VARIACIONES INTERANUALES (1995-2000) DE LA TEMPERATURA Y LA SALINIDAD REGISTRADAS EN LOS MESES DE ENERO EN EL GOLFO SAN JORGE Y AGUAS ADYACENTES (43° S-47° S)*

por

ELENA B. LOUGE[1], RAÚL RETA[1, 2], BETINA A. SANTOS[1, 3] y DANIEL R. HERNÁNDEZ[1]

[1] Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP),
Paseo Victoria Ocampo Nº l, Escollera Norte, B7602HSA - Mar del Plata, Argentina
e-mail: elouge@inidep.edu.ar
[2] Departamento de Ciencias Marinas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP), Funes 3350, B7602AYL - Mar del Plata, Argentina
[3] Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP), Funes 3250, B7602AYJ - Mar del Plata, Argentina

SUMMARY

Temperature and salinity interannual variations (1995-2000) registered in January in the San Jorge Gulf and adjacent waters (43° S-47° S). The study period comprises the months of January 1995-2000. Results of cruises carried out on board of INIDEP research vessels to assess hake juveniles were analysed. Statistically significant increase of temperature from 1997 was observed. Change trends over a period of 20 years at a global climate scale are discussed. Mean salinity did not show variations except for 2000 when it was slightly higher probably due to the scarce influence of the Patagonian Current in the area. Temperature and salinity fields showed a horizontal gradient in the south of the Gulf (thermohaline front) while in the mouth a thermal gradient, more marked at the bottom than on the surface (coastal tidal front) was observed. The presence of a thermocline between 30 m and 50 m depth is described. Statistically, surface and bottom temperatures were equivalent to those of surface and bottom layers.

RESUMEN

Se analizan las variaciones interanuales de temperatura y salinidad en el área sur de cría de la merluza (*Merluccius hubbsi*), que abarca el Golfo San Jorge y aguas adyacentes. El período de estudio comprende los meses de enero entre los años 1995 y 2000. Se analizaron los resultados de las campañas de evaluación de juveniles de la especie realizadas a bordo de los buques de investigación pesquera del INIDEP. Se observaron tendencias estadísticamente significativas de aumento de temperatura a partir de 1997. Se discuten estas tendencias de cambio en un período de 20 años y a escala climática global. La salinidad media mensual no presentó variaciones, excepto en el año 2000 cuando fue ligeramente superior debido probablemente a la escasa influencia de la Corriente Patagónica en el área. Los campos de temperatura y salinidad mostraron un gradiente horizontal en el extremo sur del golfo (frente termohalino) mientras que en el extremo de la boca norte se observó un gradiente térmico más acentuado en el fondo que en la superficie (frente costero de marea). Se describe la presencia de una

* Contribución INIDEP Nº 1275

termoclina entre los 30 m y 50 m de profundidad. Estadísticamente, tanto la temperatura de superficie como la de fondo fueron equivalentes a las de la capa de superficie y de fondo, respectivamente.

Key words: Temperature, salinity, fronts, *Merluccius hubbsi*, nursery grounds, San Jorge Gulf, Argentine Sea.
Palabras clave: Temperatura, salinidad, frentes, *Merluccius hubbsi*, área de cría, Golfo San Jorge, Mar Argentino.

INTRODUCCIÓN

El Golfo San Jorge y aguas adyacentes están cubiertos por aguas de plataforma templado-frías resultantes del proceso de mezcla entre las aguas subantárticas puras y aguas costeras de origen continental (Lusquiños y Valdez, 1971). El golfo es una cuenca semiabierta con gran comunicación con el mar; su profundidad oscila entre 70 m y 100 m. En el sector sur del mismo (47° S) se evidencia una zona menos profunda, lo que determina comportamientos particulares de la distribución de los campos térmicos y salinos en algunas épocas del año (Reta, 1986; Baldoni, 1990; Akselman, 1996). En este sector se desarrolla un frente termohalino por el aporte de aguas del Estrecho de Magallanes (Krepper y Rivas, 1979; Carreto *et al*., 1985).

En el área geográfica del Mar Argentino seleccionada para este trabajo se concentran los juveniles de merluza (*Merluccius hubbsi*) en verano. Sus límites han sido elegidos en función de la información recolectada en campañas de investigación (Otero *et al*., 1986; Villarino y Giussi, 1992), y abarca desde 44° S hasta 47° S, entre las isobatas de 50 m y 100 m. La merluza es una especie demersal que presenta una amplia distribución en el Atlántico Sudoccidental; se concentra principalmente entre 34° S y 48° S. A los efectos del manejo administrativo del recurso y sobre la base de numerosos trabajos se consideran dos efectivos: uno al norte y otro al sur de 41° S (Bezzi *et al*., 1997). Este último presenta su pico de reproducción en la primavera tardía y principios del verano en el área de Isla Escondida (Ciechomski y Weiss, 1974; Ciechomski *et al.*, 1975; Otero *et al.*, 1986; Ehrlich y Ciechomski, 1994).

El objetivo del presente trabajo es analizar la temperatura y la salinidad en el área de cría de la merluza y la variabilidad interanual de estos parámetros. Así se describen los campos de salinidad y temperatura, como también su estructura vertical, durante 6 años para el mes enero. El estudio ambiental contribuirá a la comprensión de las variaciones en la distribución y abundancia de la merluza de esta área y al análisis de los procesos de crecimiento y reclutamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizaron datos oceanográficos en las campañas realizadas por los buques de investigación pesquera del INIDEP durante los meses de enero de los años 1995, 1996, 1997, 1998, 1999 y 2000, diseñadas para la evaluación de juveniles de merluza (Tabla 1).

Tabla 1. Campañas de investigación analizadas y CTD utilizados.
Table 1. Research cruises analyzed and CTD used.

Campaña	Período	CTD	Número de estaciones
OB-01/95	Enero 1995	ME	73
EH-01/96	Enero 1996	SBE1901	73
EH-01/97	Enero 1997	SBE1901	67
EH-01/98	Enero 1998	SBE1902	49
EH-01/99	Enero 1999	SBE1902	70
EH-01/00	Enero 2000	SBE1901	74

Los muestreos oceanográficos se realizaron con perfiladores continuos de presión (D, *depth*), temperatura (T) y conductividad (C), cuyas características se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de los sensores de CTD utilizados. R: resolución; P: precisión.
Table 2. CTD sensors characteristics.R: resolution; P: precision.

CTD	Presión (dbar)		Temperatura (°C)		Conductividad (s m^{-1})		Velocidad de muestreo	Resolución vertical 0,5 m seg^{-1}
	R	P	R	P	R	P		
ME	0,1	2,5%	0,001	0,005	0,001	0,01	10 *scans* seg^{-1}	20 *scans* m^{-1}
SBE19-02 Sn 198073-1806	1,0	0,15%	0,001	0,01	0,0001	0,001	2 *scans* seg^{-1}	4 *scans* m^{-1}
SB E19-01 Sn 198073-1268	1,0	0,25%	0,001	0,01	0,0001	0,001	2 *scans* seg^{-1}	4 *scans* m^{-1}

Se controló la calidad de la información oceanográfica a los efectos de garantizar la bondad de los datos de CTD. Así, la salinidad fue suavizada con filtros especiales (mediana 7, coseno 7) para neutralizar valores erróneos producidos en la zona de termoclina (*spikes*). Los datos de salinidad provenientes del CTD fueron corregidos con muestras de botellas de inversión. En aquellas campañas donde no hubo botellas (1995 y 1997), se utilizó un valor estimado, basado en las calibraciones históricas de campañas anteriores y posteriores, a través de un polinomio de interpolación (Tabla 3).

