

Variabilidad espacial y temporal en la hidrografía invernal del sistema de bahías frente a la VIII región (Chile centro-sur)

Spatial and temporal variability of winter hydrography in the bay system off the VIII region (central-south Chile)

PATRICIA FAÚNDEZ-BÁEZ¹, CARMEN E. MORALES¹ & DAGOBERTO ARCOS²

¹Universidad de Concepción, Departamento de Oceanografía, Estación de Biología Marina, Casilla 44, Dichato, Chile; e-mail: pfaunde@udec.cl y camorale@udec.cl

²Instituto de Investigación Pesquera Octava región S.A., Casilla 350, Talcahuano, Chile

RESUMEN

En la zona centro-sur de Chile (VIII región) existe un sistema de bahías (~ 36°30'-37° S), que incluye las bahías de Concepción (BC), San Vicente (BSV) y Coronel en el sector oriental del Golfo de Arauco (SOGA), conocido como un importante centro de desove y reclutamiento de especies de peces durante el período invernal. En el presente estudio se analizó la variabilidad hidrográfica (temperatura, salinidad y estratificación), en la dimensión espacial (dentro y entre bahías) y temporal (entre años de muestreo), así como su relación con las condiciones meteorológicas (viento y precipitaciones) y aporte fluvial (caudal de ríos), durante el período invernal (julio-agosto) entre 1993 y 1996. A nivel superficial (1 m y estrato 1-10 m) las tres bahías mostraron heterogeneidad espacial en las distribuciones de temperatura y salinidad, especialmente entre las zonas del saco y la boca. A este nivel, además, los menores valores de temperatura y salinidad ocurrieron generalmente en SOGA, la que además presentó una mayor estratificación por efecto de la presencia de aguas de mayor dilución (< 33 ups) mientras que BC y BSV estuvieron predominantemente bajo la influencia de aguas de menor salinidad (< 33,8 ups). La mayor parte de la variabilidad hidrográfica en este sistema fue atribuible a la dimensión temporal ($P < 0,001$) más que a la espacial y estuvo asociada a variaciones en las condiciones de viento y precipitación en el área de estudio y en el caudal del río Biobío, en los días previos y/o durante el día de muestreo.

Palabras clave: hidrografía invernal, sistema bahías, Chile.

ABSTRACT

The central-south area of Chile (VIII region) presents a system of bays (~36°30'-37° S), including the bays of Concepcion (BC), San Vicente (BSV) and Coronel in the eastern boundary of the Gulf of Arauco (SOGA). This system has been recognized as an important center for the spawning and recruitment of fish species during the winter. In the present study the hydrographic variability (temperature, salinity and density), both in space (inside and between the bays) and time (between sampling years), during the winter period (July-August) between 1993 and 1996, was analyzed. As well, its relationship to the meteorological conditions (wind and rainfall) and fluvial contribution (river discharge) was explored. At the surface level (1 m and 1-10 m depth stratum), the three bays showed spatial heterogeneity in temperature and salinity distributions, especially between the inner and the outer zones. Also, at this level, the lowest values of temperature and salinity were found in SOGA, together with a higher degree of stratification due to the presence of waters of higher dilution (> 33 psu) whereas in BC and BSV waters of lower salinity (< 33.8 psu) were predominant. Most of the hydrographic variability was attributed to the temporal dimension ($P < 0.001$) more than to the spatial dimension. This variability was associated with fluctuations in the wind and rainfall conditions in the area of study and in the discharge of the Biobio river in the days previous to and/or during the sampling date.

Key words: winter hydrography, bay system, Chile.

INTRODUCCIÓN

En la zona centro-sur de Chile frente a la VIII región (~ 36-38° S) se ha desarrollado un diversificado sector industrial, principalmente pesquero, con un importante impacto antrópico que ha generado problemas de contaminación

ambiental en la zona costera. Situaciones descritas por Pradenas & Rudolph (1989), Ahumada et al. (1989) y Arcos et al. (1993) evidencian que manejos inadecuados en esta zona pueden llevar a niveles críticos de contaminación, lo que sin duda afectará la calidad de las aguas costeras y, consecuentemente, el desarrollo y reproducción de

importantes recursos marinos que concentran en estas aguas sus procesos de desove y reclutamiento (Ahumada 1989, Djurfeldt 1989, Arcos et al. 1996, Castro et al. 1997). Por otro lado, el aporte fluvial a las aguas costeras en la VIII región es de significativa importancia en la sustentación de la actividad pesquera (Montes & Quiñones 1999), actividad que involucra capturas de millones de toneladas por año (SERNAP 1996). El conocimiento de la variabilidad hidrográfica del sistema de bahías en la VIII región es necesario para inferir algunas de las consecuencias de las actividades antrópicas en la zona costera, al mismo tiempo que es información básica para entender las condiciones hidrográficas óptimas bajo las cuales desovan y se desarrollan algunos de los recursos más importantes en la región, como peces pelágicos pequeños, que presentan máximos de actividad reproductiva durante los meses de invierno (julio - septiembre) en esta zona (Cubillos & Arancibia 1993, Arcos et al. 1996).

Estudios previos en la zona costera de la VIII región acerca de la distribución de las propiedades hidrológicas de la columna de agua han identificado una marcada estacionalidad con dos períodos intra-anales bien definidos: verano e invierno, afectados diferencialmente por dos masas de agua, Aguas Subantárticas Superficiales (ASAA) y Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales (AESS) (Ahumada & Chuecas 1979, Sobarzo et al. 1993, Sobarzo 1994, Arcos et al. 1995). En el período invernal se encuentra un cuerpo de agua con características de ASAA (33,8-34,3 ups; Sobarzo et al. 1993) y una estructura vertical aparentemente más homogénea que en el período estival, cuando predomina la surgencia costera de AESS (> 34,3 ups) en focos definidos. Asimismo, aguas de menor salinidad (< 33,8 ups) y, a veces, de mayor dilución (< 33 ups) han sido detectadas en la zona costera, entre la superficie y hasta 20 m de profundidad, especialmente durante el período invernal, siendo atribuidas a la influencia fluvial en la región (Sobarzo et al. 1993) o a aguas de la zona de fiordos (Bernal et al. 1982, Salinas et al. 1999). En la escala sinóptica, estudios previos se han concentrado en la descripción de variaciones entre eventos de surgencia activa y de relajación, involucrando desplazamientos de estas masas de agua en relación a la costa (Peterson et al. 1988, Ahumada et al. 1991). Por otra parte, el sistema de bahías en esta zona, que incluye las bahías de Concepción, San Vicente y otras ubicadas en el Golfo de Arauco, presenta condiciones de heterogeneidad en cuanto a batimetría, superficie total, línea de costa, exposición al viento predominante, y aporte fluvial (Ahumada 1989), lo que sugiere diferencias hidrográficas espaciales importan-

tes en el sistema. Hasta ahora no existen antecedentes oceanográficos básicos que comparen o abarquen conjuntamente el sistema de bahías de la VIII región y que profundicen en las variaciones hidrográficas espaciales y temporales en cada una de ellas durante la época invernal, en combinación con un análisis del efecto de factores meteorológicos y de aporte fluvial. Este estudio describe y compara las condiciones hidrográficas en las bahías de Concepción, San Vicente, y Coronel durante muestreos invernales realizados entre 1993 y 1996. Se analizan las variables temperatura, salinidad y estratificación en la columna de agua de cada bahía, su variación espacial (dentro y entre bahías) y temporal (entre muestreos = entre años), y la posible influencia de variaciones meteorológicas y aporte fluvial sobre estas variables.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo hidrográfico y análisis de datos

El sistema de bahías de la VIII región (Fig. 1) está formado por la Bahía de Concepción (BC: 36°40' S, 73°02' O), Bahía de San Vicente (BSV: 36°44' S, 73°10' O) y Bahía de Coronel (SOGA: 37°02' S, 73°10' O), esta última ubicada en el sector oriental del Golfo de Arauco. La orientación de BC es hacia el norte siendo la bahía de mayor tamaño con un área de 170 km². BSV está orientada hacia el noreste y tiene un área de 24 km², mientras que SOGA se orienta hacia el oeste y tiene menor área (13 km²). Los muestreos oceano-

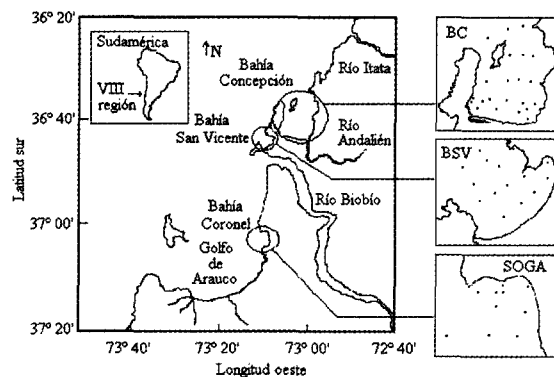


Fig. 1: Área de estudio en la zona costera frente a la VIII región (36° 30'-37° S) en Chile centro-sur. Ubicación de las estaciones de muestreo hidrográfico en las bahías Concepción (BC), San Vicente (BSV) y Coronel (SOGA).

