

**CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS ALREDEDOR DEL ARCHIPIÉLAGO JUAN
FERNÁNDEZ E ISLAS SAN FÉLIX-SAN AMBROSIO***

OCEANOGRAPHIC CONDITIONS AROUND THE ARCHIPELAGO
JUAN FERNÁNDEZ AND SAN FELIX - SAN AMBROSIO ISLANDS

JULIO MORAGA
WILDO ARGANDOÑA

Facultad de Ciencias del Mar,
Universidad Católica del Norte.
Casilla 117. Coquimbo.
E-mail: jmoraga@ucn.cl

Recepción: abril de 2007 – Versión corregida aceptada: julio de 2008.

RESUMEN

Las condiciones oceanográficas alrededor del archipiélago Juan Fernández (33° S, 79° W) e islas San Félix y San Ambrosio (26° S, 81° W) fueron estudiadas en la primavera de 2000 durante el crucero CIMAR 6 Islas Oceánicas. Se analizaron los perfiles de CTD alrededor de las islas y entre los archipiélagos. Se observó una termoclina permanente y una picnoclina asociada entre los 100 y 300 m de profundidad; no se detectaron variaciones de las características oceanográficas relacionadas con la proximidad a las islas y su disminución de profundidad. Las masas de agua observadas correspondieron a Subantártica, Ecuatorial Subsuperficial e Intermedia Antártica, frente a Juan Fernández, y a nivel superficial se distinguió, el Agua Subtropical en las islas San Félix y San Ambrosio. Flujos geostrofos norte-sur de baja magnitud ($<10 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$) y de direcciones opuestas se estimaron en el área de las islas referidos a 1.000 m.

Palabras claves: Oceanografía, Juan Fernández, masas de agua, geostrofia.

ABSTRACT

The oceanographic conditions around the archipelago Juan Fernández (33° S - 79° W) and San Félix and San Ambrosio islands (26° S, 81° W) were studied on spring 2000 during the CIMAR 6 Islas Oceánicas cruise. CTD profiles were analyzed around the islands and between them. A permanent thermocline and associated pycnocline were observed between 100-300 m, and the oceanographic characteristics were not affected by the proximity of islands and decreasing bathymetry. The water masses observed were associated to Subantarctic, Equatorial Subsurface and Antarctic Intermediate water around Juan Fernández and in the surface layer, besides Subtropical water mass was observed close to San Félix and San

* Proyecto CONA-C6I 00-09.

Ambrosio. Geostrophic flows of low magnitude ($<10 \text{ cm s}^{-1}$) and opposite directions were estimated in the islands area relate to 1000 m.

Key words: Oceanography, Juan Fernández, water mass, geostrophy.

INTRODUCCIÓN

Las características oceanográficas del área adyacente al archipiélago Juan Fernández (33° S , 79° W) han sido estudiadas desde 1973 por Robles (1973), Silva & Sievers (1973) y Sievers (1975), cuyos resultados fueron resumidos por Silva (1985), quien describió tres masas de agua hasta los 1.000 m de profundidad, definidas por sus características termosalinas (anomalías termostéricas y densidad) además de su contenido de nutrientes y oxígeno disuelto. Estas masas de agua son las que se encuentran frente al continente en la misma latitud: Agua Subantártica, Agua Ecuatorial Subsuperficial y Agua Intermedia Antártica. Ocasionalmente se ha observado a nivel superficial Agua Subtropical. Neshyba & Silva (1985) señalaron que la temperatura superficial tiene claramente un ciclo anual, propio de latitudes medias, con un rango de temperaturas entre 18° y 13° C , similar a los rangos de Valparaíso; según estos autores, fenómenos como El Niño no se observaron en los datos históricos analizados por ellos. Se carece de un estudio de corrientes tanto por mediciones directas como indirectas.