La batimetría que se presenta en este trabajo ha sido confeccionada a partir de datos del INIDEP. Para ello se contó tanto con datos de sondaje ecoico registrados durante las operaciones de pesca u oceanográficas, como de aquellos que resultan de las operaciones de evaluación acústica de algunas especies que habitan en el Golfo San Jorge. Esto ha permitido mejorar el conocimiento batimétrico del área de estudio sin ser totalmente conclusivos en ciertas áreas donde son escasas las actividades anteriormente mencionadas, sobre todo en la franja netamente costera con profundidades inferiores a los 40-50 m. Cabe mencionar que estos datos de batimetría no han sido sujetos a correcciones propias del desplazamiento de la superficie libre del mar por efecto de mareas y que sólo presentan valor relativo para las consideraciones de este trabajo.

Tabla 3. Cálculo de errores de las mediciones de salinidad. $\Delta S = S_{botella} - S_{CTD.}$
Table 3. Deviations of salinity measurements. $\Delta S = S_{bottle} - S_{CTD.}$

Año	Instrumento	Media (ΔS)	Desvío estándar	n (botellas)
1995	ME	0,0435*		Sin botellas
1996	SBE1901	0,025	0,08599	10
1997	SBE1901	0,008*		Sin botellas
1998	SBE1902	0,023	0,07670	29
1999	SBE1902	0,020	0,0299	10
2000	SBE1901	0,037	0,0108	10

* Valores estimados a partir de datos históricos.

Para el análisis de las variaciones interanuales, se consideraron la temperatura de superficie (TS) y fondo (TF) y la salinidad de superficie (SS) y fondo (SF) de cada estación oceanográfica.

La posición de las estaciones oceanográficas sobre 9 secciones se muestra en la Figura 1. En algunas campañas ciertas estaciones oceanográficas no se realizaron. Es por ello que a los efectos de obtener homogeneidad en la cantidad de información se estimaron los valores de TS, TF y SS para las mismas estaciones. Se utilizó el programa SURFER (Golden Software, 1995) para construir grillas de 0,1° x 0,1°, trazar las isolíneas (método Kriging) y estimar los datos de temperatura y salinidad faltantes. En general la cantidad de datos estimados fue menor del 10% para todas las campañas, excepto para el año 1998 (34%).

Se presentan los mapas de isotermas cada 0,5 °C e isohalinas cada 0,05 ups de los años más representativos para describir los campos de temperatura y salinidad. Con el mismo criterio se presentan sólo algunos perfiles de temperatura y salinidad.

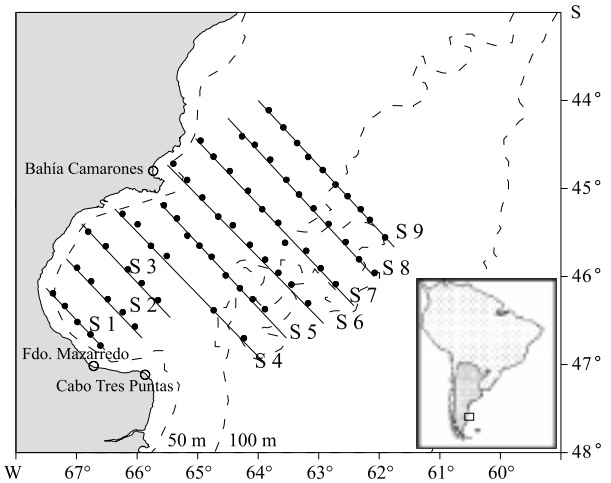

Figura 1. Posiciones de las estaciones de CTD sobre nueve secciones constantes durante el período 1995-2000.
Figure 1. Positions of CTD stations on nine constant transects during the 1995-2000 period.

A los efectos de realizar un balance de agua, es decir, la diferencia entre la cantidad de agua precipitada y la cantidad de agua que abandona la superficie del mar por evaporación, se utilizaron los datos de precipitación tomados del National Center of Environment Prediction (NCEP) de la NOAA, entre 45°-47° S y 65°-67° W. Los datos de evaporación fueron obtenidos del atlas climatológico del Océano Atlántico (Lindau, 2001).

Para comparar las variaciones térmicas y salinas entre los años se realizó un análisis estadístico no paramétrico para bloques aleatorizados considerando como bloques las estaciones de muestreo y como factor de efectos fijos los años. Se utilizó la Prueba de Friedman en la comparación global y la Prueba de Nemenyi en la comparación de años apareados (Zar, 1996). No se incorporó el año 1998 en este análisis estadístico dado el alto número de valores estimados.

Las variaciones de temperatura de superficie del período 1995-2000 fueron analizadas en una escala temporal más amplia al utilizar los valores de anomalías térmicas de superficie del período 1982-2000. Estos datos de anomalías fueron obtenidos de la base de datos de Reynolds *et al.* (2002) que se presentan con una resolución espacial de 1° x 1°. Se utilizaron los puntos de grilla comprendidos entre las latitudes 44,5° S y 46,5° S y las longitudes 62,5° W y 66,5° W a los efectos de utilizar un valor promedio de anomalía de temperatura del área de estudio.

Se realizó un análisis de regresión lineal para comparar la temperatura superficial (n = 74) con el valor promedio de la temperatura medida entre 0 y 20 metros de profundidad, considerada como representativa de la capa de mezcla (n = 1.206). La termoclina se exceptúa de este análisis. Asimismo, se realizó un análisis de regresión entre la temperatura de fondo (n = 74) y la promediada a partir de los 60 m hasta el fondo, considerada como representativa de la capa de fondo (n = 1.846).

RESULTADOS

Batimetría

La zona de plataforma bonaerense-patagónica (Parker *et al.*, 1997) considerada cuen-

ta con dos áreas bien definidas: una que corresponde al interior del Golfo San Jorge (ZGSJ) y otra que pertenece a la zona de plataforma propiamente dicha (ZP).

La ZGSJ es una depresión del fondo marino de gran extensión; más del 90% de su superficie supera los 80 m de profundidad hasta un máximo de unos 100 m (Figura 2). A diferencia de los golfos norpatagónicos (San Matías, San José y Nuevo) su comunicación con el resto de la plataforma se realiza por una extensa boca con mayores profundidades en la zona norte que en la sur. En esta área sur se observa una elevación del fondo que se profundiza y se prolonga con una dirección NNE hasta la mitad del golfo (zona del umbral). El nuevo aporte a la batimetría ya conocida, es la determinación de una zona de bajo fondo en proximidades al borde oriental del umbral del golfo situado en 46° 10´ S y 65° W. Esta elevación del fondo (48-50 m) tiene una longitud aproximada de unos 12 km en sentido oeste-este, con mayor pendiente sobre su borde occidental.

La ZP se presenta como una planicie ondulada con una mayor pendiente sobre la franja costera y con profundidades entre 80 y 100 m. El rasgo morfológico del área pertenece a la misma "terraza" o "escalón", cuyo origen está vinculado a las variaciones del nivel del mar en respuesta a ciclos glaciales del Plio-Pleistoceno (Parker *et al.*, 1997).

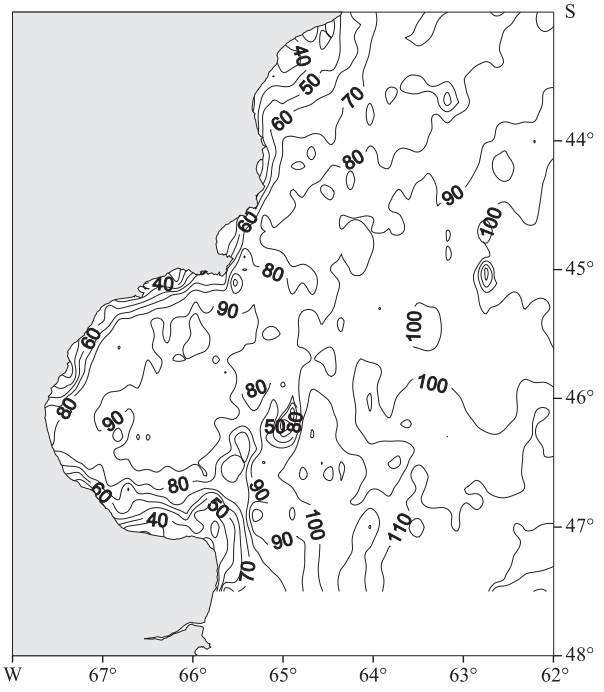

Figura 2. Batimetros del Golfo San Jorge y aguas adyacentes a partir de los datos de profundidad de las campañas de investigación.