Study area in the coastal zone off the VIII region (36° 30'-37° S) in central-south Chile. Location of the hydrographic stations in the bays of Concepción (BC), San Vicente (BSV) and Coronel (SOGA).

gráficos fueron realizados por el Instituto de Investigación Pesquera VIII región, a bordo de la embarcación L/C Kay-Kay de la Universidad de Concepción, durante julio 1993, julio 1994, agosto 1995 y julio 1996 (Tabla 1). Cada bahía fue muestreada un día en cada período, en días consecutivos entre las bahías. En cada estación hidrográfica se usó un CTD EG&G modelo Smart de registro interno, para la obtención de perfiles continuos de temperatura, salinidad y profundidad entre la superficie y 5 m sobre la máxima profundidad (Tabla 1). La menor profundidad máxima en SOGA (20,5 m; 15 m en la mayoría de los casos) fue utilizado como límite en algunas de las comparaciones entre las bahías. La densidad (σ_t) se obtuvo a partir de los registros de temperatura (T, en grados Celcius: °C) y salinidad (S, en unidades prácticas de salinidad: ups) utilizando la expresión empírica recomendada por UNESCO (1983) y basado en ésta se calculó la estratificación de la columna de agua según Bowden (1983). Para describir la variabilidad hidrográfica espacial (dentro y entre las bahías) se graficó la distribución horizontal de temperatura y salinidad en cada año en los estratos 1 y 15 m de profundidad, representativos de las condiciones superficiales e intermedias, respectivamente. En la evaluación estadística de las variaciones hidrográficas se utilizaron pruebas no-paramétricas dado que las distribuciones de frecuencias de los datos no presentaron homogeneidad de varianza (Sokal & Rohlf 1995).

En el marco de un análisis global de las variaciones hidrográficas (temperatura o salinidad), considerando en forma conjunta la variación entre fechas de muestreo (años) y entre bahías, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis modificada para dos factores (Zar 1984, Sokal & Rohlf 1995).

Este análisis requiere muestras de igual tamaño y por tanto se seleccionaron profundidades específicas en cada estación (1, 5, 10, 15, 20, 30 y 40 m de profundidad) e igual número de estaciones entre bahías. Además, para este análisis se seleccionaron sólo las estaciones muestreadas en todas las fechas y las correspondientes en cada bahía fueron consideradas réplicas. Sobre la base de estos resultados, de las diferencias con profundidad entre estaciones al interior de una bahía y entre bahías, así como de los análisis preliminares de los perfiles verticales de las distribuciones promedio de temperatura y salinidad, los datos de las estaciones seleccionadas fueron agrupados en estratos para un análisis más detallado de las variaciones espaciales y temporales en estas variables hidrográficas, utilizando los valores promedio por estrato.

Variables meteorológicas y caudal fluvial

Se analizaron series de tiempo de viento, precipitación, y caudal de agua dulce hasta cuatro días previos y durante cada fecha de muestreo, dado que la respuesta de las condiciones hidrográficas a estos forzantes usualmente tiene tiempos diferentes y por lo general no son instantáneas (Sobarzo et al. 1993); además, se consideró el efecto de la persistencia (acumulación) de las condiciones forzantes. Los datos de viento (tomados tres veces al día: 00:00, 14:00 y 20:00 h) y precipitaciones diarias, además de los promedios mensuales de precipitación para meses de invierno (junio-agosto), fueron proporcionados por la Estación Meteorológica Bellavista (36° 44' S, 73° 05' O). Los caudales diarios de los ríos más cercanos a las bahías en estudio, el río Biobío y el

TABLA 1

Cruceros hidrográficos realizados en la zona del sistema de bahías en la VIII región. BC = Bahía de Concepción, BSV = Bahía de San Vicente, SOGA = sector oriental del Golfo de Arauco; Bahía de Coronel; MXZM = máxima profundidad de muestreo

Hydrographic cruises undertaken in the zone of the bay system in the VIII region. BC= Concepcion Bay; BSV= San Vicente Bay; SOGA = oriental sector in the Arauco Gulf; Coronel Bay; MXZM = maximum sampling depth

Período Cruceros	BC			BSV			SOGA		
	Fecha de estaciones	Número de estaciones	MXZM (m)	Fecha de estaciones	Número de estaciones	MXZM (m)	Fecha de estaciones	Número de estaciones	MXZM (m)
Julio-1993	15/07	25	50	13/07	19	45	14/07	15	22
Julio-1994	26/07	23	45	27/07	15	45	29/07	10	22
Agosto-1995	18/08	26	50	19/08	15	45	21/08	12	20
Julio-1996	25/07	26	45	26/07	14	45	23/07	10	20

Andalién, y los promedios mensuales para meses de invierno (julio-agosto) en el caso del Biobío, fueron obtenidos en la Dirección General de Aguas VIII región; otras fuentes importantes de agua dulce fluvial se ubican tanto al norte como al sur del área de estudio pero no fueron consideradas en estos análisis.

La turbulencia, como causante de homogeneidad en la columna de agua debido al efecto de mezcla, fue representada por el viento al cubo (energía mecánica del viento), según Cury & Roy (1989). Además, se analizó la dirección de origen del viento, mediante diagramas del vector progresivo, y su constancia ($> 50\%$ = constante), según Sobarzo (1993). Estos análisis permiten inferir, por un lado, la ocurrencia de surgencia y, por otro, la dirección de la pluma de agua dulce fluvial, definida por valores de salinidad menores a 33,8 ups (Sobarzo et al. 1993). En la búsqueda de una asociación entre las variables hidrográficas y los potenciales factores forzantes de sus variabilidades, se utilizó la prueba no-paramétrica de Kendall (Zar 1984, Sokal & Rohlf 1995). Para estos efectos, cada variable en una estación de muestreo se pareó con el valor del factor forzante del día de muestreo y con el del factor forzante acumulado (4 días previos al muestreo).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variabilidad en cada bahía y variabilidad global

La distribución de temperatura y salinidad a nivel superficial (1 m) en el sistema de bahías de la VIII región fue heterogénea entre las diferentes estaciones de muestreo en BC y BSV mientras que en SOGA la variación fue menor, aspecto que en parte es explicado por las grandes diferencias en los tamaños de estas tres bahías (Fig. 2). Los gradientes térmicos superficiales, a lo largo del eje de mayor variación (generalmente entre la zona del saco y la boca de cada bahía), alcanzaron mayores valores en SOGA (rango: 0,04-0,4 °C km⁻¹), seguido de BSV (rango: 0,02-0,1 °C km⁻¹), siendo notoriamente menores en BC (rango: 0,01-0,04 °C km⁻¹); esto evidencia una posible relación inversa entre área de la bahía y gradiente térmico. Los gradientes de salinidad superficial fueron también mayores en SOGA (rango: 0,03-0,5 ups km⁻¹) que en BC (rango: 0,003-0,2 ups km⁻¹) y BSV (rango: 0,02-0,1 ups km⁻¹). A pesar de esta variación, persistió una predominancia de aguas de baja salinidad ($< 33,8$ ups) en BC y BSV y de aguas de mayor dilución (< 33 ups) en SOGA durante el período de estudio. En BC y BSV las mayores temperaturas se situaron frecuentemente

en la zona del saco y muy especialmente en el sector este; la salinidad superficial presentó un gradiente, aumentando hacia la zona del saco y el sector este en BC mientras que BSV no mostró una tendencia clara.

A diferencia del estrato superficial, la temperatura a 15 m de profundidad (Fig. 3) presentó mayor homogeneidad dentro de cada bahía durante el período de estudio, lo que se reflejó en gradientes horizontales débiles ($< 0,01$ °C km⁻¹). La salinidad también mostró menores gradientes horizontales ($< 0,06$ ups km⁻¹) y mayores valores respecto de los máximos encontrados en superficie, con predominancia de aguas menos salinas en SOGA. En la escala vertical, se observó la presencia de inversiones térmicas y fuertes haloclinas, especialmente en los primeros 10 a 20 m de profundidad, que ha sido descrita como una característica del período invernal en la zona de estudio (Ahumada & Chuecas 1979, Sobarzo et al. 1993).

