Guzmán. *Caracterización hidrográfica, oceanográfica y balance de nitrógeno y fósforo del fiordo Aysén* (Valparaíso: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso - Universidad de Valparaíso. Tesis para optar al grado de Magíster en Oceanografía, 2004), p. 74.

⁴ Mario Cáceres, Arnoldo Valle-Levinson, Héctor Sepúlveda y Kristine Holderied. “Transverse variability of flow and density in a Chilean fjord” *Continental and Shelf Research* Vol. 22 n° 11-13 (2002), pp. 1683-1698.

⁵ Arnoldo Valle-Levinson, Mario Cáceres, Héctor Sepúlveda y Kristine Holderied. “Patrones de flujo en los canales asociados a la boca del seno Aysén” *Ciencia y Tecnología del Mar* Vol. 25 n° 2 (2002), pp. 5-16.

⁶ Víctor Marín y Francisco Campusano. “Un modelo hidrodinámico-barotrópico para los fiordos australes de Chile entre los 41°S y los 46°S” *Ciencia y tecnología del Mar* Vol. 31 n° 2 (2008), pp. 125-136.

⁷ Christopher Aiken. “Barotropic tides of the Chilean Inland Sea and their sensitivity to basin geometry” *Journal of geophysical Research* Vol. 113, C08024, 13 pp.

⁸ Hellmuth Sievers. “Temperatura y salinidad en canales y fiordos australes” En: Nelson Silva y Sergio Palma (Eds.). *Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos* (Valparaíso: Comité Oceanográfico Nacional - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 2006), pp. 31-36.

⁹ David Cassis, Pablo Muñoz y Sergio Avaria. “Variación temporal del fitoplancton entre 1993 y 1998 en una estación fija del seno Aysén, Chile (45°26’S 73°00’W)” *Revista de Biología Marina y Oceanografía* Vol. 37 n° 1 (2002), pp. 43-65.

¹⁰ Reiner Schlitzer. “Ocean Data View” (2006). [<http://awi-bremerhaven.de/GEO/ODV>]

¹¹ Sievers y Prado (1994), pp. 167-209.

¹² Silva, Sievers y Prado (1995), pp. 207-254.

¹³ Sievers y Prado (1994), pp. 167-209.

¹⁴ Dafne Guzmán y Nelson Silva. “Caracterización física y química y masas de agua en los canales australes de Chile entre boca del Guafo y golfo Elefantes (Crucero Cimar Fiordo 4)” *Ciencia y Tecnología del Mar* Vol. 25 n° 2 (2002), pp. 45-76.

¹⁵ Nimpstch. (2000), p. 83.

¹⁶ Guzmán (2004), p. 74.

¹⁷ Silva, Calvete y Sievers (1998), pp. 17-48.

¹⁸ Guzmán (2004), p. 74

¹⁹ Guzmán (2004), p. 74.

²⁰ Mario Cáceres. “Surface features of the circulation in fjords of southern Chile observed in ERS and LANDSAT images” *Gayana* Vol. 68 n° 2 suppl. (2004), pp. 71-76.

²¹ Sievers y Prado (1994), pp. 167-209; Silva, Sievers y Prado (1995), pp. 207-254; Silva, Calvete y Sievers (1997), pp. 23-106.

²² Silva, Calvete y Sievers (1998), pp. 17-48.

²³ Sievers y Prado (1994), pp. 167-209.

Las opiniones, análisis y conclusiones del autor son de su responsabilidad y no necesariamente reflejan el pensamiento de *Revista Estudios Hemisféricos y Polares*.

La reproducción parcial de este artículo se encuentra autorizada y la reproducción total debe hacerse con permiso de *Revista Estudios Hemisféricos y Polares*.

Los artículo publicado en *Revista Estudios Hemisféricos y Polares* se encuentran bajo licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