Figure 2. Bathymeters of the San Jorge Gulf and adjacent waters based on depth data of research cruises.

Distribución horizontal de la temperatura y la salinidad de superficie

Las isotermas del campo superficial presentan una distribución similar para todos los años del período analizado. Los valores de temperatura superficial varían entre 12 °C y 18 °C situados al sur y al norte del área, respectivamente (Figura 3). Sobre la base del comportamiento de las isotermas se nota una distribución diferencial entre dos áreas: una que corresponde a la ZGSJ, separada por una línea imaginaria que une ambos extremos de la boca del golfo, y la otra correspondiente a la ZP. En esta última las isotermas siguen un patrón latitudinal, disminuyendo su valor conforme aumenta la latitud; en la zona sur aparece la influencia de las aguas costeras magallánicas, con menor temperatura.

Los gradientes térmicos más notorios como son los registrados en el área sur, ponen en evidencia la existencia de una zona frontal, como consecuencia de la advección de agua desde la costa patagónica sur con temperaturas mínimas del orden de los 12,0 °C y máximas alrededor de 14,5 °C. Estos gradientes térmicos se corresponden con los gradientes de salinidad, indicando la presencia del frente termohalino que delimita masas de aguas con características distintivas. Esta zona frontal fue descripta como un frente

termohalino con aportes de aguas del Estrecho de Magallanes (Krepper y Rivas, 1979; Carreto *et al*., 1985).

La ZGSJ se presenta térmicamente más homogénea con una TS entre 14,0 y 16,0 °C, correspondiendo las más bajas temperaturas a la región sur.

Los valores de salinidad determinados en la región varían entre 33,1 y 33,8 ups, correspondiendo los valores mínimos a las zonas sur tanto de la ZGSJ como de la ZP (Figura 3). Por el contrario, los máximos se hallan ubicados en la zona central y norte de la ZGSJ y en la región norte de la ZP. En el extremo sur de la ZGSJ, estas variaciones se acentúan debido al ingreso de una lengua de baja temperatura y baja salinidad con valores entre 33,1 y 33,4 ups que penetra pegada a la costa sur en dirección NNE, condicionada entre otros factores, por la batimetría de la zona (ver Figura 2). Este relieve topográfico influye en la libre penetración de estas aguas, sobre todo en las capas profundas dentro de la ZGSJ. Es posible seguir el núcleo de baja salinidad de esta lengua y ver que se separa de la costa conforme disminuye la latitud. En su deriva hacia el NNE estas aguas han sido denominadas por otros autores como aguas de la Corriente Patagónica (Brandhorst y Castello, 1971).

Dado que el aporte continental a estas latitudes es escaso, ya que no existen ríos que desemboquen en la línea de costa, las variaciones de salinidad en la región son causadas además por el balance entre evaporación y precipitación. La región continental lindera posee un clima árido desértico con precipitaciones escasas a lo largo de todo el año (228,3 mm año^{-1}). Sobre la región oceánica

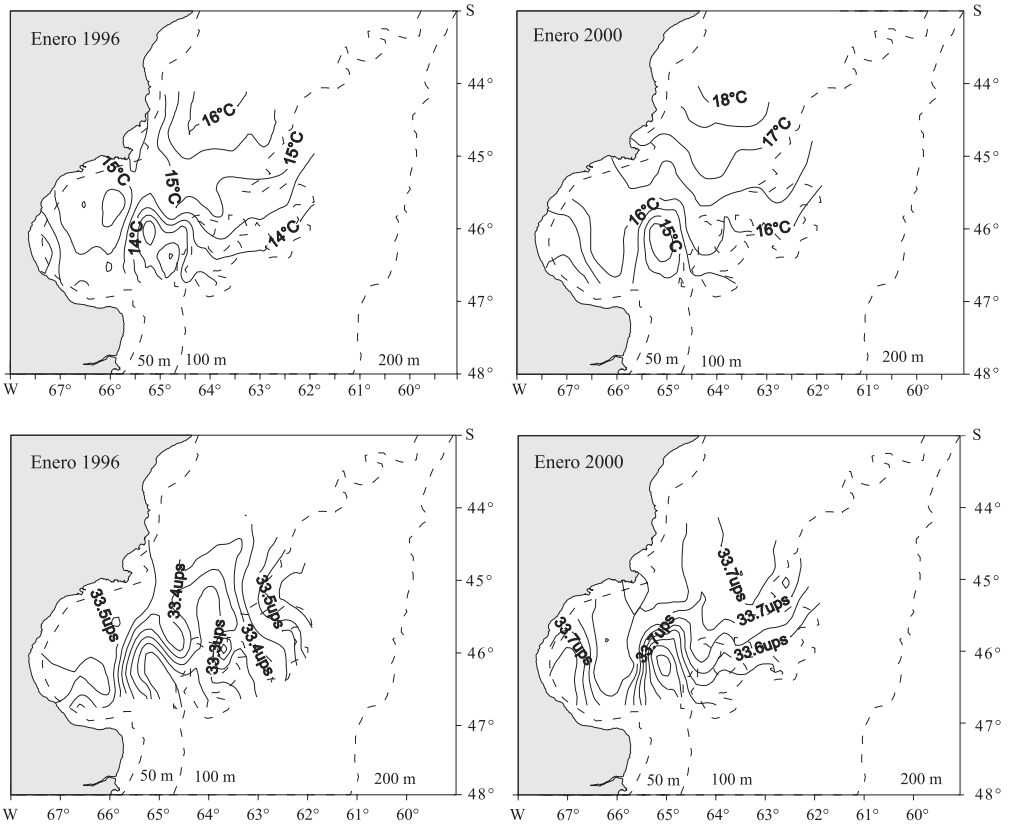

Figura 3. Isotermas e isohalinas de superficie estimadas para 1996 y 2000.
Figure 3. Surface isotherms and isohalines estimated for 1996 and 2000.

las precipitaciones son también escasas y aumentan según el alejamiento de la costa.

Las precipitaciones promedio para los meses de enero del período 1995-2001 son del orden de 1,47 cm mes^{-1}, mientras que los valores promedio históricos de evaporación oscilan para el mismo mes entre 5,0 y 7,5 cm mes^{-1}. Por lo tanto existe un exceso de evaporación sobre precipitación de aproximadamente 3,5-6,0 cm mes^{-1}.

Distribución horizontal de la temperatura y la salinidad de fondo

El rango de temperatura de fondo varía entre 6,5 °C y 13,5 °C (Figura 4). Existe un núcleo de mínima temperatura situado en el centro de la hoya de la ZGSJ mientras que un segundo núcleo corresponde a la ZP, con valores levemente inferiores a los anteriores. Por otro lado, las mayores temperaturas se presentaron tanto al norte (Bahía Camarones) como al sur del Golfo San Jorge (Cabo Tres Puntas).

El aumento de temperatura de fondo en la zona norte es debido a la transferencia de calor desde la capa superficial a la de fondo provocada por la mezcla vertical inducida por forzantes externos (viento y marea), y que se limitan solamente a la franja netamente costera del área (Figura 5, sección 6). Existe un frente térmico de fondo recurrente en todos los años analizados, con disminución de temperatura desde la costa hacia la ZP con gradientes que oscilan entre 0,03 y 0,045 °C km^{-1}. Dicho frente se extiende en la zona costera hasta unos 100 km de distancia de la costa.