El análisis global de la variabilidad hidrográfica (Tabla 2) indicó que ésta es significativa, con una clara predominancia del factor temporal (fechas de muestreo en el período 1993 a 1996) como fuente de variación tanto en el caso de la temperatura como de la salinidad en todas las profundidades seleccionadas ($P < 0,001$). Los valores promedio de temperatura por fechas de muestreo, sin distinción de la dimensión espacial y considerando sólo las estaciones seleccionadas anteriormente, mostraron diferencias en el rango de 0,7 hasta 1,5 °C; claramente, los promedios en el muestreo de 1995 fueron los más bajos de la serie. La presencia de inversiones térmicas fue una característica común a las tres bahías. A su vez, los valores promedio de salinidad por fecha de muestreo presentaron diferencias en el rango de 0,7 hasta 3,5 ups, con máximas variaciones en los estratos menos profundos (1 y 5 m); los promedios en el muestreo de 1994 fueron claramente los más bajos de la serie ($< 33,8$ ups). Por otro lado, la variabilidad asociada al factor bahía, sin distinción de la dimensión temporal, fue significativa ($P < 0,001$) solamente en las profundidades menores. A este nivel, BSV presentó los promedios más altos tanto en temperatura como en salinidad. Las diferencias entre los valores promedios fueron menores a 0,2 unidades (°C y ups) bajo los 10 m de profundidad en el caso de la temperatura y bajo los 20 m de profundidad en el caso de la salinidad.

Variabilidad hidrográfica entre fechas de muestreo y entre bahías

Un análisis más detallado de la variación temporal (Tabla 3) y espacial (Tabla 4) en la hidrografía

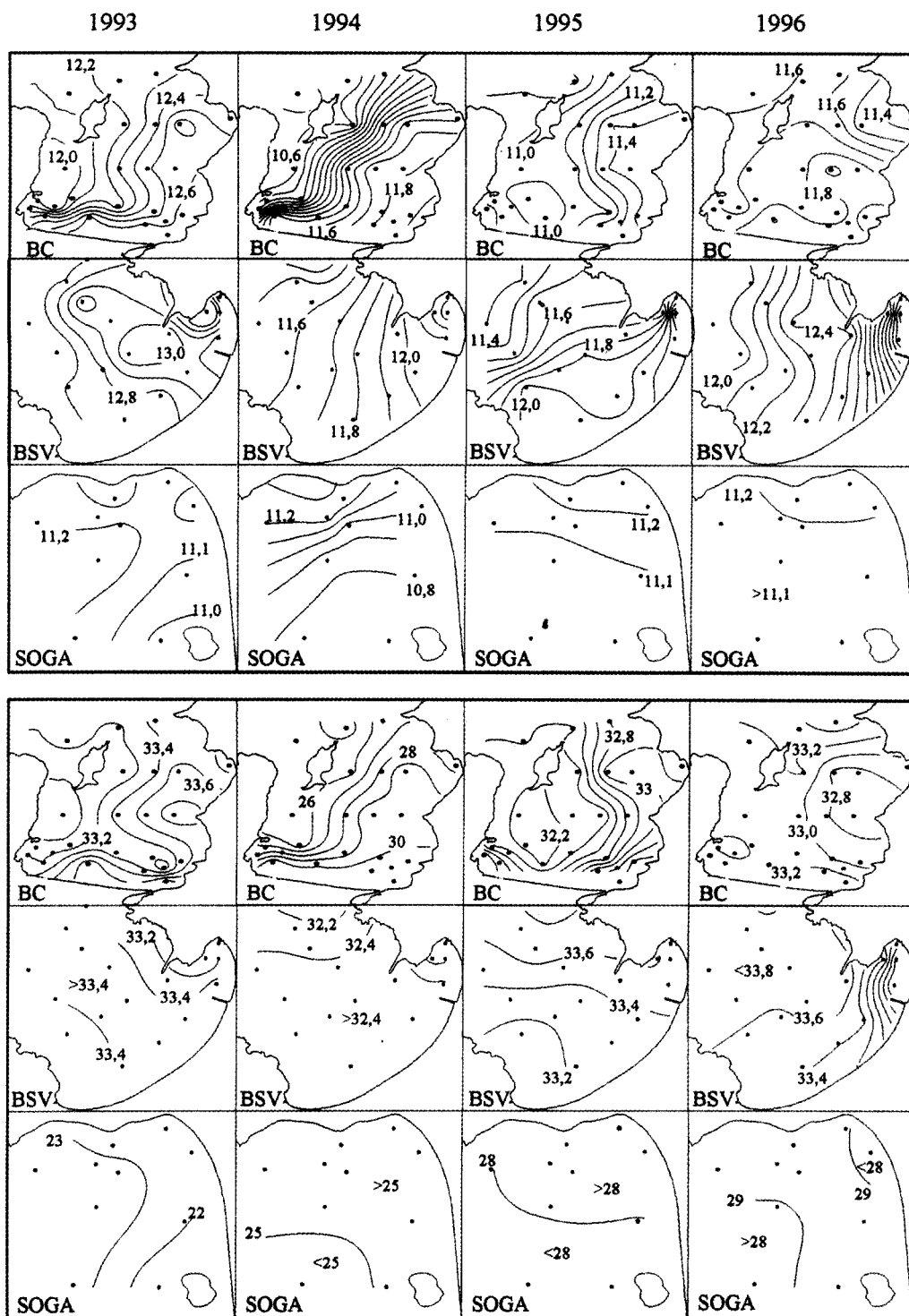


Fig. 2: Distribución de temperatura y salinidad superficial (estrato 1 m de profundidad) en BC, BSV y SOGA durante el período invernal 1993-1996. Salinidades > 30 ups están representadas cada 0,2 unidades y < 30 ups cada 1,0 unidades. Los puntos representan todas las estaciones hidrográficas.

Temperature and salinity distribution at the surface (1 m depth stratum) in BC, BSV y SOGA during the 1993 - 1996 winter period. Salinities >30 psu are represented every 0.2 units and < 30 psu every 1.0 units. Dots represent all the sampling stations.

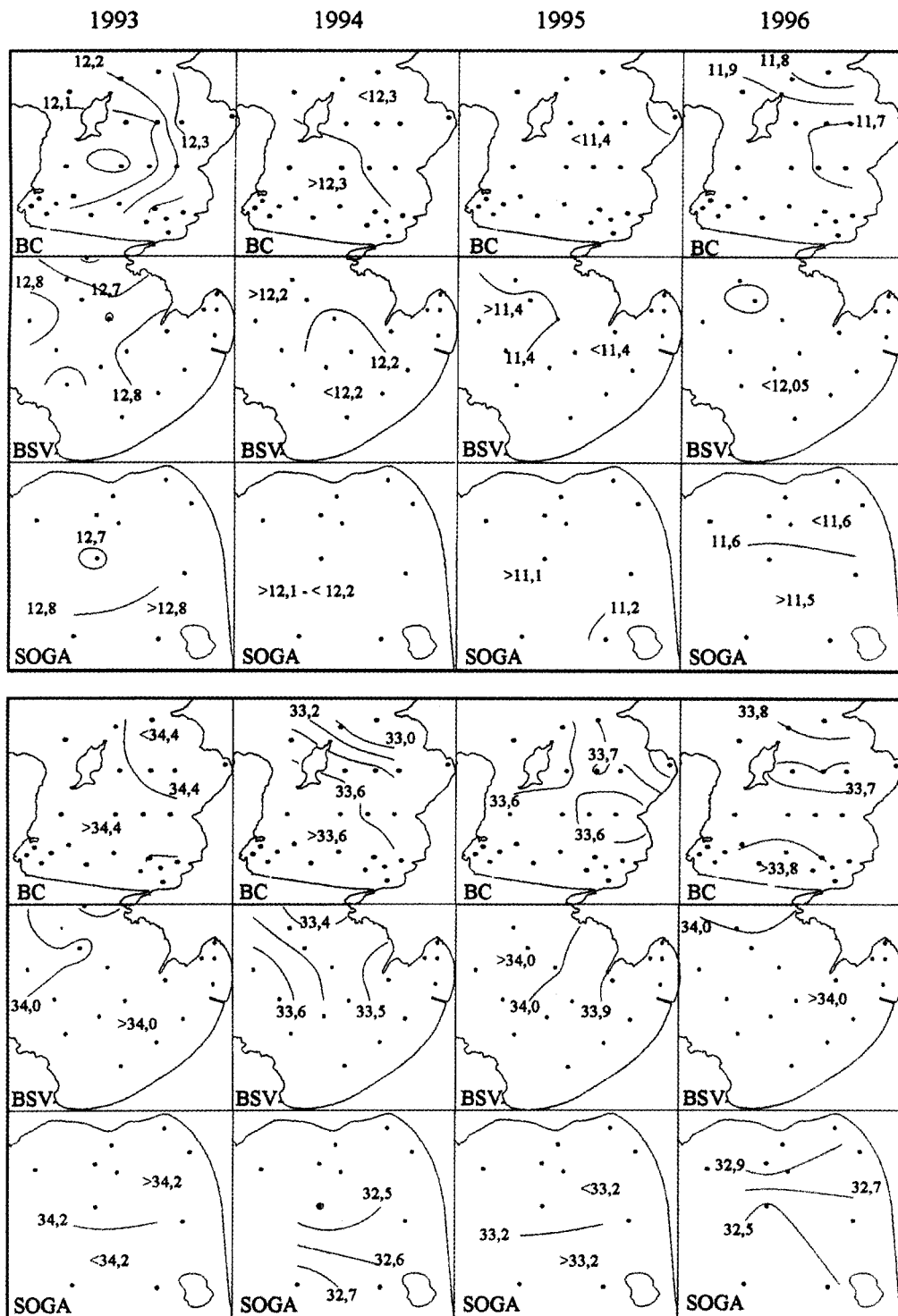


Fig. 3: Distribución de temperatura y salinidad en el estrato de 15 m de profundidad en BC, BSV y SOGA durante el período invernal 1993-1996. Los puntos representan todas las estaciones hidrográficas. Temperature and salinity distribution in the 15 m depth stratum in BC, BSV and SOGA during the 1993-1996 winter period. Dots represent all the sampling stations.