El sistema de Islas San Félix y San Ambrosio carece de estudios oceanográficos, de modo que el muestreo realizado por el crucero CIMAR 6 Islas Oceánicas, organizado por el Comité Oceanográfico Nacional (CONA), tuvo un carácter exploratorio. Se realizó entre el 26 de septiembre y 2 de noviembre de 2000, con secciones latitudinales entre los puertos de Caldera e islas San Félix y San Ambrosio, Valparaíso y archipiélago Juan Fernández, y estaciones alrededor de las islas.

Por esto, en este trabajo, se describirán las condiciones oceanográficas para las zonas adyacentes a las islas del archipiélago Juan Fer-

nández e islas San Félix y San Ambrosio, señalando diferencias entre ellos a partir de los datos obtenidos durante el tiempo en que se realizó el estudio. Del punto de vista dinámico, se presentarán los resultados de las estimaciones de corrientes mediante el método geostrofico.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio se consideraron sólo las estaciones con CTD próximas a las Islas, porque el objetivo de este estudio estaba centrado en las condiciones oceanográficas alrededor de las islas. Se realizaron 29 estaciones alrededor del archipiélago Juan Fernández (islas Alejandro Selkirk, Robinson Crusoe y Santa Clara), 11 alrededor de las islas San Félix y San Ambrosio (islas Desventuradas), y las estaciones del transecto entre las islas, efectuadas desde el 29 de septiembre y 8 de octubre 2000 (Fig. 1). Solamente 5 estaciones superaron los 1.000 m de profundidad cerca de las islas.

En cada estación oceanográfica se efectuaron lances con un CTD (Seabird 25, con bomba y sensor de oxígeno), adosado a un sistema de roseta con 24 botellas Niskin para la toma de muestras de agua para el análisis de oxígeno disuelto y salinidad para calibrar los sensores del CTD. Los análisis de oxígeno disuelto se realizaron a bordo según metodología de Winkler modificada por Carpenter (1965).

Con la información oceanográfica, se determinaron las masas de agua mediante diagramas T-S, usando como valores de referencia los mencionados por Silva & Konow (1975), y evaluando el porcentaje de