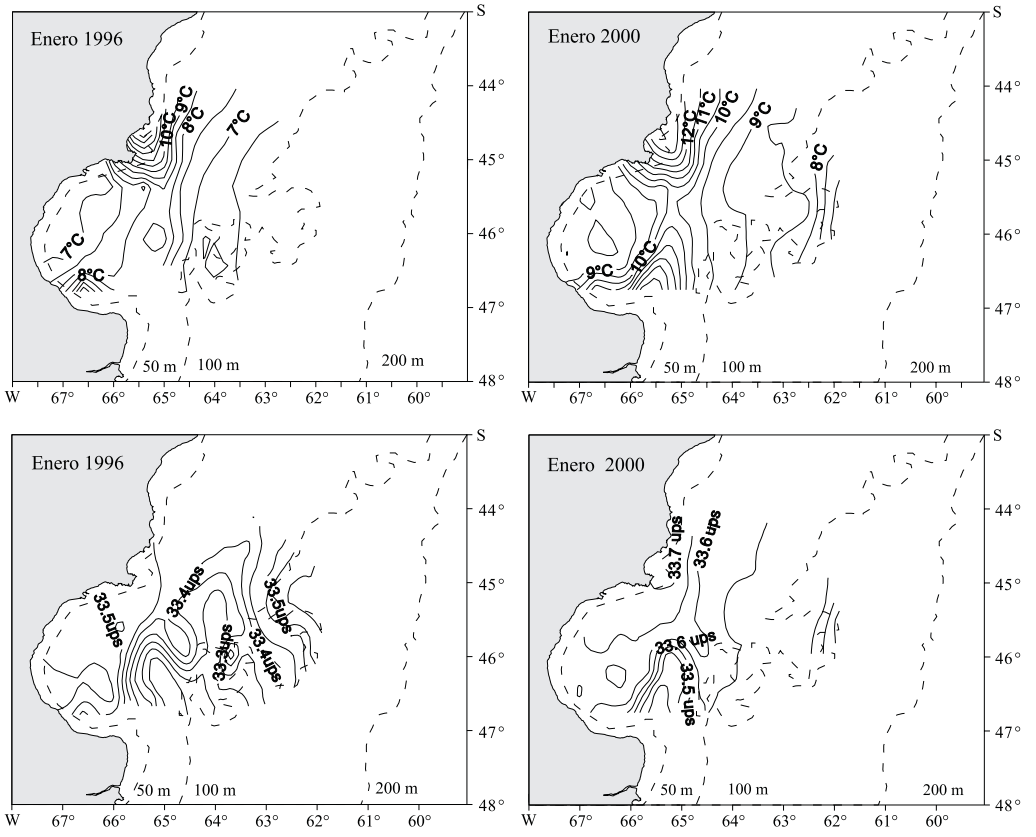

Figura 4. Isotermas e isohalinas de fondo estimadas para 1996 y 2000.
Figure 4. Bottom isotherms and isohalines estimated for 1996 and 2000.

En el extremo sur de la boca del Golfo San Jorge la alta temperatura de fondo también es producto del calentamiento superficial pero la forma que toman las isotermas se ve acentuada por efectos de la baja profundidad. En ese sentido, la batimetría de la región (Figura 2), muestra claramente la menor profundidad en proximidades de la zona del umbral cuya máxima elevación alcanza los 48-50 m. La intersección de las isotermas con el fondo en la región costera en el sur del Golfo San Jorge se observa en la Figura 5, sección 2. Asimismo, estos gradientes térmicos son acompañados por gradientes en salinidad.

La distribución de isohalinas de fondo es similar a la de superficie, mostrando la lengua de baja salinidad en dirección noreste (Figura 4).

Estructura vertical térmica y salina

Las Figuras 5 y 6 muestran los perfiles verticales de secciones que han sido seleccionadas por ser representativas de las condiciones ambientales generales y por mostrar estructuras hidrodinámicas particulares.

La columna de agua puede dividirse en tres zonas en términos de su estructura térmica. La zona superior (capa de mezcla), hasta los 20 ó 30 m de profundidad con temperatura similar a la de superficie; una zona intermedia (termoclina) donde la temperatura desciende rápidamente, ubicada entre los 30-50 m de profundidad, y una zona inferior (capa de fondo) donde los cambios de temperatura son imperceptibles.

La estructura térmica vertical se presenta con ciertas características recurrentes sin variaciones marcadas en los diferentes años.

Es típico encontrar la termoclina ubicada entre 30 y 50 m de profundidad con gradientes verticales más marcados en la ZP (valor máximo = 0,35 °C m^{-1}, sección 8) que en la ZGSJ (valor máximo = 0,20 °C m^{-1}, sección 2). Estos gradientes son atenuados por forzantes externos fundamentalmente en las zonas próximas a la costa, donde el efecto de las mareas produce debilitamiento en la

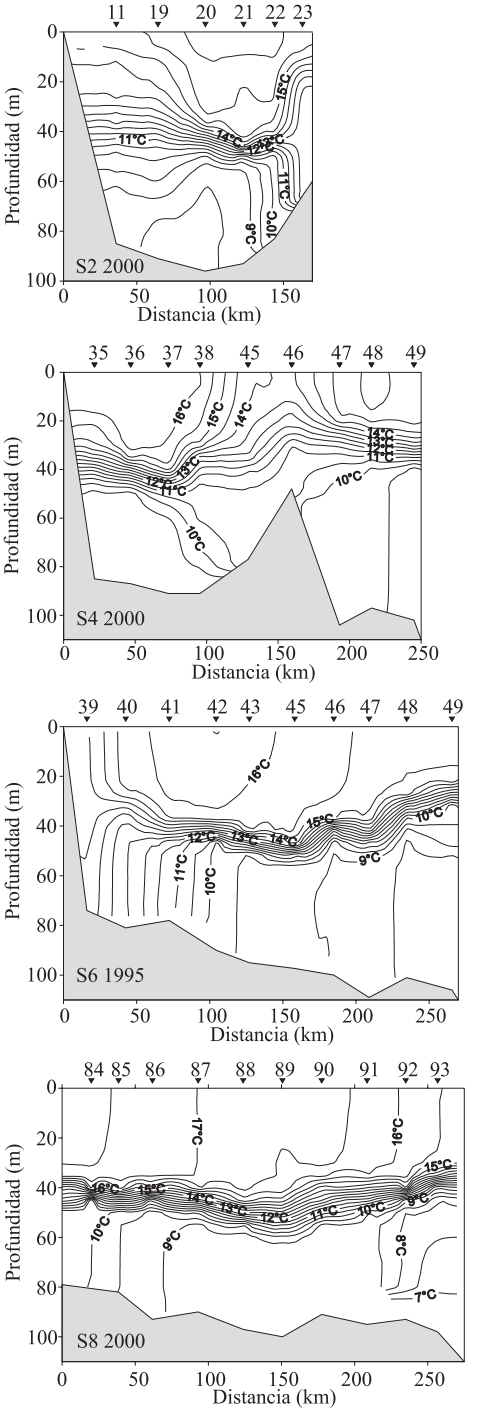

Figura 5. Perfiles de temperatura en las secciones 2, 4 y 8 del año 2000 y la sección 6 del año 1995.

Figure 5. Temperature profiles in transects 2, 4, and 8 of 2000 and transect 6 of 1995.