TABLA 2

Valores de temperatura (°C) y salinidad (ups) en el sistema de bahías en la VIII región: media (C) y desviación estándar (DE) en diferentes niveles de profundidad en cada año de muestreo (independiente de bahías) y en cada bahía (independiente de años de muestreo); P = nivel de significancia; otras abreviaciones como en la Tabla 1

Temperature (°C) and salinity values (psu) in the bay system of the VIII region: mean (\bar{x}) and standard deviation (DE) at different depth levels in each sampling year (independent of the bays) and in each bay (independent of the sampling year); P = significance level; other abbreviations as in Table 1

Nivel (m)	Año				Valor P	Bahía			Valor P
	1993 $\bar{x} \pm DE$	1994 $\bar{x} \pm DE$	1995 $\bar{x} \pm DE$	1996 $\bar{x} \pm DE$		BC $\bar{x} \pm DE$	BSV $\bar{x} \pm DE$	SOGA $\bar{x} \pm DE$	
Temperatura									
1	12,1 ± 0,7	11,3 ± 0,5	11,3 ± 0,4	11,7 ± 0,6	0,001	11,6 ± 0,6	12,1 ± 0,6	11,1 ± 0,2	0,001
5	12,7 ± 0,3	11,7 ± 0,3	11,2 ± 0,2	11,8 ± 0,4	0,001	11,8 ± 0,5	12,0 ± 0,6	11,6 ± 0,8	0,01
10	12,8 ± 0,3	12,1 ± 0,1	11,3 ± 0,2	11,7 ± 0,3	0,001	11,9 ± 0,5	12,1 ± 0,5	11,9 ± 0,8	0,1
15	12,6 ± 0,3	12,2 ± 0,1	11,3 ± 0,1	11,8 ± 0,2	0,001	11,9 ± 0,4	12,1 ± 0,5	11,9 ± 0,6	0,1
20	12,4 ± 0,3	12,3 ± 0,1	11,4 ± 0,1	11,9 ± 0,2	0,001	11,9 ± 0,4	12,1 ± 0,5	-	0,1
30	12,1 ± 0,2	12,3 ± 0,1	11,4 ± 0,1	12,0 ± 0,1	0,001	11,9 ± 0,4	12,0 ± 0,4	-	0,1
40	11,9 ± 0,1	12,3 ± 0,2	11,3 ± 0,1	12,0 ± 0,1	0,001	11,9 ± 0,4	11,8 ± 0,4	-	0,1
Salinidad									
1	29,8 ± 5,1	28,4 ± 3,2	31,4 ± 2,3	31,9 ± 2,1	0,001	31,6 ± 2,6	33,2 ± 0,5	26,4 ± 2,6	0,001
5	33,3 ± 0,8	30,3 ± 2,7	31,9 ± 2,0	32,5 ± 1,5	0,001	32,9 ± 0,9	33,4 ± 0,5	29,7 ± 2,2	0,001
10	34,0 ± 0,2	32,6 ± 0,8	33,1 ± 0,8	33,1 ± 1,0	0,001	33,6 ± 0,6	33,7 ± 0,3	32,4 ± 1,0	0,001
15	34,2 ± 0,2	33,2 ± 0,5	33,6 ± 0,4	33,4 ± 0,6	0,001	33,8 ± 0,4	33,9 ± 0,2	33,2 ± 0,7	0,1
20	34,3 ± 0,2	33,7 ± 0,1	33,9 ± 0,3	33,9 ± 0,1	0,001	33,9 ± 0,4	34,0 ± 0,2	-	0,1
30	34,4 ± 0,1	33,6 ± 0,4	34,3 ± 0,2	34,0 ± 0,0	0,001	34,0 ± 0,5	34,1 ± 0,3	-	0,1
40	34,5 ± 0,1	33,8 ± 0,2	34,4 ± 0,2	34,0 ± 0,0	0,001	34,1 ± 0,4	34,3 ± 0,3	-	0,1

invernal en el sistema de bahías de la VIII región durante el período 1993 a 1996, con valores promedio agrupados por estrato, respaldó los resultados del análisis global (Tabla 2). Los valores promedio de temperatura durante el muestreo en 1995 fueron, en la mayoría de los casos, significativamente más bajos (promedio: 11,1-11,4 °C) en todos los estratos y en las tres bahías (Tabla 3). En cambio, en general, durante el muestreo 1993, se encontraron los mayores valores de temperatura (promedio: 12,2-12,9 °C) en los estratos superficial (1-10 m) e intermedio (11-20 m; máximo 15 m en SOGA); las diferencias usualmente fueron mayores a 1 °C entre los muestreos de estos años extremos (1993 y 1995). Al mismo tiempo, los valores promedios desde el estrato superficial al de fondo (20-40 m) en BC y BSV no reflejaron una inversión térmica durante el muestreo de 1993 mientras que esto fue evidente en los restantes muestreos. En los muestreos de los años 1994 y 1996, los valores de temperatura fueron intermedios y similares entre sí en el estrato superficial en las tres bahías. En el estrato de fondo en BC y BSV, los mayores promedios de temperatura se observaron en 1994.

Los valores promedio de salinidad fueron significativamente más bajos durante 1994 (promedio: 27,8-33,8 ups) en todos los estratos y en las tres bahías (Tabla 4), confirmando la tendencia observada en el análisis global (Tabla 2). Solamente en el estrato de fondo en BC y BSV se presentaron valores característicos de las masas de agua en la zona de estudio (promedio: 33,4-34,5 ups) en casi todos los muestreos; sin embargo, en BC estos valores ocurrieron en toda la columna de agua durante el muestreo de 1993.

En términos de variaciones espaciales, SOGA generalmente presentó menores valores promedio de temperatura en el estrato superficial en cada año de muestreo (Tabla 3); a nivel intermedio, SOGA también mostró valores iguales o menores que en BC y BSV, con excepción del año 1993 que mostró el mayor valor promedio del período. En general, BSV presentó mayores valores de temperatura que BC en cada año de muestreo en los estratos superficial e intermedio mientras que las diferencias en los valores promedio en el estrato de fondo no superaron el orden de 0,2 °C. En el caso de la salinidad (Tabla 4), en la mayoría de los casos, SOGA presentó valores promedio

TABLA 3

Valores de temperatura (°C) en el sistema de bahías en la VIII región: media y desviación estándar en estratos de profundidad en cada bahía y en cada año de muestreo. Otras abreviaciones como en las Tablas 1 y 2

Temperature values (°C) in the bay system of the VIII region: mean and standard deviation by depth strata in each bay and in every sampling year. Other abbreviations as in Tables 1 and 2

Año	BC $\bar{x} \pm DE$	Bahía BSV $\bar{x} \pm DE$	SOGA $\bar{x} \pm DE$
Estrato superficial (m)	1 - 10	1 - 10	1 - 10
1993	12,5 ± 0,2	12,8 ± 0,2	12,4 ± 1,0
1994	11,8 ± 0,4	11,9 ± 0,3	11,4 ± 0,4
1995	11,2 ± 0,2	11,4 ± 0,2	11,1 ± 0,1
1996	11,7 ± 0,1	12,2 ± 0,3	11,3 ± 0,1
Estrato intermedio (m)	11 - 20	11 - 20	10,5 - 15
1993	12,2 ± 0,1	12,7 ± 0,1	12,9 ± 0,1
1994	12,3 ± 0,1	12,2 ± 0,0	12,1 ± 0,0
1995	11,3 ± 0,1	11,4 ± 0,0	11,3 ± 0,1
1996	11,7 ± 0,1	12,0 ± 0,1	11,4 ± 0,1
Estrato de fondo (m)	22 - 40	22 - 40	
1993	11,9 ± 0,1	12,1 ± 0,3	
1994	12,4 ± 0,1	12,2 ± 0,0	
1995	11,4 ± 0,0	11,3 ± 0,1	
1996	11,9 ± 0,0	12,1 ± 0,0	

significativamente menores en los estratos superficial e intermedio, con valores predominantemente representativos de aguas de mayor dilución (< 33 ups); la excepción ocurrió en el muestreo de 1993 en el estrato intermedio, cuyo promedio estuvo en el rango de aguas ASAA (> 33,8 ups). En general, la salinidad en BSV fue mayor o similar a la encontrada en BC en los tres estratos, con una predominancia de valores característicos de ASAA en los estratos intermedio y profundo.