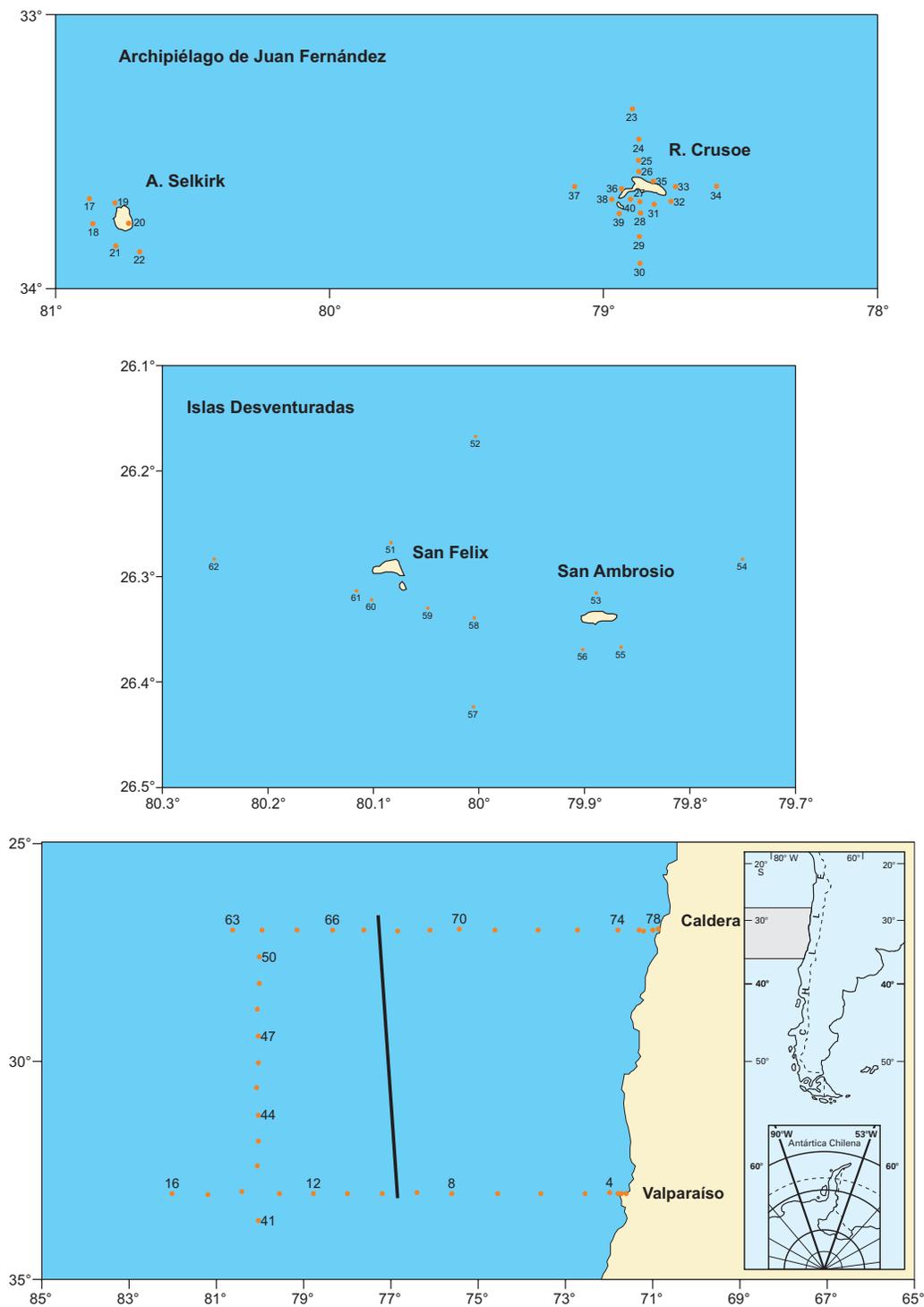


Fig. 1: Área de estudio. Posición de las estaciones hidrográficas. (Tomada de Rojas *et al.*, 2004).

Fig. 1: Study Area. Location of hydrographic stations (Adapted from Rojas *et al.*, 2004).

cada una usando el triángulo de mezcla para los valores de los núcleos de las curvas T-S. Se calcularon las corrientes geostroficadas referidas a 1.000 m entre las estaciones que alcanzaron esa profundidad de lance, y además se incluyeron estaciones cercanas a las islas que forman parte de los cortes oceánicos. Se utilizó la información de altimetría del satélite TOPEX-POSEIDON del ciclo 295, para tener una visión general del área.

RESULTADOS

Condiciones oceanográficas

Isla A. Selkirk:

Las condiciones térmicas observadas mostraron una termoclina permanente entre los 100 y 400 m de profundidad con un cambio de 13,5 a 6,5 °C. En superficie la temperatura es cercana a los 14,5 °C y el mínimo, observado en 1500 m (Est. 17) es de 3,0 °C (Fig. 2a). Este comportamiento térmico fue común para todas las estaciones, de modo que los lances de poca profundidad mostraron parte de la variación vertical descrita.

La salinidad mostró una mayor variabilidad vertical que la temperatura, con un valor de 34,3 en superficie, disminuyendo a 34,1 a los 180 m, valor mínimo observado para encontrar un máximo relativo de 34,4 en 300 m. A mayor profundidad disminuyó a 34,1, y desde los 600 m se incrementó gradualmente hasta alcanzar el mayor valor registrado de 34,6 en 1400 m (Fig. 2 b).

La variación vertical de oxígeno disuelto mostró un mínimo de 2,7 mL L⁻¹ en los 300 m asociado al máximo salino relativo de 34,4. En la capa superficial y a los 600 m se encontraron aguas con una concentración de oxígeno disuelto superior a los 5 mL L⁻¹ (Fig. 2c).