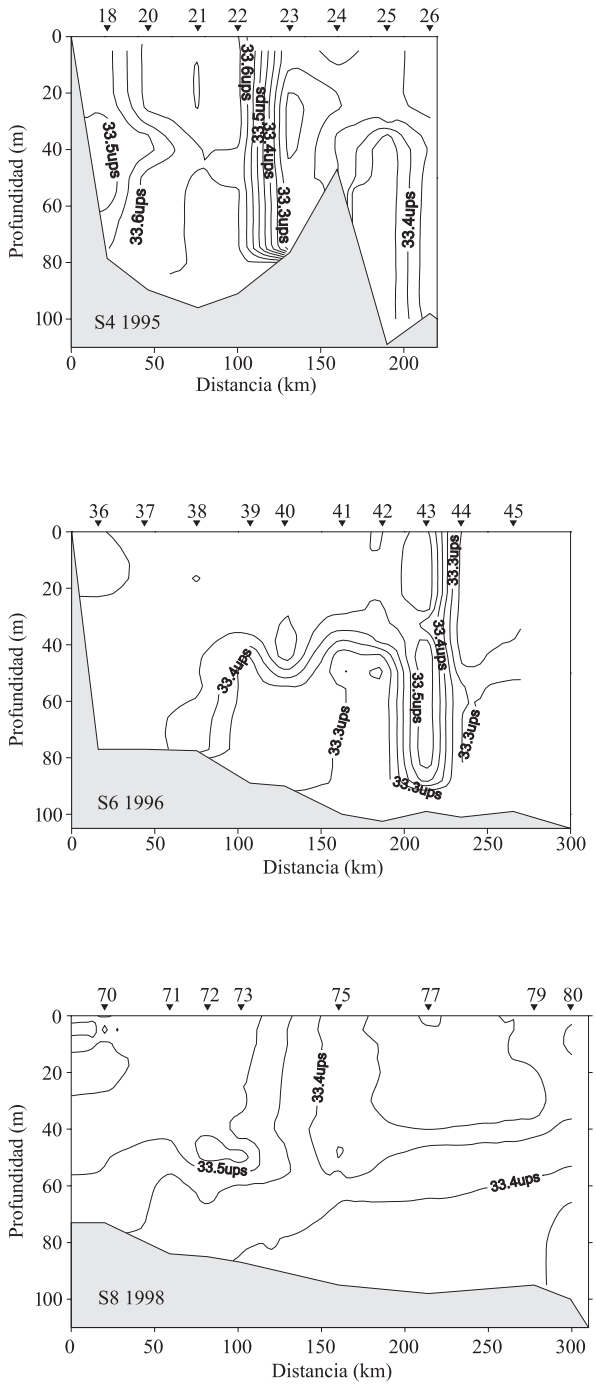

Figura 6. Perfiles de salinidad en las secciones 4, 6 y 8 para 1995, 1996 y 1998.

Figure 6. Salinity profiles in transects 4, 6 and 8 for 1995, 1996 and 1998.

termoclina llegando en algunos casos a su ruptura total y consecuente homogeneización (sección 6).

Es destacable también el efecto que producen ciertos accidentes batimétricos en el comportamiento de la termoclina. Tal es el caso de lo que sucede en la zona oriental del umbral del Golfo San Jorge, cuya máxima manifestación es visible en la sección 4. La presencia del bajo fondo con profundidades del orden de 48-50 m, produce una alteración en la morfología de la termoclina. Dicha alteración se puede distinguir tanto por un debilitamiento de su gradiente como por el cambio de su pendiente, que provoca la intercepción de las isotermas con la superficie y fondo. La manifestación superficial de dichas isotermas pone de manifiesto la existencia de una zona frontal.

El frente salino se ubica al oeste del umbral (Figura 6, sección 4) y es una característica recurrente para todos los años analizados.

No existe estratificación vertical de salinidad muy marcada y los gradientes se dan en sentido horizontal de forma que en las zonas costeras las salinidades son superiores a las encontradas en regiones alejadas de la costa (Figura 6, sección 6 y sección 8).

Variabilidad interanual de la temperatura y la salinidad de superficie

En la Tabla 4 se observan las variaciones de los valores mínimos y máximos de la temperatura de superficie, así como las medias mensuales para cada año. Estas últimas muestran un incremento de más de 1 °C desde 1995 a 2000 (Figura 7), siendo este último el año más cálido.

Aplicando la Prueba de Friedman (excluyendo 1998) se obtiene el estadístico ji-cuadrado:

$$C^2_r = 171{,}86^{**} \; (P < 0{,}00001)$$

el cual determina diferencias altamente significativas entre los años comparados globalmente.

Comparando los años de a pares (Tabla 5) se observan diferencias significativas a partir del año 1997 y también cuando se analizan los años extremos (1995-2000), apoyando estadísticamente la tendencia observada.

Tabla 4. Estadísticos de temperatura de superficie (TS) para la serie 1995-2000

Table 4. Surface temperature statistics (TS) for the 1995-2000 series.

Año	Mín.-Máx. (°C)	Media TS	Desvío estándar	n
1995	12,88-17,98	15,05	1,03	74
1996	12,35-16,38	14,77	0,80	74
1997	11,90-17,66	14,99	1,37	74
1998	12,20-17,12	14,81	0,93	74
1999	13,14-17,68	15,69	1,13	74
2000	13,91-18,49	16,29	0,83	74

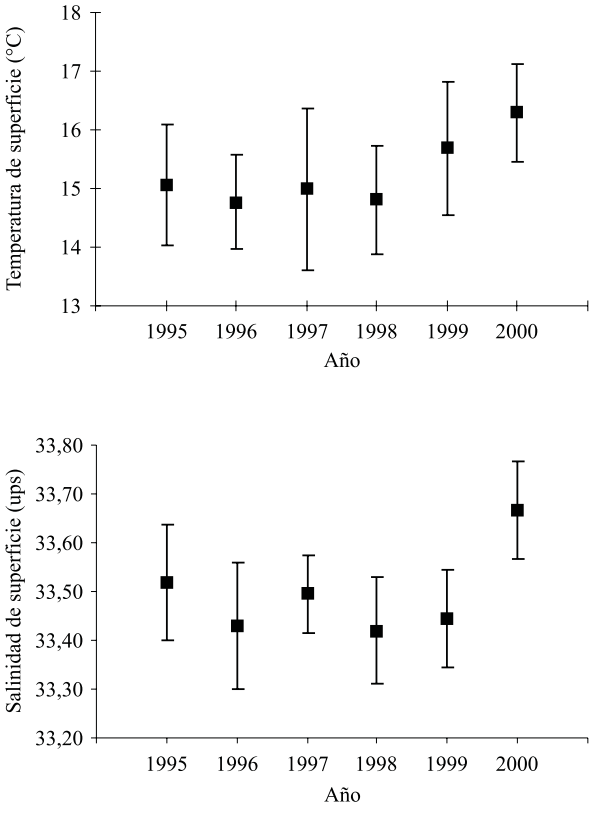

Figura 7. Temperatura y salinidad media de superficie y desvío estándar durante el mes de enero en el área sur de cría.

Figure 7. Mean and standard deviation of surface temperature and salinity during January in the nursery south area.

Tabla 5. Comparación de la temperatura de superficie entre años, tomados de a pares.

Table 5. Pair-wise differences of surface temperature among years.

Años	Prueba de Nemenyi q	
1995-1996	2,21	(n.s.)
1996-1997	1,40	(n.s.)
1997-1999	8,38	**
1999-2000	5,51	**
1995-2000	13,09	**

Tabla 6. Estadísticos de salinidad de superficie (SS) para la serie 1995-2000.

Table 6. Surface salinity statistics (SS) for the 1995-2000 series.

Año	Mín.-Máx. (ups)	Media SS	Desvío estándar	n
1995	33,27-33,76	33,51	0,12	74
1996	33,13-33,72	33,43	0,13	74
1997	33,23-33,67	33,49	0,08	74
1998	33,22-33,66	33,42	0,11	74
1999	32,85-33,79	33,44	0,10	74
2000	33,35-33,89	33,67	0,10	74

En la Tabla 6 se observa una tendencia al aumento de la salinidad en el año 2000. La Figura 7 muestra los valores promedios para la salinidad de superficie durante el período analizado.

Aplicando la Prueba de Friedman para la salinidad de superficie (excluyendo 1998) se obtiene el estadístico ji-cuadrado:

$$C^2_r = 139{,}8703^{**} \; (P < 0{,}00001)$$

el cual determina diferencias altamente significativas entre los años analizados en forma global.

En la comparación de a pares (Tabla 7) la diferencia entre la salinidad de superficie fue significativa excepto en 1997-1999.