Variabilidad hidrográfica y su asociación con aporte fluvial y condiciones meteorológicas durante el período de invierno 1993-1996

Entre los principales factores que se ha reconocido afectarían directamente las distribuciones de temperatura y salinidad, así como la circulación, en la zona costera en estudio, se incluyen la radiación, el viento (dirección, intensidad y constancia), las precipitaciones, los aportes de agua dulce fluvial, y la advección de aguas más frías y menos salinas desde el sur y de aguas cálidas y más salinas desde el norte y zona oceánica. El

efecto que cada uno de ellos o en conjunto puede tener sobre la hidrografía de las bahías ha sido estudiado principalmente en el marco de las fluctuaciones estacionales y diarias del viento (Alarcón 1970, Peterson et al. 1988, Ahumada 1989, Djurfeldt 1989, Sobarzo 1993, 1994, Sobarzo et al. 1993, Arcos et al. 1996, Parada 1999, Castro et al. 2000). Los efectos de precipitaciones y caudal de ríos han sido menos frecuentemente abordados (Ahumada & Chuecas 1979, Dávila et al. en prensa) mientras que la influencia de la advección, especialmente de aguas menos salinas desde la zona sur y fiordos, no ha sido directamente comprobada (Bernal et al. 1982, Silva et al. 1998).

Uno de los mayores aportes de agua dulce en la zona de estudio proviene del río Biobío, cuya desembocadura está situada al norte de SOGA y al sur de BC y BSV (Fig. 1). Este río presentó un caudal diario superior a 600 m³ s⁻¹ durante los días previos (4) y durante los muestreos hidrográficos entre 1993 y 1996 (Tabla 5). Considerando las estaciones de muestreo seleccionadas en las secciones anteriores, en cada bahía la salinidad a nivel superficial, tanto a 1 m de profundidad (SS₁) como en el estrato 1-10 m (SS₁₋₁₀), se correlacionó

inversamente con el caudal diario del río Biobío durante el día de muestreo, así como con el acumulado en los días previos. En ambos casos (valor diario o acumulado de caudal) los valores de correlación fueron los mismos (Tabla 6). En el caso del río Andalién, cuya desembocadura se ubica al interior de BC, el caudal diario fue considerablemente menor durante igual período de días ($< 80 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) y presentó una correlación negativa con la salinidad superficial (SS_1 y SS_{1-10}) en BC para el día de muestreo y los días previos ($r = -0,3$; $P < 0,02$; $n = 36$). Sin embargo, durante todos los muestreos, las menores salinidades se distribuyeron en la zona de la boca de la bahía y no en el saco (donde desemboca el efluente), como se esperaba (Fig. 2). Ahumada & Chuecas (1979) describieron que el efecto del caudal mensual del río Andalién es una importante fuente de la dilución encontrada en los meses invernales en BC; sin embargo, esta asociación no se refleja claramente en la distribución superficial de salinidad en sus gráficas.

La influencia del caudal del río Biobío sobre la distribución de salinidad a nivel superficial ha sido referida en los estudios realizados en la zona del Golfo de Arauco (Alarcón 1970, Sobarzo et

al. 1993). En general, esta influencia parece extenderse sobre la zona oceánica adyacente al sistema de bahías ($36-38^\circ \text{ S}$, $73-76^\circ \text{ O}$), así como a toda el área entre Constitución y Valdivia ($35-40^\circ \text{ S}$). Los antecedentes existentes para la zona de la VIII región durante la época invernal (Quiñones et al. 1995, Núñez et al. 1997) indican que las aguas superficiales de menor salinidad ($< 33,8$ ups) conforman una banda desde la costa hasta 70-233 km mar afuera, con menores salinidades en la zona interna y un marcado frente con las aguas oceánicas. A una mayor escala espacial ($35-55^\circ \text{ S}$), en una larga serie de tiempo (1951-1980), Dávila et al. (en prensa) detectaron una correlación negativa entre el aporte de agua dulce fluvial y la salinidad superficial. Otros caudales que podrían ser causantes de dilución en la zona de estudio son el río Itata, situado al norte de BC, y los ríos menores ubicados en la parte sur del Golfo de Arauco. No se tiene registro de estos últimos mientras que el Itata presenta caudales medios mensuales importantes durante los meses invernales julio-agosto ($250-350 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), de acuerdo a una serie de tiempo entre 1975 y 1991 (Montes & Quiñones 1999). Respecto de la influencia de las precipitaciones, en cada bahía éstas se

TABLA 4

Valores de salinidad (ups) en el sistema de bahías en la VIII región: media y desviación estándar en estratos de profundidad en cada bahía y en cada año de muestreo. Otras abreviaciones como en las Tablas 1 y 2

Salinity values (psu) in the bay system of the VIII region: mean and standard deviation by depth strata in each bay and in every sampling year. Other abbreviations as in Tables 1 and 2

	Año	BC	Bahía	SOGA
		$\bar{x} \pm \text{DE}$	BSV $\bar{x} \pm \text{DE}$	$\bar{x} \pm \text{DE}$
Estrato superficial (m)		1 - 10	1 - 10	1 - 10
	1993	$33,8 \pm 0,4$	$33,6 \pm 0,3$	$29,9 \pm 4,7$
	1994	$31,1 \pm 2,1$	$32,8 \pm 0,4$	$27,8 \pm 2,1$
	1995	$32,9 \pm 0,5$	$33,7 \pm 0,2$	$29,6 \pm 1,3$
	1996	$33,4 \pm 0,3$	$33,7 \pm 0,2$	$30,5 \pm 0,9$
Estrato intermedio (m)		11 - 20	11 - 20	10,5 - 15
	1993	$34,4 \pm 0,1$	$34,0 \pm 0,1$	$34,1 \pm 0,1$
	1994	$33,5 \pm 0,2$	$33,5 \pm 0,2$	$32,3 \pm 0,3$
	1995	$33,5 \pm 0,3$	$34,1 \pm 0,1$	$33,0 \pm 0,3$
	1996	$33,7 \pm 0,1$	$33,9 \pm 0,1$	$32,2 \pm 0,4$
Estrato de fondo (m)		22 - 40	22 - 40	
	1993	$34,5 \pm 0,0$	$34,3 \pm 0,1$	
	1994	$33,4 \pm 0,3$	$33,8 \pm 0,2$	
	1995	$34,1 \pm 0,2$	$34,4 \pm 0,2$	
	1996	$34,0 \pm 0,1$	$34,0 \pm 0,0$	

correlacionaron inversamente con la salinidad a nivel superficial (SS_1 y SS_{1-10}) pero a tiempos diferentes. En BSV esto ocurrió para el día de muestreo y para las precipitaciones acumuladas en los días (4) previos ($r_{SS_1} = -0,6$ y $r_{SS_{1-10}} = -0,4$; $P = 0,000$; $n = 40$) mientras que en BC esto solo ocurrió respecto a los días previos ($r_{SS_1 \text{ y } SS_{1-10}} = -$

$0,5$; $P = 0,000$; $n = 36$). En SOGA esta correlación se dio con las precipitaciones acumuladas desde el segundo día pero sólo para los valores de salinidad en el estrato 1-10 m ($r_{SS_{1-10}} = -0,6$; $P = 0,000$; $n = 32$).