En los diagramas T-S, es posible diferenciar 4 masas de agua, asociadas a las variaciones

salinas. En los 180 m se ubicó un agua de baja salinidad y temperatura (34,1 psu y 12 °C), que correspondería al agua Subantártica (ASAA), bajo la cual se encuentra el Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) con una salinidad de 34,4 psu y 8 °C; un agua que corresponde a el agua Intermedia Antártica (AIAA) (34,3 psu, 5 °C), y con una salinidad de 34,6 psu y <3 °C el agua Profunda del Pacífico (APP), masa de agua no bien limitada verticalmente por el muestreo (Fig. 2d). El valor mínimo de oxígeno disuelto se encontró asociado a la AESS. Al aplicar el triángulo de mezcla de las masas de agua con los valores de Silva & Konow (1975), se encontró que habría un 75% de ASAA, sobre el 50% de AESS, un 65% de AIAA y 75% de APP.

La densidad se vio asociada principalmente a los cambios térmicos, y por esto la picnoclina se ubicó entre los 100 y 300 m con un cambio de 25,8 a 26,8 unid. de sigma potencial (Fig. no incluida).

Isla Robinson Crusoe:

La variación vertical de temperatura mostró la termoclina permanente entre los 100 y 400 m profundidad (Fig. 3a), como se describió en las proximidades de la isla Alejandro Selkirk. En la capa superficial se presentó menor gradiente térmico, sin constituir una capa homotermal.

La distribución vertical de la salinidad (Fig. 3b) presentó variaciones similares a las descritas para Alejandro Selkirk, con el mínimo de 34,1 a 140 m y un máximo de 34,43 a 280 m. El oxígeno disuelto presentó el mínimo más definido de 2 mL L⁻¹ en los 280 m (Fig. 3c) y valores > 5 mL L⁻¹ se registraron en aguas superficiales y en los 600 m

En el diagrama T-S se observaron las mismas masas de agua descritas para la isla Alejandro Selkirk, pero con una salinidad ligeramente superior en AESS (Fig. 3d), y el núcleo a menor profundidad.

