

2.2 COMPARACIÓN ESTACIONAL DE LAS VARIABLES OCEANOGRÁFICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS ENTRE BOCA DEL GUAFO Y SENO AYSÉN

Dafne Guzmán Z. y Nelson Silva S.
Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso
Casilla 1020, Valparaíso, Chile

INTRODUCCIÓN

El sistema de fiordos y canales australes de Chile presenta indudables perspectivas de investigación oceanográfica, debido a los procesos físico-químicos que ocurren en esta región. Estas zonas son relativamente protegidas, con importantes aportes de nutrientes desde el océano y una circulación denominada de tipo estuarina debido a los aportes de agua dulce que existen en el sistema producto de la alta pluviosidad y deshielos (Dyer, 1973, Silva *et al.*, 1999). Lo anterior trae como resultado la presencia de áreas que suelen ser altamente fértiles, las que en la actualidad están siendo intervenidas por las actividades forestales, turísticas y acuicultura, que las afectan directamente aunque no necesariamente siempre en forma negativa. Sin embargo, estas actividades provocan el ingreso de una gran cantidad de materia orgánica particulada y disuelta al sistema, alterando las condiciones naturales de los estuarios, lo cual podría llegar a causar grandes daños en el sistema natural.

El presente trabajo tiene como objetivos el establecer una comparación estacional de las condiciones oceanográficas en la zona estuarina desde la boca del Guafo al seno Aysén, utilizando para ello los resultados obtenidos durante los cruceros Hudson, Cimar-Fiordo 1, Cimar-Fiordo 4 en sus dos etapas y Cimar-Fiordo 7 en sus dos etapas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio se encuentra ubicada entre la boca del Guafo (43° 30' S) al sur de la isla de Chiloé y el ventisquero de la laguna San Rafael (46° 40' S), los 72° W y los 74° W. El muestreo fue realizado durante los meses de julio 2001 (Etapa 1) y noviembre 2001 (Etapa 2) a bordo del AGOR-60 "Vidal Gormaz", buque oceanográfico de la Armada de Chile. En éste se realizaron un total de 42 estaciones de muestreo oceanográfico en cada etapa para mediciones de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes, como parte del proyecto multidisciplinario Cimar-Fiordo 7.

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

Las muestras para los análisis de nutrientes (50 ml) fueron tomadas en botellas asépticas de polietileno de alta densidad, fijadas con cloruro mercuríco y posteriormente se congelaron y guardaron a $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los análisis de nutrientes se realizaron posteriormente en la Escuela de Ciencias del Mar de la Universidad Católica de Valparaíso, mediante un autoanalizador de nutrientes y de acuerdo con las técnicas de Atlas *et al.*, (1971).

Con los resultados de los registros de CTD y de los análisis químicos, se prepararon secciones verticales de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y sigma-t, desde la boca del Guafo hasta el seno Aysén, para un posterior análisis mediante promedios ponderados de manera de diferenciar las condiciones oceanográficas en forma estacional.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una manera de diferenciar las condiciones oceanográficas imperantes en la zona de los canales australes de Chile, mediante las variaciones estacionales ocurridas en una serie de tiempo, es dividir los cruceros realizados en la zona en dos grandes estaciones: primavera (septiembre-noviembre) que corresponde a los cruceros Cimar-Fiordo 1 (1995), Cimar-Fiordo 4, etapa 1 (1998) y Cimar-Fiordo 7, etapa 2 (2001) y otoñal (febrero-julio) correspondiendo a los cruceros Hudson (1970), Cimar-Fiordo 4, etapa 2 (1999) y Cimar-Fiordo 7, etapa 1 (2001).

De manera de hacer más simple la comparación, se consideró conveniente sub-dividir la zona de estudio en tres sub zonas o micro cuencas. El límite de cada una de ellas está dado por la constricción de Meninea y las islas Cinco Hermanos. De éstas, la constricción de Meninea impide el paso de aguas profundas, frías y más salinas al interior de los canales y zona estuarina (Silva, *et al.*, 1995, 1997 y 1999; Guzmán 2000). Es así como la primera parte de la zona de estudio abarca desde la boca del Guafo hasta la constricción de Meninea, la segunda parte desde la constricción de Meninea hasta la separación del seno Aysén en dos micro cuencas a la altura de las islas Cinco Hermanos y la tercera parte desde estas islas hasta la cabeza del seno Aysén. En cuanto a la separación en profundidad, ésta se hizo en base a la ubicación de la haloclina, designándose nivel superficial aquel entre la superficie y la haloclina y nivel profundo aquel entre la haloclina y el fondo. Las tablas I y II incluyen los promedios ponderados para los diferentes zonas, niveles, cruceros y estaciones climáticas.