Al mismo tiempo, los valores diarios de precipitación y caudal del río Biobío se correlacionaron

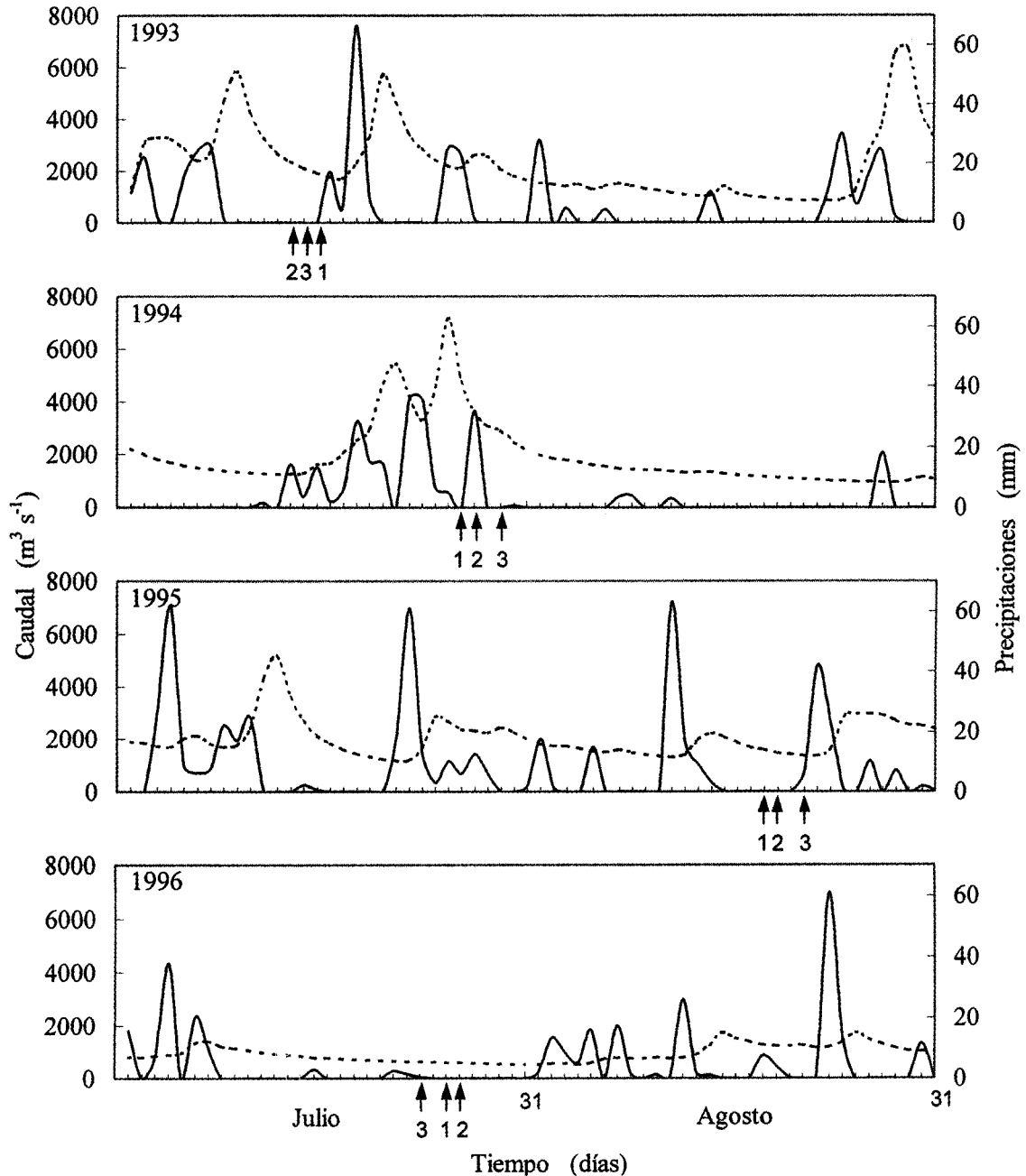


Fig. 4: Caudal diario del río Biobío (línea punteada) y precipitación diaria (línea continua) durante los meses de invierno julio y agosto entre 1993 y 1996, incluyendo los días de muestreo en BC (1), BSV (2) y SOGA (3).

Daily discharge of the Biobío river (broken line) and daily rainfall (continuous line) during the winter months July and August between 1993 and 1996, including the sampling dates in BC (1), BSV (2) and SOGA (3).

positivamente durante los meses de julio y agosto en los años 1993 a 1996 (Fig. 4). Sin embargo, esta asociación es débil y el mayor coeficiente se obtuvo para un desfase de 3 días ($r = 0,3$; $P = 0,000$; $n = 248$) entre la ocurrencia de precipitaciones y aumento en el caudal. Por otro lado, los mayores valores de precipitación y caudal diario del río Biobío, como la sumatoria de los promedios por mes durante los meses de julio y agosto (Fig. 5), ocurrieron en los años 1993 y 1995; en 1994, en cambio, el valor de caudal fue similar a estos dos años pero el de precipitación fue notablemente menor. La alta variabilidad diaria presentada por ambas variables durante estos dos meses invernales para el período 1993-1996, junto con la asociación entre ambas y con la salinidad superficial en las bahías, sugiere la ocurrencia de una variabilidad de alta frecuencia en la distribución de salinidad en la zona costera, modulada por la combinación de estos dos factores.

Un notorio aumento en el caudal diario del Biobío en los días previos o durante los muestreos en los años 1993 y 1994, así como un aumento en la precipitación diaria durante igual período en 1994 (Tabla 5, Fig. 4), se tradujo en valores mínimos de salinidad más cerca de la superficie (SS_1) durante el año 1994 en BC y BSV mientras que esto ocurrió en 1993 en SOGA (Fig. 2). Sin embargo, los mínimos valores de salinidad ocurrieron en las tres bahías durante 1994 en el estrato de 1-10 m (SS_{1-10}) y se mantuvieron bajos en el estrato subyacente (11-20 m) mientras que en 1993 este estrato se caracterizó por valores altos (> 34 ups) en las tres bahías (Tabla 4). La diferencia parece estar en la dirección y constancia del viento (Tabla 5); en los días previos (4) y

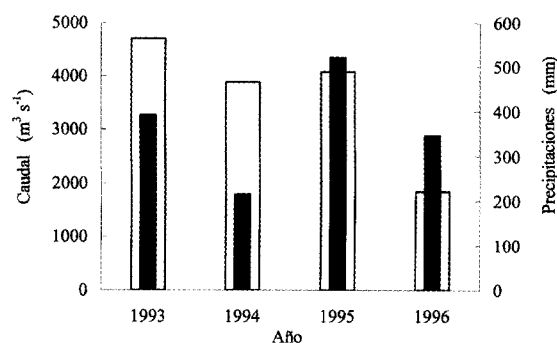


Fig. 5: Promedios mensuales del caudal del río Biobío (barras blancas) y de las precipitaciones (barras negras), acumulados en los meses de julio y agosto durante el período 1993-1996.

Monthly mean values of the discharge of the Biobio river (white bars) and of the rainfall (black bars), accumulative for the months of July and August during the 1993-1996 period.

durante los muestreos en 1993, la predominancia de viento del sur-oeste con una alta constancia fueron inusuales respecto de los patrones promedios mensuales conocidos (Ahumada & Chuecas 1979, Saavedra 1980), mientras que en los días previos (4) y durante los muestreos en 1994 los vientos mostraron una mayor variabilidad en dirección, con predominancia de viento del norte. Esto sugiere, tanto por los antecedentes existentes sobre variaciones en la dirección de la pluma de agua dulce del río Biobío (Alarcón 1970, Sobarzo 1993), como por el efecto del viento sobre la circulación en el Golfo de Arauco (Parada 1999) y las distribuciones observadas durante el presente estudio, que la dirección predominante de esta

TABLA 5

Rango de los valores diarios de las condiciones meteorológicas en la zona del sistema de bahías de la VIII región durante los muestreos hidrográficos y los 4 días previos (invierno 1993-1996). Viento: D (dirección predominante: S = sur, O = oeste, N = norte) y C (Constancia %); Turbulencia ($m^3 s^{-3}$); Precipitaciones (mm agua caída); Caudal ($m^3 s^{-1}$) río Biobío; otras abreviaciones como en las Tablas 1 y 2

Range of the daily values in meteorological conditions in the zone of the bay system of the VIII region during the hydrographic sampling dates and the 4 previous days (winter 1993-1996). Wind: D (predominant direction: S = south, O = west, N = north) and C (constancy %); Turbulence ($m^3 s^{-3}$); Rainfall (mm water fallen); Discharge ($m^3 s^{-1}$) of the Biobio river; other abbreviations as in Tables 1 and 2

Muestreo	Viento		Turbulencia	Precipitaciones	Caudal		
	D	C			Rango	$\bar{x} \pm DE$	
Julio 1993	SO	81-91	14-115	0-0	1912-5840	2881 \pm 1127	
Julio 1994	N	23-44	11-1313	0-36	2892-7182	2593 \pm 1481	
Agosto 1995	SO (BC-BSV)	N (SOGA)	26-78	18-442	0-7	1361-2228	1904 \pm 550
Julio 1996	N	43-55	3-496	0-2	598-700	804 \pm 234	

pluma, durante los días previos y durante los muestreos, habría sido hacia el norte en 1993 y hacia el interior del Golfo de Arauco en 1994. De este mismo modo, los mínimos valores de salinidad superficial encontrados en SOGA durante el muestreo en 1993 se deberían posiblemente a la influencia de aguas de menor salinidad provenientes de la zona sur del Golfo o de más al sur.