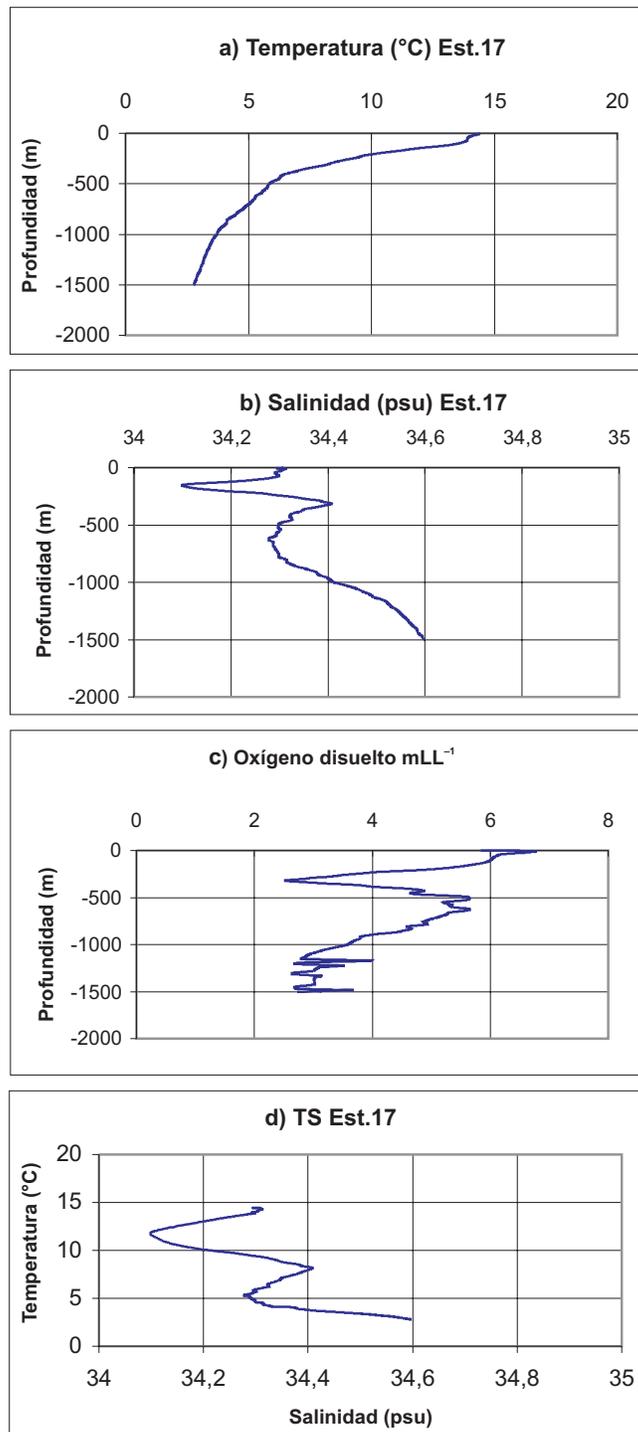


Fig. 2: Perfil vertical de la estación 17 (isla Alejandro Selkirk): a) Temperatura, b) Salinidad, c) Oxígeno disuelto y d) Curva T-S.

Fig. 2: Vertical profile of station 17 (Alejandro Selkirk island): a) Temperature, b) Salinity, c) Dissolved oxygen and d) T-S diagram.

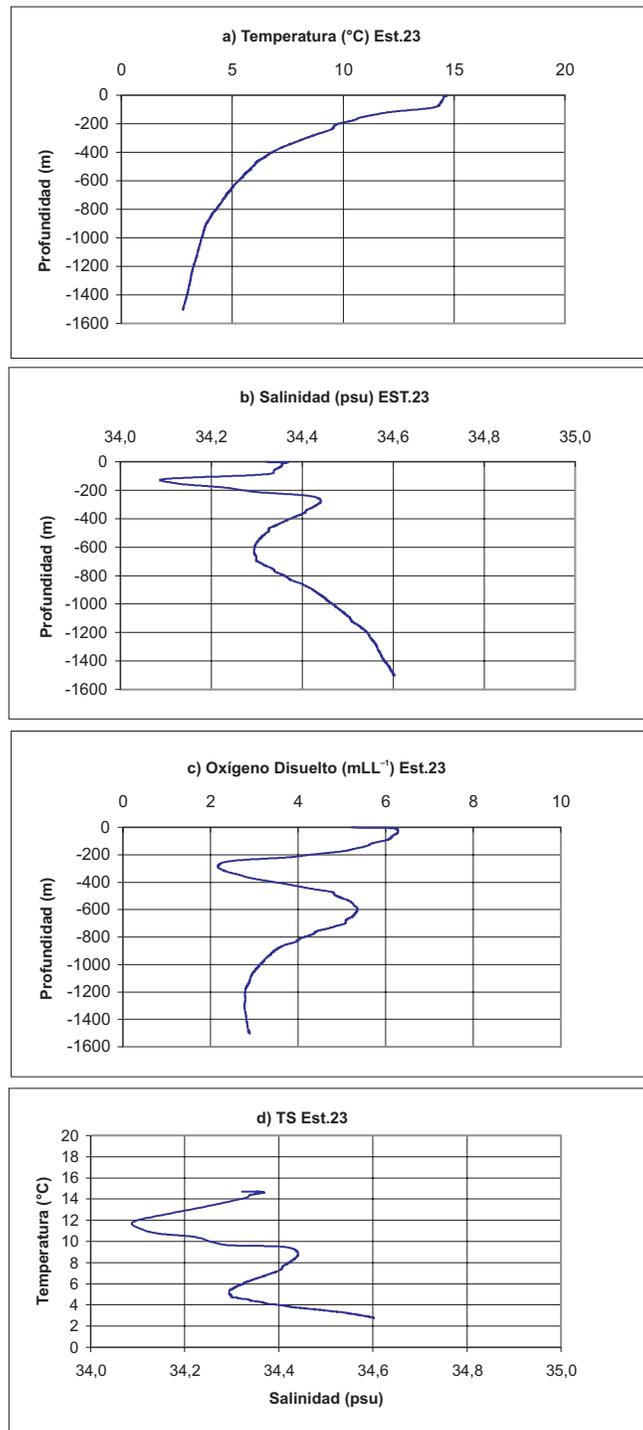


Fig. 3: Perfil vertical de la estación 23 (isla Robinson Crusoe): a) Temperatura, b) Salinidad, c) Oxígeno disuelto y d) Curva T-S.