Tabla I. Valores promedios ponderados por zona y capa para los cruceros de primavera.

CF1	Nivel	Temperatura	Salinidad	Oxígeno	Nitrato	Fosfato	Silicato
Zona oceánica	Superficial	10,19	31,588	6,65	4,8	0,55	3
	Profundo	7,71	34,092	4,21	25,0	1,94	14
Zona boca	Superficial	9,73	28,604	6,05	7,0	0,73	13
	Profundo	9,69	31,731	4,21	15,3	1,61	14
Zona cabeza	Superficial	9,90	17,277	5,80	13,1	1,28	36
	Profundo	10,71	31,251	3,48	19,4	2,00	27

CF4-1	Nivel	Temperatura	Salinidad	Oxígeno	Nitrato	Fosfato	Silicato
Zona oceánica	Superior	10,44	32,572	6,57	8,2	1,03	6
	Profundo	9,49	33,900	3,79	22,6	1,95	12
Zona boca	Superior	10,60	30,424	5,37	14,9	1,44	
	Profundo	10,57	31,462	5,27	15,9	1,47	
Zona cabeza	Superior	11,12	29,437	5,60	13,0	1,09	
	Profundo	11,15	31,343	3,35	17,4	1,76	

CF7-2	Nivel	Temperatura	Salinidad	Oxígeno	Nitrato	Fosfato	Silicato
Zona oceánica	Superior	10,09	32,976	6,20	10,8	1,04	9
	Profundo	7,53	34,254	4,06	24,3	1,91	16
Zona boca	Superior	10,03	30,229	6,08	13,2	1,29	18
	Profundo	10,03	31,476	3,66	15,0	1,56	20
Zona cabeza	Superior	9,73	28,416	5,41	10,8	1,18	24
	Profundo	10,26	31,415	2,61	21,2	1,99	29

Tabla II. Valores promedios ponderados por zona y capa para los cruceros de otoño.

Hudson	Nivel	Temperatura	Salinidad	Oxígeno	Nitrato	Fosfato	Silicato
Zona oceánica	Superior	11,967	30,705	5,92			
	Profundo	9,375	33,827	2,88			
Zona boca	Superior	11,84	28,633	5,42			
	Profundo	11,47	31,567	4,38			
Zona cabeza	Superior	11,96	30,705	5,92			
	Profundo	9,37	33,827	2,88			

CF4-2	Nivel	Temperatura	Salinidad	Oxígeno	Nitrato	Fosfato	Silicato
Zona oceánica	Superior	10,94	33,157	5,63	11,7	1,26	13
	Profundo	8,58	34,075	3,47	25,5	2,12	21
Zona boca	Superior	11,77	31,122	5,35	11,2	1,21	17
	Profundo	11,24	32,229	4,21	17,3	1,68	39
Zona cabeza	Superior	11,74	28,367	5,22	11,9	1,18	22
	Profundo	11,10	31,741	3,83	18,2	1,78	22

CF7-1	Nivel	Temperatura	Salinidad	Oxígeno	Nitrato	Fosfato	Silicato
Zona oceánica	Superior	9,83	32,748	6,20	19,4	1,71	17
	Profundo	8,02	34,117	4,08	23,8	2,09	17
Zona boca	Superior	9,38	30,086	6,01	17,1	1,50	29
	Profundo	10,03	31,478	5,16	19,7	1,78	21
Zona cabeza	Superior	9,92	29,497	5,49	16,4	1,46	34
	Profundo	10,56	31,497	3,51	20,4	1,86	25

La temperatura superficial en la zona más expuesta al océano, se presenta en promedio bastante similar en las dos estaciones climáticas con una diferencia de sólo 0,6 °C, siendo menor en primavera que en otoño. Sin embargo, en la zona interior (zona boca) es apreciable una diferencia estacional del orden de 0,9 °C, y en la zona netamente estuarina (zona cabeza), esta diferencia estacional de temperatura se ve ligeramente aumentada a valores menores que 1,0 °C.

Bajo los primeros metros, la temperatura promedio en el sistema es bastante homogénea; no se aprecian diferencias significativas (0,4 °C) en la zona expuesta, lo cual nos indica que las aguas profundas que penetran en esa zona tienen características similares en ambas épocas del año. En el caso de la zona interior, esta diferencia aumenta (0,8 °C entre otoño y primavera), mientras que en la zona estuarina las diferencias estacionales disminuyen a valores menores que 0,4 °C (mayor en primavera que en otoño).