Tabla 7. Comparación de la salinidad de superficie entre años, tomados de a pares.
Table 7. Pair-wise differences of surface salinity among years.

Años	Prueba de Nemenyi q	
1995-1996	6,47	**
1996-1997	5,00	**
1997-1999	2,28	(n.s.)
1999-2000	12,87	**
1995-2000	9,12	**

Variabilidad interanual de la temperatura y la salinidad de fondo

En la Figura 8 se observa un registro muy bajo en 1996 y una tendencia creciente en la temperatura de fondo media desde 1997, alcanzando en el año 2000 el valor más elevado, y además la mayor amplitud térmica (Tabla 8).

Tabla 8. Estadísticos de temperatura de fondo (TF) para la serie 1995-2000.
Table 8. Bottom temperature statistics (TF) for the 1995-2000 series.

Año	Mín.-Máx. (°C)	Media TF	Desvío estándar	n
1995	7,18-13,38	8,73	1,20	74
1996	6,18-12,80	7,30	1,24	74
1997	6,64-13,26	8,29	1,48	74
1998	6,69-12,95	8,39	1,21	74
1999	7,29-13,45	9,01	1,39	74
2000	6,77-13,62	9,26	1,19	74

Aplicando la Prueba de Friedman se obtiene el estadístico ji-cuadrado:

$$c_r^2 = 224{,}0649^{**} \quad (P<0{,}00001)$$

el cual determina diferencias altamente significativas entre los años analizados en forma global.

En la comparación de a pares (Tabla 9) la diferencia entre las TF fue significativa excepto en 1999-2000.

La salinidad de fondo (Figura 8) muestra un comportamiento similar a la de superficie, con un aumento muy marcado en el año 2000.

Aplicando la Prueba de Friedman se obtiene el estadístico ji-cuadrado:

$$c_r^2 = 127{,}4510^{**} \quad (P<0{,}00001)$$

el cual determina diferencias altamente significativas entre los años analizados en forma global.

La Tabla 10 permite ver los rangos máximos y mínimos, existiendo diferencias significativas en todos los años excepto entre 1996 y 1997 (Tabla 11).

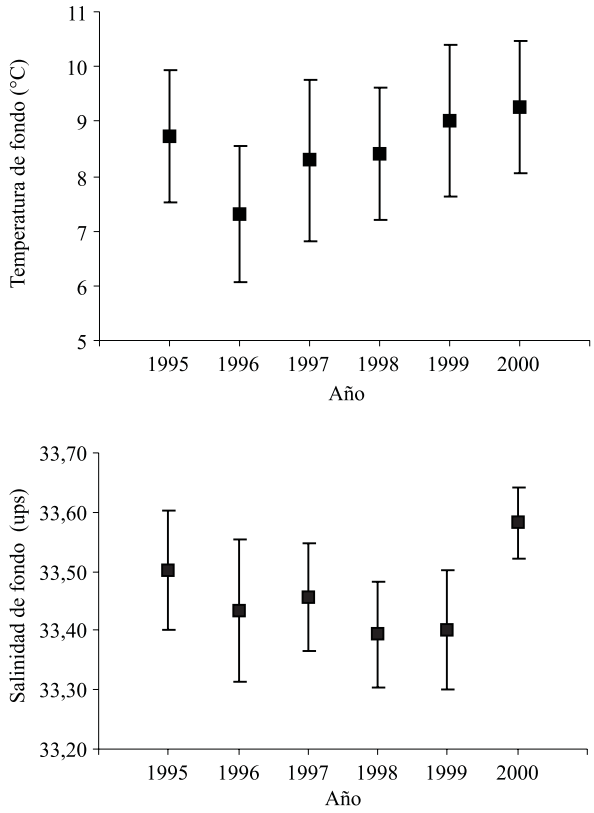

Figura 8. Temperatura y salinidad media de fondo y desvío estándar durante el mes de enero en el área sur de cría.
Figure 8. Mean and standard deviation of bottom temperature and salinity during January in the nursery south area.

Tabla 9. Comparación de la temperatura de fondo entre años, tomados de a pares.
Table 9. Pair-wise differences of bottom temperature among years.

Años	Prueba de Nemenyi q	
1995-1996	12,50	**
1996-1997	6,91	**
1997-1999	8,90	**
1999-2000	3,01	(n.s.)
1995-2000	6,32	**

Tabla 10. Estadísticos de salinidad de fondo (SF) para la serie 1995-2000.
Table 10. Bottom salinity statistics (SF) for the 1995-2000 series.

Año	Mín.-Máx. (ups)	Media SF	Desvío estándar	n
1995	33,25-33,65	33,50	0,10	74
1996	33,17-33,70	33,43	0,12	74
1997	33,28-33,66	33,45	0,09	74
1998	33,17-33,52	33,39	0,09	74
1999	33,16-33,61	33,40	0,10	74
2000	33,40-33,72	33,58	0,06	74

Tabla 11. Comparación de la salinidad de fondo entre años, tomados de a pares.
Table 11. Pair-wise differences of bottom salinity among years.

Años	Prueba de Nemenyi q	
1995-1996	5,15	**
1996-1997	1,65	(n.s.)
1997-1999	4,08	*
1999-2000	14,56	**
1995-2000	6,98	**

Relaciones entre la temperatura de superficie y la capa de mezcla y entre la temperatura de fondo y la capa de fondo

A los efectos de realizar un aporte desde el punto de vista de la oceanografía pesquera operativa, se realizó un análisis de regresión de las relaciones entre la temperatura de superficie y la capa de mezcla, como así también entre la temperatura de fondo y la capa de fondo. Los ajustes a las rectas de regresión (Figura 9) permiten considerar que tanto la temperatura de superficie como la de fondo son equivalentes a los valores de la capa de superficie y de la capa de fondo respectivamente. En la Figura 9 A se muestra la regresión lineal entre la temperatura de superficie (n = 74) y el promedio de la temperatura de la capa de superficie (0-20 m) (n = 1.206 promedio por año). En la Figura 9 B se muestra la regresión lineal entre la temperatura de fondo (n = 74) y el promedio de la temperatura de la capa de fondo a partir de los 60 m (n = 1.846 promedio por año). Nótese la robustez de los estadísticos de las capas de mezcla y de fondo al utilizar números de observaciones elevados.

DISCUSIÓN

En el área de cría de la merluza del efectivo patagónico, los cambios en el campo térmico y salino se explicarían por variaciones locales y advectivas. Las variaciones locales de la temperatura de superficie están en relación con el flujo neto de calor entre la interfase mar-atmósfera, mientras que las variaciones advectivas se refieren al aporte horizontal por las corrientes marinas. Estas últimas causas de la variación de la temperatura son más fáciles de registrar a partir de las muestras analizadas en el presente estudio, ya que se puede evaluar la mayor o menor intensidad del aporte de las aguas de la Corriente Patagónica desde el sur hacia el norte. Así, podemos observar que en el año 2000, catalogado como un año cálido, esta corriente ejerció poca influencia.