Fig. 3: Vertical profile of station 23 (Robinson Crusoe island) : a) Temperature, b) Salinity, c) Dissolved oxygen and d) T-S diagram.

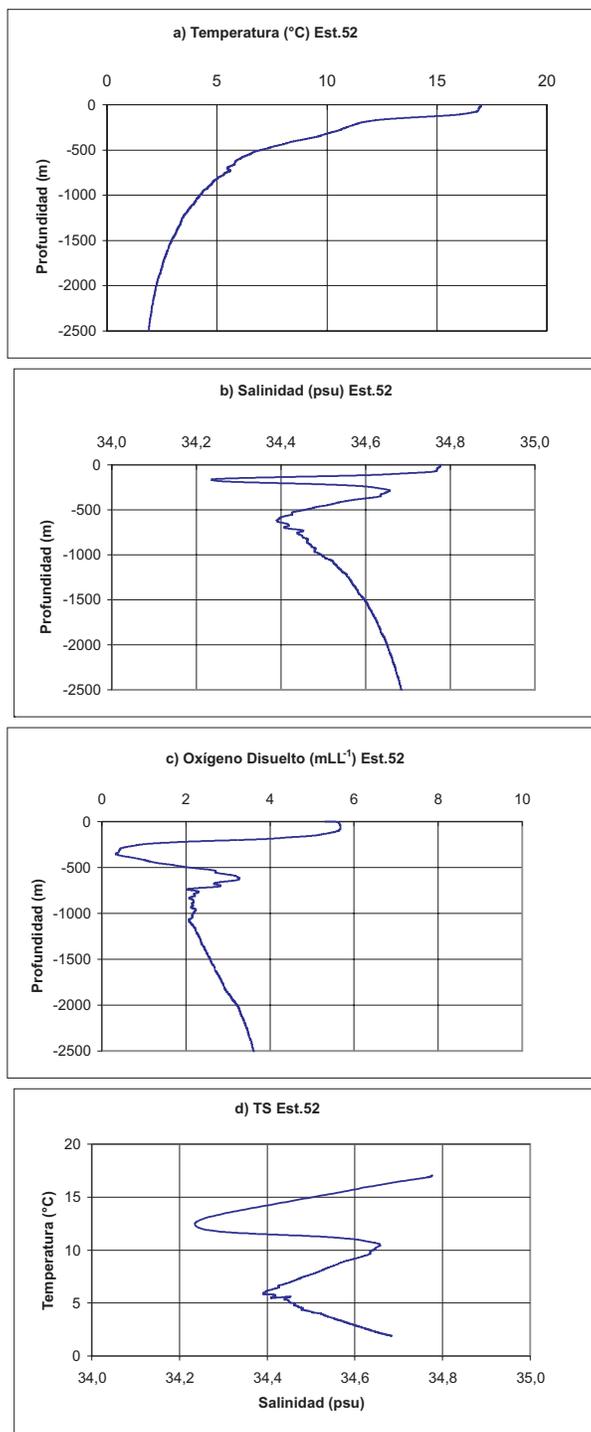


Fig. 4: Perfil vertical de la estación 52 (Islas San Félix - San Ambrosio): a) Temperatura, b) Salinidad, c) Oxígeno disuelto y d) Curva T-S.

Fig. 4: Vertical profile of station 52 (San Félix - San Ambrosio islands): a) Temperature, b) Salinity, c) Dissolved oxygen and d) T-S diagram.

La distribución vertical de densidad mostró una columna de agua estable, con una capa superficial de poca variación, y una piconclina definida entre los 100 y 300 m, con un gradiente de 0,05 unidades de sigma potencial en 10 m.