Tanto los aportes fluviales como las condiciones meteorológicas inciden sobre la estratificación de la columna de agua. En cada una de las bahías el índice de estratificación se correlacionó positivamente con el caudal diario del río Biobío (Tabla 6), ya sea durante el día de muestreo o con el acumulado en los días previos; los valores de estratificación están referidos al estrato entre 1 y 10 m, con el objeto de uniformar las diferencias de profundidad entre las estaciones hidrográficas y entre las bahías. A su vez, los valores de salinidad superficial (SS_1 y SS_{1-10}) se correlacionaron inversamente con el índice de estratificación en cada bahía (Tabla 6) y en el conjunto de bahías ($r_{SS1} = -0,8$; $r_{SS1-10} = -0,7$; $P = 0,012$; $n = 108$). Los mayores índices de estratificación ocurrieron en SOGA y los menores en BSV durante todo el período de estudio (Tabla 7), siendo significativamente diferentes (prueba de Friedman) para el conjunto de bahías ($P = 0,018$) así como entre pares de bahías ($P < 0,04$).

Los aumentos de caudal del río Biobío durante los muestreos de los años 1993 y 1994 (Tabla 5) se tradujeron en mayores valores de estratificación en las tres bahías durante 1994 (Tabla 7); en 1993, en cambio, esto ocurrió sólo en SOGA mientras que en BC y BSV la estratificación fue similar a la encontrada durante los muestreos en los años con bajo caudal (1995 y 1996). En SOGA, los más altos valores de estratificación ocurrieron durante los muestreos del año 1993, prácticamente doblando el valor encontrado en 1994, a pesar de que los caudales máximos ocurrieron durante los muestreos de 1994. Esto podría estar explicado por un menor grado de mezcla, dado que existe una alta correlación inversa entre la turbulencia ocurrida el día anterior al muestreo y la estratificación en SOGA ($r = -0,9$; $P = 0,000$; $n = 32$), con menor valor de turbulencia durante el muestreo de 1993. La correlación entre la turbulencia ocurrida el día anterior al muestreo y la estratificación en SOGA descrita anteriormente concuerda con los resultados de Sobarzo (1994), que indica que la respuesta de la columna de agua está desfasada de la variabilidad del viento en alrededor de 1 a 2 días. Además, la turbulencia en el día anterior al muestreo en SOGA se correlacionó positivamente con la salinidad a nivel superficial ($r_{SS1} = 0,9$; $P_{SS1} = 0,000$; $r_{SS1-10} = 0,3$; $P_{SS1-10} =$

$0,012$; $n = 32$). En cambio en BC y BSV, en general, la turbulencia no estuvo asociada positivamente a la salinidad superficial ni negativamente a la estratificación en ninguno de los días considerados ($P > 0,12$). Posiblemente el rango más amplio de salinidades presentes en los primeros 10 m de la columna de agua de SOGA, comparado con BSV y BC, permitió reflejar en mejor forma el efecto de la turbulencia sobre la estratificación en SOGA.

La temperatura y salinidad superficiales (SS_1 y SS_{1-10}) se correlacionaron positivamente en las tres bahías ($r_{SS1} = 0,5$; $r_{SS1-10} = 0,3$; $P = 0,000$; $n = 108$). Las menores temperaturas ocurrieron en el muestreo de 1995, en cambio las menores salinidades se presentaron en los muestreos de

TABLA 6

Análisis de asociación entre variables hidrográficas en cada bahía con variables meteorológicas y fluviales; SS_1 y SS_{1-10} = salinidad superficial, C = caudal diario del río Biobío, E = índice de estratificación, T = turbulencia; r = coeficiente de correlación de Kendall; n = número de datos; otras abreviaciones como en las Tablas 1 y 2

Association analyses between hydrographic variables in each bay with meteorological and fluvial variables: SS_1 y SS_{1-10} = surface salinity, C = discharge of the Biobío river, E = stratification index, T = turbulence; r = Kendall correlation coefficient, n = number of data; other abbreviations as in Tables 1 and 2

Bahía			BC n = 36	BSV n = 40	SOGA n = 32
1*	SS / C	SS_1 r	-0,3	-0,6	-0,6
		P	0,004	0,000	0,000
	SS_{1-10}	r	-0,3	-0,5	-0,6
		P	0,020	0,000	0,000
2*	E / C	r	0,5	0,5	0,6
		P	0,000	0,000	0,000
3	E / SS	SS_1 r	-0,6	-0,6	-0,9
		P	0,000	0,000	0,000
	SS_{1-10}	r	-0,5	-0,5	-0,4
		P	0,000	0,000	0,002
4**	E / T	R	0,2	-0,1	-0,9
		P	0,129	0,425	0,000
5**	SS / T	SS_1 r	-0,3	0,03	0,9
		P	0,010	0,763	0,000
	SS_{1-10}	r	-0,3	0,1	0,3
		P	0,024	0,221	0,012

* = r igual para valores del día y el acumulado ** = datos de T para el día anterior al muestreo hidrográfico

TABLA 7

Valores del índice de estratificación ($J m^{-3}$) (1-10 m) en el sistema de bahías en la VIII región: medias y, en paréntesis, rango y número de estaciones seleccionadas y monitoreadas durante el período de invierno entre 1993 y 1996. Otras abreviaciones como en la Tabla 1

Values for the stratification index ($J m^{-3}$) (1-10 m) in the bay system of the VIII region: means and, in parenthesis, range and number of stations selected and monitored during the winter period between 1993 and 1996. Other abbreviations as in Table 1

Bahía	Estratificación			
	1993	1994	1995	1996
BC	5 (2-9; 9)	38 (25-58; 9)	6 (1-16; 9)	5 (1-8; 9)
BSV	3 (1-4; 10)	6 (2-9; 10)	3 (1-5; 10)	2 (0-7; 10)
SOGA	89 (75-98; 8)	43 (36-50; 8)	26 (19-36; 8)	19 (15-23; 8)

1994 cuando hubo un mayor caudal del río Biobío (Tabla 5), sugiriendo que el aporte de caudal en sí no es causante de menores temperaturas. Anteriores estudios hidrográficos en la zona del Golfo de Arauco son contradictorios entre sí respecto de la influencia fluvial sobre la temperatura superficial en período invernal. Alarcón (1970) indica que existen inversiones térmicas asociadas a la isoterma de 11 °C y atribuidas al aporte de aguas más frías provenientes del Biobío mientras que Sobarzo et al. (1993) argumenta que las aguas del Biobío fueron levemente más cálidas que las superficiales del golfo, con inversiones térmicas pero asociadas a mayores temperaturas (12,5-13 °C), y las variaciones en temperatura las asocian con temperaturas del aire. Algunos antecedentes adicionales indican que el período 1993-1994 fue un período con características cálidas débiles y que durante 1995-1996 ocurrió un evento frío relativamente importante, tanto a nivel de la VIII región (Salinas et al. 1999) como en general en el Pacífico Sudeste (Shaffer et al. 1999). Es justamente entre estos períodos cuando se observan diferencias extremas en las distribuciones de temperatura (1993 versus 1995), en toda la columna de agua, en el sistema de bahías de la VIII región.

Recientemente, Castro et al. (2000) han descrito las variaciones en la distribución superficial de temperatura en el golfo de Arauco, mediante imágenes satelitales, y su relación con el viento diario durante agosto de 1995. Bajas temperaturas (9-10 °C) se presentaron en todo el área luego de persistente viento sur, atribuidas a la influencia del río Biobío, mientras que mayores temperaturas (10-12 °C) ocurrieron luego de persistentes

vientos del norte, que habrían advechado aguas superficiales más cálidas desde la zona oceánica; además, se ha señalado la ocurrencia de vientos favorables a la surgencia durante el período. En el presente estudio, los días previos y durante los muestreos hidrográficos en 1993, predominó viento del sur-oeste con una alta constancia (Tabla 5) y, sobre esta base, se calculó el índice de surgencia (Bakun 1978). Los índices obtenidos fueron positivos antes y durante estos muestreos, con un promedio semanal de $11 m^3 s^{-1}$ (expresado por 100 m de costa), valor que se encuentra ligeramente sobre el mínimo considerado como efectivo para un evento de surgencia (Arcos & Navarro 1986). Esto se vio posiblemente reflejado en los menores índices de estratificación obtenidos en BSV y BC en los muestreos de 1993 respecto de 1994, a pesar de que el caudal del río Biobío fue similar en ambos períodos. En términos generales, los antecedentes expuestos apuntan hacia una alta variabilidad diaria en las condiciones hidrográficas durante el período invernal, tanto en el sistema de bahías de la VIII región (presente estudio) como en la zona costera adyacente (Castro et al. 2000), asociada a una combinación de factores meteorológicos y de aporte fluvial que igualmente muestran altas fluctuaciones en la escala de días. Al mismo tiempo, aun con las limitaciones en la cantidad de muestreos, los valores de las variables hidrográficas durante los muestreos realizados en diferentes años reflejan en cierto grado las tendencias de variación interanual en la zona del Pacífico Sudeste, siendo un año cálido 1993 y frío el período 1995-1996 (Salinas et al. 1999).