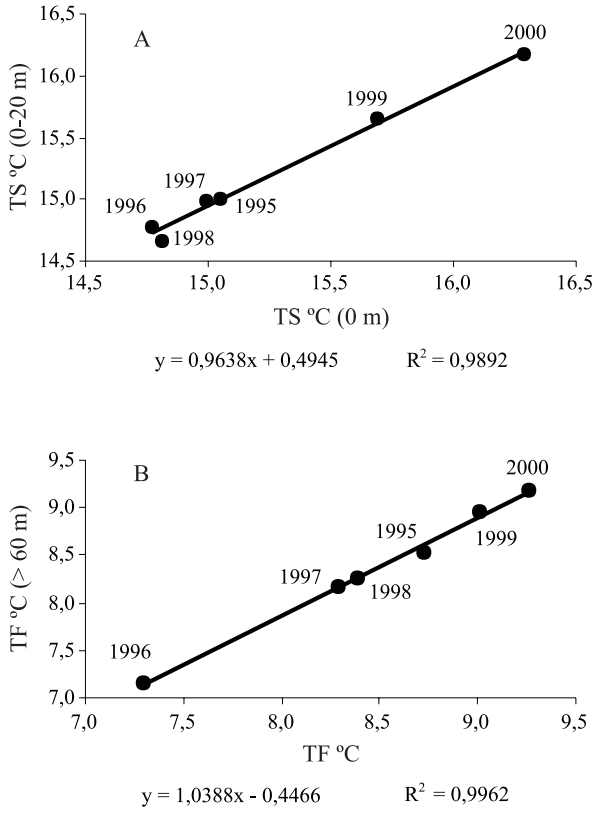

Figura 9. A) Regresión lineal entre la temperatura de superficie (TS, n = 74) y el promedio de la temperatura de la capa de superficie hasta los 20 m (n = 1.206 promedio por año). B) Regresión lineal entre la temperatura de fondo (TF, n = 74) y el promedio de la temperatura de la capa de fondo a partir de los 60 m (n = 1.846 promedio por año).

Figure 9. A) Linear regression between surface temperature (TS, n = 74) and mean surface layer temperature up to 20 m (n = 1,206 average per year). B) Linear regression between bottom temperature (TF, n = 74) and mean bottom layer temperature as of 60 m (n = 1,846 average per year).

Asimismo, las variaciones de salinidad se deben a los procesos del balance de precipitación-evaporación, como al aporte horizontal de las corrientes marinas. El exceso de evaporación estimada en este trabajo, coincide con lo obtenido por otros autores para esta región de la plataforma (Scasso y Piola, 1988). Este exceso del orden de 3,5-6,0 cm mes^{-1}, tendería a aumentar la salinidad del área. Sin embargo, este aumento de la cantidad de sal en superficie se ve balanceado por la difusión de agua de baja salinidad que se incorpora a la región por el sector sur.

Un análisis más detallado del balance precipitación-evaporación así como de la variabilidad del campo de vientos y su influencia en los procesos advectivos de la capa Ekman, deben ser tenidos en cuenta para una explicación más acabada de las variaciones encontradas en la temperatura y la salinidad del área.

La observación de las variaciones en series de tiempo más prolongadas permiten evaluar la ventana temporal en la que nuestros resultados se encuadran. En la Figura 10 se muestran las anomalías térmicas de superficie promedios para el mes de enero a través de dos décadas, en la ZGSJ y en la ZP. Los años 1983, 1986, 1991, 1994 y 2000 se caracterizaron por ser años relativamente cálidos, destacándose 1983 y 2000 como los años más cálidos del período con valores de anomalías superiores a 1,0 °C. Por el contrario, los más fríos, 1988, 1993 y 1998, se presentaron como años de mínimos relativos (-0,4 °C).

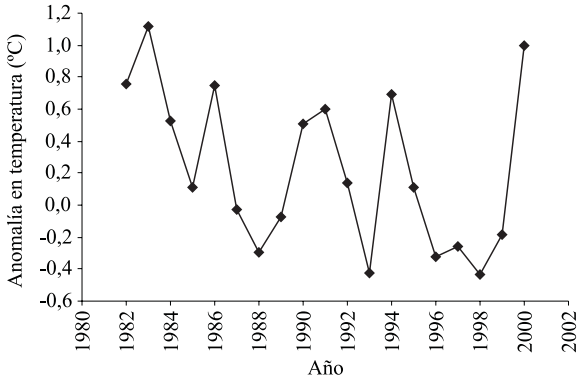

Figura 10. Anomalías de temperatura de superficie para el mes de enero en el área de cría. Fuente: Base de datos de Reynolds *et al*. (2002) para el período 1982-2000.

Figure 10. Surface temperature anomalies during January in the nursery area. Source: Reynolds et al. (2002): data base for the 1982-2000 period.

Las variaciones de la temperatura en el Atlántico Sudoccidental han sido estudiadas por algunos autores. White y Peterson (1996) señalan la influencia que ejerce en la regulación del clima la Corrien-

te Circumpolar Antártica. Las anomalías interanuales de la temperatura de superficie (como así también la presión atmosférica, los vientos y la extensión de hielo marino) son propagadas por dicha corriente hacia el Este dentro del Océano Antártico con desprendimiento hacia el Norte a través de las grandes cuencas oceánicas (atlántica, pacífica e índica). Este sistema de anomalías acopladas mar-atmósfera, que se presenta con un ciclo de cuatro a cinco años, se denomina Onda Circumpolar Antártica (ACW, *Antarctic Circumpolar Wave*) (White y Peterson, 1996). Los eventos fríos registrados en el área de estudio concordarían con el ciclo de la ACW durante el período 1988-1998, mientras que la frecuencia de los eventos cálidos sería de tres a seis años. La iniciación de la ACW está probablemente asociada con la actividad de El Niño-Oscilación Sur en el Pacífico ecuatorial, posibilitada a través de una teleconexión atmosférica con las latitudes más altas. Asimismo, Lentini *et al.* (2001) asocian movimientos advectivos de anomalías térmicas (hacia el norte y hacia el sur sobre la plataforma continental entre 42° S y 22° S) con eventos de variabilidad climática natural en escalas temporales largas, especialmente los relacionados con el fenómeno de El Niño-Oscilación Sur.

Luego de considerar las variaciones en el campo de temperatura de superficie es interesante analizar la columna de agua, donde se encontró sistemáticamente, a lo largo de seis años, una termoclina a partir de una profundidad de 30 m y hasta aproximadamente los 50 m. Las termoclinas observadas en la zona de plataforma presentan mayor gradiente de temperatura, manteniéndose en la misma profundidad. La termoclina se debilita o desaparece en aquellas estaciones más costeras, como las efectuadas en Bahía Camarones (sección 6), o las condicionadas por la batimetría, como es el caso del umbral observado en el extremo sur del Golfo San Jorge (sección 4). Este debilitamiento costero también fue observado por Akselman (1996) durante el mes de enero de 1984.

La baja profundidad en la zona de Fondo Mazarredo introduce también modificaciones en la estructura de la termoclina, ya que la fricción de fondo producida por las mareas genera mezcla de la columna de agua hasta la homogeneización total en algunos casos.

El análisis de regresión que relaciona la temperatura de superficie con la temperatura de la capa de mezcla permite usar indistintamente para el mes de enero en esa área, tanto el valor de superficie como el de cualquier otra profundidad hasta los 20 m. Lo mismo sucede para la temperatura de fondo y la capa de fondo a partir de los 60 m (Figura 9). Estas relaciones son sumamente útiles desde el punto de vista de los estudios biológicos, ya que contando con sólo dos datos (temperatura de superficie y de fondo) se puede conocer la temperatura de gran parte de la columna de agua, no así la profundidad de la termoclina.

Los gradientes térmicos y salinos en el área sur definen una zona frontal, como consecuencia de la advección de agua desde la costa patagónica sur. En el área norte de la boca del Golfo San Jorge y en Bahía Camarones se observa un gradiente térmico más marcado en el fondo: frente costero. Este frente costero se corresponde con los frentes observados a lo largo del litoral patagónico por Glorioso (1987), Bakun y Parrish (1991) y Martos (2000). Según Glorioso y Flather (1995), se desarrollan frentes en ambos extremos del golfo, y a lo largo de toda la costa entre 50° S y la Isla de los Estados, así como alrededor de las Islas Malvinas.

En una revisión sobre las características físicas y biológicas de los frentes, Owen (1981) afirma que éstos pueden afectar mecánicamente la concentración local de los organismos, inducir y sostener mayor producción, servir como refugios reproductivos y modificar los patrones de movimientos de los peces, entre otras propiedades. Con respecto a la pesquería de merluza y en relación con los frentes del área del presente estudio, Ciechomski y Weiss (1974) y Ehrlich (1998) hallaron importantes desoves estivales en Bahía Camarones y al norte y al sur de la boca del Golfo San Jorge. Asimismo,

Pérez Comas (1990) encontró altas concentraciones de juveniles en las mismas áreas en todas las épocas del año. Santos *et al*. (2001), utilizando las mismas campañas que se analizan en este trabajo, encontraron los rendimientos más altos de juveniles en dichas áreas.