Islas San Félix y San Ambrosio:

Las aguas alrededor de estas islas ubicadas frente a los 27° S presentaron temperaturas de 17 °C en superficie, una capa de mezcla de unos 80 m, limitada por una termoclina permanente que llegó a los 500 m aproximadamente y con una temperatura de 7 °C a esa profundidad. La termoclina presentó dos pendientes, ligeramente diferentes, con un quiebre en los 200 m; la temperatura de mínima 2 °C se registró en los 2.500 m (Fig. 4a).

Se encontró una salinidad superficial próxima a 34,8, un mínimo de 34,25 entre los 150 a 200 m de profundidad, un máximo subsuperficial de 34,7 en los 250 m, valor que disminuyó a 34,4 en los 600 m, y bajo esa profundidad aumentó nuevamente (Fig. 4b). De igual forma se observó un mínimo de oxígeno <1 mL L⁻¹ en los 300 m, un aumento a 3 mL L⁻¹ en los 600 m y de 2 mL L⁻¹ entre los 700-1.000 m (Fig. 4c).

El análisis de las masas de agua mostró en la capa superficial, aguas más salinas y cálidas (34,8 y 17 °C), que las descritas anteriormente, que corresponden a agua Subtropical (AST), con un 65% según el triángulo de mezcla. De igual forma la ASAA tuvo una salinidad superior a la registrada frente al Archipiélago Juan Fernández, y el agua AESS con una salinidad de 34,5, con un mínimo de oxígeno bien definido < 0,5 mL L⁻¹ entre los 300-400 m; el porcentaje de AESS alcanzó el 80% (Fig. 4d). Estos cambios en las aguas de la capa superficial hacen que la densidad disminuya a 25,4. La piconclina se observó aproximadamente entre los 80 y 270 m (25,4 -26,6 unidades de sigma), y luego disminuye el gradiente

vertical. La columna de agua se presentó estable, debido a la incremento de densidad con la profundidad.

Corrientes geostróficas

Al considerar las estaciones próximas a las islas del corte oceánico, estaciones 10 a 16, en la latitud de los 33° S, se obtuvo un flujo débil al sur de 0,03 ms⁻¹ en el área de Robinson Crusoe y de 0,06 ms⁻¹ en las proximidades de la isla Alejandro Selkirk, usando como referencia 1000 m (Fig. 5). De igual forma, junto a San Félix y San Ambrosio, estaciones 63-67, en los 27° S, apareció un flujo superficial débil al sur donde se ubican las islas, y flujo al norte > 0,06 ms⁻¹ al este de las islas (Fig. 6). Entre ambos archipiélagos, en la longitud 80° W, estaciones 41-50, un flujo al este que alcanzó los 0,01 ms⁻¹ centrado en los 32° S, y flujo al oeste de 0,08 ms⁻¹ en los 31° S; más al norte, con flujos débiles al este y oeste (Fig. 7).

Para tener una visión más general del área, se incluyó la geostrofia obtenida de la altimetría del satélite TOPEX-POSEIDON (ciclo 295). La altimetría mostró flujos con una componente al este en ambos archipiélagos, viniendo del suroeste frente a Juan Fernández y del noroeste en islas San Félix y San Ambrosio (Fig. 8).

DISCUSIÓN

La descripción de las características oceanográficas de las aguas alrededor de las islas se realizó a partir de la estación más profunda, donde se observaban la mayor cantidad de masas de agua presente en el área. Al revisar las estaciones de menor profundidad y más próximas a las islas, se observó que no presentaban diferencias con las características de las aguas al mismo nivel de profundidad que la descrita, lo cual indica la poca o nula influencia de las islas debido a su abrupta topografía. Se observó una piconclina permanente muy marcada, por debajo de la influencia de la ra-