AGRADECIMIENTOS

Nuestros agradecimientos especiales a la Dirección General de Aguas VIII región por los datos de caudal para los ríos BioBío y Andalién, a la Estación Meteorológica Bellavista por los datos de precipitaciones y vientos, y a dos evaluadores anónimos por sus acertadas críticas y sugerencias. PFB y CMV fueron apoyadas en la elaboración de este manuscrito con fondos del programa FONDAP-HUMBOLDT (1997-2000) de CONICYT, Chile. Esta es una contribución FONDAP-HUMBOLDT, y del Grupo de Investigación Avanzada en Estudios del Océano y el Clima.

LITERATURA CITADA

- AHUMADA R (1989) Producción y destino de la biomasa fitoplanctónica en un sistema de bahías en Chile central: una hipótesis. *Biología Pesquera* (Chile) 18: 53-66.
- AHUMADA R & L CHUECAS (1979) Algunas características hidrográficas de la Bahía Concepción (36°40'S - 73°02'W) y áreas adyacentes, Chile. *Gayana Miscelánea* (Chile) 8: 1-56.
- AHUMADA R, A RUDOLPH, S MADARIAGA & F CARRASCO (1989) Descripción de las condiciones oceanográficas de la Bahía San Vicente y antecedentes sobre los efectos de la contaminación. *Biología Pesquera* (Chile) 18: 37-52.
- AHUMADA R, P MATRAI & N SILVA (1991) Phytoplankton biomass distribution and relationship to nutrient enrichment during an upwelling event off Concepcion Bay Chile. *Boletín de la Sociedad de Biología de Concepción* (Chile) 62: 7-19.
- ALARCÓN E (1970) Descripción oceanográfica preliminar del Golfo de Arauco. *Boletín del Instituto Fomento Pesquero*, Santiago, Chile. No. 13. 51 pp.
- ARCOS D & N NAVARRO (1986) Análisis de un índice de surgencia para la zona de Talcahuano, Chile (37°S). *Investigaciones Pesqueras* (Chile) 18: 25-35.
- ARCOS D, L FURET, F CARRASCO, S NÚÑEZ & F VARGAS (1993) Eutroficación en el ambiente marino de Chile Central: Efectos inducidos por la evacuación de residuos industriales líquidos. *Investigaciones Marinas* (Chile) 21: 51-74.
- ARCOS D, S NÚÑEZ, A URRUTIA & L CHUECAS (1995) Shelf-embayment water exchange and residence times within Concepcion Bay, Chile. *Gayana Oceanología* (Chile) 3: 75-87.
- ARCOS D, S NÚÑEZ & A ACUÑA (1996) Variabilidad de pequeña escala en la zona nerítica del sistema de surgencia de Talcahuano (Chile central): identificación y dinámica de áreas de retención larval. *Gayana Oceanología* (Chile) 4: 21-58.
- BAKUN A (1978) Daily and weekly upwelling indices, west coast of North America, 1967-73. National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Report NMFS-SSRS-693. 113 pp.
- BERNAL P, L ROBLES & O ROJAS (1982) Variabilidad física y biológica en la región meridional del sistema de corrientes Chile-Perú. *Monografías Biológicas*, Pontificia Universidad Católica de Chile (Chile) 2: 75-102.
- BOWDEN K (1983) *Physical oceanography and coastal water*. Ellis Horwood Limited, New York, New York. 302 pp.
- CASTRO L, R QUIÑONES, H ARANCIBIA, D FIGUEROA, R ROA, M SOBARZO & M RETAMAL (1997) Areas de desove de anchoveta y sardina común en la zona central. Informe Final Proyecto Fondo de Investigación Pesquera No. 96-11. Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 115 pp. + figuras.
- CASTRO L, G SALINAS & E HENRÍQUEZ (2000) Environmental influence on winter spawning of the anchoveta *Engraulis ringens* off central Chile. *Marine Ecology Progress Series* 197: 247-258.
- CUBILLOS L & H ARANCIBIA (1993) On the seasonal growth of common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off Talcahuano, Chile. *Revista de Biología Marina* (Chile) 28: 43-49.
- CURY P & C ROY (1989) Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 46: 670-680.
- DÁVILA P, D FIGUEROA & E MÜLLER (en prensa) Freshwater input into the coastal ocean and its relation on the salinity distribution off austral Chile (35°-55° S). *Continental Shelf Research*.
- DJURFELDT L (1989) Circulation and mixing in a coastal upwelling embayment, Gulf of Arauco, Chile. *Continental Shelf Research* 9: 1003-1016.
- MONTES R & R QUIÑONES (1999) The effect of rainfall and runoff of the Biobío and Itata rivers on the landing of the clams *Protothaca thaca* and *Venus antiqua* in central-south Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 72: 13-30.
- NÚÑEZ S, L CUBILLOS, R QUIÑONES & M BRAUN (1997) Condiciones oceanográficas que inciden en el reclutamiento de los recursos anchoveta y sardina común en la VIII región. Informe Final Proyecto Fondo de Investigación Pesquera No. 95-11, Instituto de Investigación Pesquera, Talcahuano, Chile. 406 pp. + anexos.
- PETERSON WT, DF ARCOS, GB McMANUS, H DAM, D BELLANTONI, T JOHNSON & P TISELIUS (1988) The nearshore zone during coastal upwelling: daily variability and coupling between primary and secondary production off central Chile. *Progress in Oceanography* 20: 1-40.
- PRADENAS E & A RUDOLPH (1989) Comparación del impacto ambiental en la Bahía de Concepción producido por los residuos de las plantas de harina, aceite y congelados. *Revista de Biología Marina* (Chile) 18: 115-122.
- QUIÑONES R, H MUÑOZ, R SERRA, J CÓRDOVA & D FIGUEROA (1995) Evaluación hidroacústica de jurel en la zona centro-sur, V a IX regiones. Informe final Proyecto Fondo de Investigación Pesquera N° 95-07. Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 220 pp. + figuras.

- SAAVEDRA N (1980) La presión y dirección del viento en Concepción. Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile. Tralka I: 153-162.
- SALINAS S, A GALLARDO, L SOTO, N SILVA, C HORMAZÁBAL, CE MORALES, C SYLVESTER, P FAÚNDEZ, G DANERI, B JACOB, V DELLAROSA & J OSSES (1999) Condiciones post-El Niño y pesquerías pelágicas en la VIII región. Informe Final del Banco Integrado de Proyectos, BIP No. 20152406 (Subsecretaría de Pesca), Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile. 48 pp.
- SERVICIO NACIONAL DE PESCA, SERMAP (1996) Anuario estadístico de pesca. Ministerio de Economía, Santiago, Chile. 192 pp.
- SHAFFER G, S HORMAZÁBAL, O PIZARRO & S SALINAS (1999) Seasonal and interannual variability of currents and temperature off central Chile. *Journal of Geophysical Research* 104: 29,951-29,961.
- SILVA N, C CALVETE & H SIEVERS (1998) Masas de agua y circulación general para algunos canales australes entre Puerto Montt y Laguna San Rafael, Chile (Crucero Cimar-Fiordo 1). *Ciencia y Tecnología del Mar (Chile)* 21: 17-48.
- SOBARZO M (1993) Caracterización de la circulación de Bahía Concepción, Chile: un análisis temporal en el dominio de la frecuencia. Tesis de Magister en Ciencias, Mención Oceanografía, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Departamento de Oceanografía, Universidad de Concepción, Concepción, Chile. 128 pp.
- SOBARZO M (1994) Oceanografía física entre Punta Nugurne (35°57' S - 72°47' W) y Punta Manuel (38°30' S-73° 31' W), Chile: una revisión histórica (1936-1990). *Gayana Oceanología (Chile)* 2: 5-17.
- SOBARZO M, E SANSONE, A MAIO, M SALAMANCA & J HENRÍQUEZ (1993) Oceanografía física del Golfo de Arauco: variabilidad espacio-temporal de la estructura hidrográfica del Golfo de Arauco. Volumen 4. Centro EULA-Chile, Serie de Monografías Científicas, Concepción, Chile. 64 pp. + figuras.
- SOKAL R & F ROHLF (1995) *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. Third edition. State University of New York Press, Stony Brook, New York. 887 pp.
- UNESCO (1983) Algorithms for computation of fundamental properties of seawater. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Technical Papers in Marine Science 44: 1-53.
- ZAR J (1984) *Biostatistical analysis*. Second edition. Prentice-Hall International Editions, Englewood Cliffs, New Jersey. 718 pp.

Editor Asociado: V. Montecino

Recibido el 7 de julio de 2000; aceptado el 31 de julio de 2001