El análisis de los procesos que ocurren en estos frentes requiere un estudio más completo, incorporando variables físicas y biológicas. En el mismo sentido, estudios sistemáticos en el tiempo son indispensables para la comprensión global de las variaciones interanuales de temperatura y salinidad y sus anomalías.

AGRADECIMIENTOS

A los colegas científico-técnicos participantes de las campañas de evaluación de juveniles de merluza. Un agradecimiento especial al Lic. M. Pérez, responsable del Proyecto Merluza, quien nos propuso el estudio del área de cría.

BIBLIOGRAFÍA

AKSELMAN, R. 1996. Estudios ecológicos en el Golfo San Jorge y adyacencias (Atlántico Sudoccidental). Distribución, abundancia y variación estacional del fitoplancton en relación a factores físico-químicos y la dinámica hidrológica. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 234 pp.

BAKUN, A. & PARRISH, R.H. 1991. Comparative studies of coastal pelagic fish reproductive habitats: the anchovy (*Engraulis anchoita*) of the southwestern Atlantic. J. Mar. Sci., 48: 343-361.

BALDONI, A. 1990. Renovación del agua de fondo del Golfo San Jorge. Seminario de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Buenos Aires, 24 pp.

BEZZI, S., IRUSTA, G., PÉREZ, M. & RENZI, M. 1997. Sobre la unidad de la población de la merluza. Inf. Téc. Int. DNI-INIDEP Nº 26/97, 12 pp.

BRANDHORST, W. & CASTELLO, J. P. 1971. Evaluación de los recursos de anchoíta (*Engraulis anchoita*) frente a la Argentina y Uruguay. Parte I. Las condiciones oceanográficas, sinopsis del conocimiento actual sobre la anchoíta y el plan para su evaluación. Proy. Des. FAO, Buenos Aires, Publicación N° 29, 63 pp.

CARRETO, J.I., BENAVIDES, H.R., NEGRI, R.M. & AKSELMAN, R. 1985. Toxic dinoflagellate blooms in the Argentine Sea. En: ANDERSON, D.M., WHITE, A.W. & BADEN, D.G. (Eds.). Toxic Dinoflagellates. Elsevier, New York: 174-182.

CIECHOMSKI, J., CASSIA, M.C. & WEISS, G. 1975. Distribución de huevos, larvas y juveniles de peces en los sectores surbonaerenses, patagónico y fueguino del Mar Epicontinental Argentino, en relación con las condiciones ambientales, en noviembre 1973-enero 1974. Ecosur, 2 (4): 219-248.

CIECHOMSKI, J.D. & WEISS, G. 1974. Distribución de huevos y larvas de merluza (*Merluccius hubbsi*), en las aguas de la plataforma de la Argentina y Uruguay en relación con la anchoíta (*Engraulis anchoita*) y las condiciones ambientales. Physis (A) 33 (86): 185-198.

EHRLICH, M. D. 1998. Los primeros estadíos de vida de la merluza *Merluccius hubbsi* Marini, 1933 en el Mar Argentino como aporte al conocimiento de su reclutamiento y estructura poblacional. Tesis de Doctorado, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 318 pp.

EHRLICH, M. & CIECHOMSKI, J. 1994. Reseña sobre la distribución de huevos y larvas de merluza (*Merluccius hubbsi*) basada en veinte años de investigaciones. Frente Marít, 15 (A): 37-50.

GOLDEN SOFTWARE INC. 1995. Surfer Version 6.01.

GLORIOSO, P.D. 1987. Temperature distribution related to shelf-sea fronts on the patagonian shelf. Cont. Shelf Res., 7 (1): 27-34.

GLORIOSO, P.D & FLATHER, R. A. 1995. A barotropic model of the currents off SE South America. J. Geophys. Res., 100: 13427-13440.

KREPPER, C.M. & RIVAS, A.L. 1979. Análisis de las características oceanográficas de la zona austral de la plataforma continental argentina y aguas adyacentes. Acta Oceanográfica Argentina, 2 (2): 55-82.

LENTINI, C., PODESTÁ, G., CAMPOS, D. & OLSON, D. 2001. Sea surface temperature anomalies on the western south atlantic from 1982 to 1994. Cont. Shelf Res., 21 (1): 89-112.

LINDAU, R. 2001. Climate atlas of the Atlantic Ocean derived from the comprehensive ocean atmosphere data set. (COADS). Springer, Germany, 514 pp.

LUSQUIÑOS, A. & VALDEZ, A. J. 1971. Aportes al conocimiento de las masas de agua del Atlántico Sudoccidental. Serv. Hidrogr. Naval, Buenos Aires, H 659, 48pp.

MARTOS, P. 2000. Características del campo térmico en la plataforma patagónica entre 42° y 45° S. Inf. Téc. Int. DNI-INIDEP N° 27/00, 13 pp.

OTERO, H., GIANGIOBBE, M.S. & RENZI, M. 1986. Aspectos de la estructura poblacional de la merluza común (*Merluccius hubbsi*). II. Distribución de tallas y edades. Estadios sexuales. Variaciones estacionales. Publ. Com. Téc. Mixta Fr. Mar., 1 (1): 147-179.

OWEN, R. W. 1981. Fronts and eddies in the sea: mechanisms, interactions and biological effects. En: LONGHURST, A.R. (Ed.). Analysis of Marine Ecosystems. Academic Press, San Diego: 197-233.

PARKER, G., PATERLINI, M.C. & VIOLANTE, R.A. 1997. El fondo marino. En: BOSCHI, E.E. (Ed.). El Mar Argentino y sus recursos pesqueros. Tomo 1. Antecedentes históricos de las exploraciones en el mar y las características ambientales. Publicaciones Especiales INIDEP, Mar del Plata: 65-87.

PEREZ COMAS, J.A. 1990. Biology and distribution of the argentine hake (*Merluccius hubbsi*): Considerations on its stock structure, migrations and dynamics of its nursery ground at San Jorge Gulf. Master of Science Thesis, University of Washington, 179 pp.

RETA, R. 1986. Aspectos oceanográficos y biológico-pesqueros del Golfo San Jorge. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional del Sur, 133 pp.

REYNOLDS, R.W., RAYNER, N.A., SMITH, T.M., STOKES, D.C. & WANG, W. 2002. An improved in situ and satellite SST analysis for climate. J. Climate, 15: 1609-1625.

SANTOS, B., LOUGE, E., CASTRUCCI, R. & RETA, R. 2001. Patrón de distribución y abundancia de merluza (*Merluccius hubbsi)* del efectivo al sur del 41º S en su área de cría estival, en relación con parámetros oceanográficos. Período 1995-2000. Inf. Téc. Int. DNI-INIDEP Nº 01/01, 16 pp.

SCASSO, L.M. & PIOLA, A.R. 1988. Intercambio neto de agua entre el mar y la atmósfera en el Golfo San Matías. Geoacta, 15 (1): 13-18.

VILLARINO, M.F. & GIUSSI, A. 1992. Distribución geográfica por grupos de edad de la merluza común (*Merluccius hubbsi*) durante 1982 en el Mar Argentino entre los 35º-47º S. Bol. Inst. Esp. Oceanogr., 8 (2): 339-353.

WHITE, B.W. & PETERSON, RG. 1996. An Antarctic circumpolar wave in surface pressure, wind, temperature and sea-ice extent. Nature, 380 (6576): 699-702.

ZAR, H.J. 1996. Biostatistical Analysis. Prentice Hall, New Jersey, 662 pp.

Recibido: 14-02-02
Aceptado: 02-06-03