Si bien la temperatura es ligeramente diferente entre los cruceros primaverales y otoñales, se ve influenciada no solo por el efecto de la radiación solar, sino también por el aporte de agua dulce tanto de origen pluvioso (agua-nieve), como de deshielos, los cuales tienen diferentes temperaturas, con lo cual la mezcla de esta agua puede tener diferencias. Debido a lo anterior, este parámetro no sería un buen indicador de variaciones estacionales en la zona de estudio. Sin embargo, la salinidad es el parámetro que nos diferenciaría el sistema estacionalmente, debido a que solo se va a ver afectado por mezclas de agua dulce, las cuales tienen claramente una salinidad cercana a cero y la mezcla va a ser de tipo lineal (Silva *et al.*, 1995, 1997 y 2001; Guzmán, 2000); por otro lado, el utilizar promedios ponderados superficiales y profundos para el estudio se hace factible siempre y cuando existan diferencias de salinidad de al menos 1 psu, y estemos trabajando en sistemas semi-cerrados, lo cual es claramente aceptable en la zona de estudio (Gordon, 1996).

La salinidad superficial en la zona más expuesta (zona oceánica), se presenta en promedio bastante similar en las dos estaciones con un rango de diferencia de 0,2 psu menor en otoño que en primavera. En la zona interior (zona central) también se aprecia una diferencia de 0,2 psu, pero en este caso menor en primavera que en otoño, mientras que en la zona estuarina, la diferencia estacional de salinidad se ve incrementada en aproximadamente 3 psu. Esta marcada diferencia refleja la fuerte influencia del sistema fluvial existente en el seno Aysén, lo cual hace que la salinidad superficial disminuya por efecto de la mezcla con agua dulce (río y lluvia), siendo en este caso mayor la influencia de la mezcla en primavera que en otoño.

Bajo los 25 m, la situación del sistema es bastante homogénea en promedio. No se aprecian diferencias significativas (0,03 psu) en la zona expuesta, lo cual nos indica que las aguas profundas que penetran en esa zona tienen características similares en ambas épocas del año. En el caso de la zona interior y la zona estuarina, se apreciaron diferencias estacionales del orden de 0,3 psu menor en primavera que en otoño, lo cual nos muestra que las aguas profundas son bastante homogéneas, debido a que no están expuestas a procesos que las alteren en mayor grado como lo es la radiación solar, o las fuertes mezclas con masas de aguas adyacentes.

Las aguas superficiales en la zona más expuesta, se presentan en promedio ligeramente más oxigenadas en primavera que en otoño con un rango de diferencia del orden de 0,5 ml/l; en la zona interior se aprecia una diferencia de 0,2 ml/l, más oxigenadas en primavera que en otoño; sin embargo, en la zona estuarina, la diferencia estacional de oxígeno disuelto también corresponde a una diferencia de 0,2 ml/l, pero en este caso los valores más altos corresponden a otoño. Bien se sabe que las diferencias de oxígeno disuelto, se deben principalmente a procesos biológicos, de consumo, mediante la respiración o degradación de la materia orgánica o

de producción mediante la fotosíntesis, o también al hecho de la interacción océano-atmósfera. Por consiguiente, es debido a lo anterior que este parámetro no sería un buen indicador de las condiciones estacionales netamente tales.

Bajo los 25 m, la situación del sistema es bastante similar en promedio a lo que vemos la superficie. En la zona expuesta encontramos diferencias estacionales del orden de 0,5 ml/l, más oxigenadas las aguas en primavera que en otoño. En el caso de la zona interior se apreció una diferencia de 0,2 ml/l, más oxigenadas en otoño que en primavera, mientras que en la zona estuarina se observaron diferencias estacionales bastante marcadas del orden de 1,1 ml/l, menor en primavera que en otoño, lo cual nos indicaría una baja circulación de las aguas profundas estuarinas.

Las aguas superficiales en la zona más expuesta presentan en promedio una alta concentración de nitratos en ambas estaciones, con un rango de diferencia del orden de 7,6 μM mayor en otoño que en primavera; en la zona interior se aprecia una diferencia menos marcada que en el caso anterior (2,5 μM), aun cuando se conservan valores ligeramente altos en otoño más que en primavera, y en la zona estuarina la diferencia estacional de nitrato es menos marcada (1,9 μM). En cuanto al fosfato, vemos que la zona más expuesta, presenta rango de diferencia del orden de 0,6 μM , mayor en otoño que en primavera; en la zona interior se aprecia una diferencia menos marcada, con diferencias del orden de 0,2 μM más altas en otoño que en primavera, y en la zona estuarina la diferencia estacional de fosfato no es muy marcada, aun cuando existen valores que bordean los 1,2 μM .

Bajo la superficie, la situación del sistema es bastante homogénea, las diferencias estacionales en promedio ya no son tan marcadas como en superficie. En la parte I se encontraron diferencias estacionales del orden de 0,7 μM de nitrato entre otoño y primavera. En el caso de la zona interior se apreció una diferencia de 3,0 μM , lo que nos indica una mayor presencia de nitrato en otoño que en primavera, y en la zona estuarina las diferencias estacionales no superaron los 0,1 μM entre ambas estaciones. Para el fosfato, la situación no fue muy diferente del caso del nitrato, ya que las aguas profundas son bastante homogéneas, por ende, no debería esperarse una marcada diferencia estacional en esta parte de la columna de agua. Es así como en la zona expuesta el fosfato presentó una diferencia estacional de 0,17 μM entre otoño y primavera, la que se conservó en la zona interior; sin embargo, en la zona estuarina esta diferencia disminuyó a 0,09 μM .

El silicato con la salinidad tienen una relación inversa, debido a que el silicato presenta una alta concentración en las aguas de río. Por lo tanto, es de esperar que en la zona de la cabeza se tengan las menores concentraciones de este nutriente y las mayores en la parte I, lo cual es apreciable mediante los promedios ponderados (Tablas I y II).

Las diferencias estacionales en superficie, son bastante marcadas en la zona expuesta, con diferencias del orden de 9 μM entre otoño y primavera. Esta diferencia disminuye ligeramente en la zona interior a 8 μM ; sin embargo, en la zona netamente estuarina, esta diferencia es mucho menor, alcanzando los 2 μM , siendo más concentrado en primavera que en otoño. Es de esperar que los valores de nutrientes superficiales sean mayores en otoño que en primavera, debido a que en esta última estación se propenden a producir floraciones algales. De esta manera, con la existencia de aguas más frías es factible encontrar en esta zona una gran cantidad de silicoflagelados (Avaria *et al.*, 1995).

Bajo la superficie existe una diferencia estacional del parámetro, pero en menor envergadura que en la zona superficial, al menos en el caso de la zona expuesta, en donde la diferencia disminuye a 5 μM entre otoño y primavera; sin embargo, en la zona interior, esta diferencia se hace más marcada con diferencias del orden de 13 μM . En la zona estuarina la diferencia estacional vuelve a disminuir, con la salvedad que en primavera se aprecia una mayor concentración de silicato que en otoño (5 μM).

REFERENCIAS

- Avaria, S., D. Cassis, P. Muñoz y P. Vera. 1995. Distribución del microfitoplancton marino en aguas interiores del sur de Chile en octubre de 1995 (Crucero Cimar-Fiordo 1). *Cienc. Tecnol. Mar*, 20: 107-123.
- Atlas, E., S. Hager, L. Gordon & P. Park. 1971. A practical manual for use of the Technicon Autoanalyzer in sea water nutrient analyses. O.S.U. Dept. of Oceanography. Technical report, 215 pp.
- Carpenter, J. 1965. The Chesapeake bay institute technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnol. and Oceanogr.*, 10: 141-143.
- Cameron, W. y D. Pritchard. 1963. Estuaries. In *the Sea*. Ed. J. Wiley and Sons Inc. New York, Vol. 2:306-324.
- Dyer, K. 1973. Estuaries: A physical introduction. Ed. J. Wiley and Sons Inc. New York.
- Gordon, Jr., D.C., P.R. Boudreau, K.H. Mann, J.E. Ong, W.L. Silvert, S.V. Smith, Wattayyakorn, F. Wulff y T. Yanagi, 1996. LOICZ Biogeochemical Modelling Guidelines. LOICZ Report & Studies, Texel, The Netherlands, 96 pp.
- Guzmán, D. 2000. Caracterización física y química de los canales australes y estimación del tiempo de residencia y balance de sal, agua y nutrientes en el seno Aysén. Tesis para optar al título de oceanógrafo. Universidad Católica de Valparaíso. 69 pp.
- Guzmán, D. y N. Silva. 2002. 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). In Press.
- Silva, N., H. Sievers y R. Prado. 1995. Descripción oceanográfica de los canales australes de Chile. Zona Puerto-Laguna San Rafael (41° 20' S, 46° 40' S). *Rev. Biol. Mar.*, 30(2): 207-254.
- Silva, N., C. Calvete, y H. Sievers. 1997. Características oceanográficas físicas y químicas de canales australes chilenos entre Puerto Montt y Laguna San Rafael (Crucero Cimar-Fiordo 1). *Cienc. Tecnol. Mar*, 20: 23-106.

- Silva, N., D. Guzmán, y A. Valdenegro. 1999. Aysén Sound, Chile. En: Estuarine systems of the South American region: carbon, nitrogen and phosphorus fluxes. LOICZ Reports & Studies No. 15, ii+ 87 pages, LOICZ, Texel, The Netherlands.
- Weiss, R. 1970. The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater. Deep Sea Research, 17: 721-735.