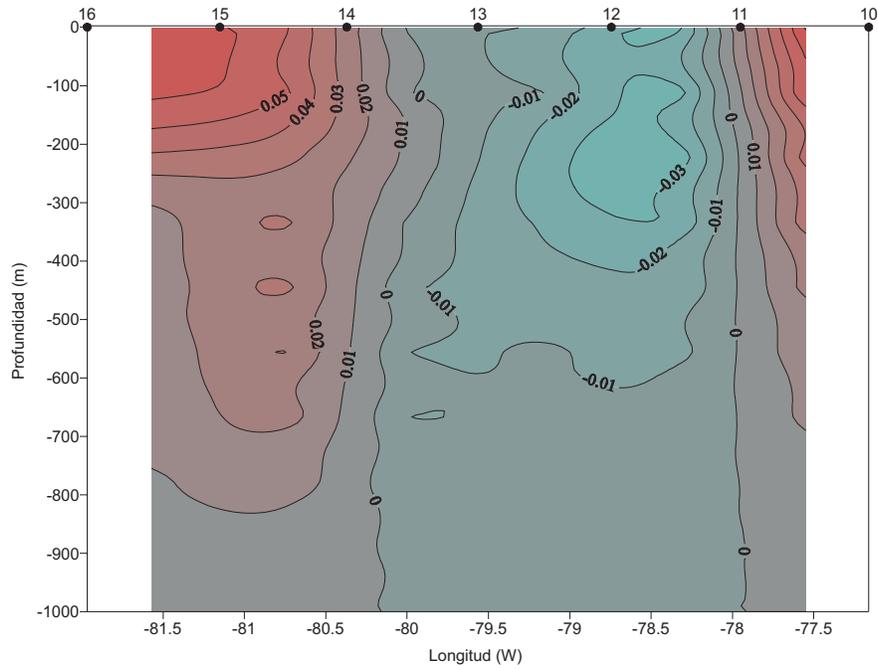


Fig. 5: Corrientes geostróficas en los 33°S en las proximidades del archipiélago Juan Fernández referidas a 1.000 m (ms^{-1}).

Fig. 5: Geostrophic currents at the 33°S near the Juan Fernández archipelago with reference to 1000 m (ms^{-1}).

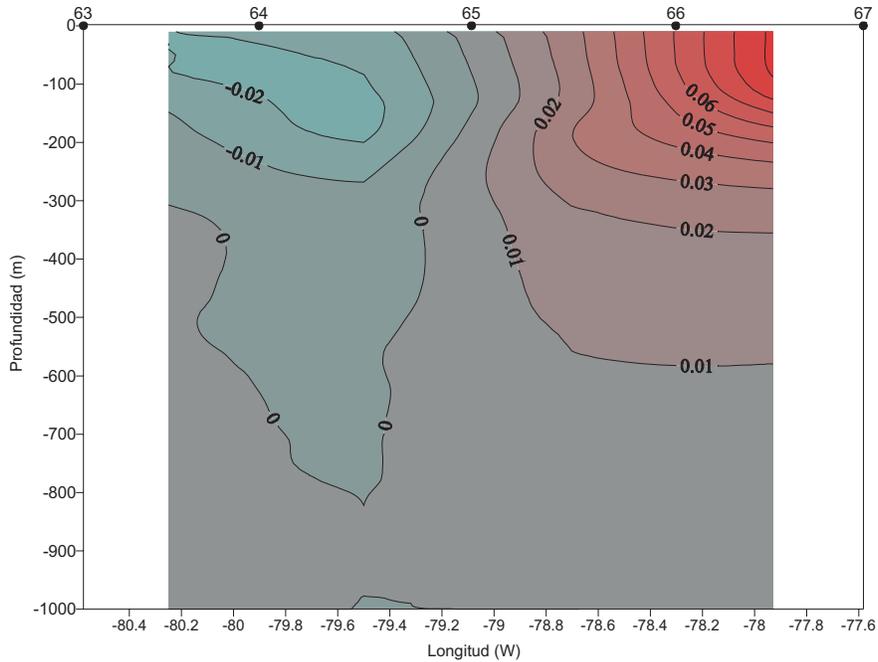


Fig. 6: Corrientes geostróficas en los 27°S en las proximidades de islas San Félix y San Ambrosio referidas a 1.000 m (ms^{-1}).

Fig. 6: Geostrophic currents at the 27°S near San Félix and San Ambrosio islands with reference to 1000 m (ms^{-1}).

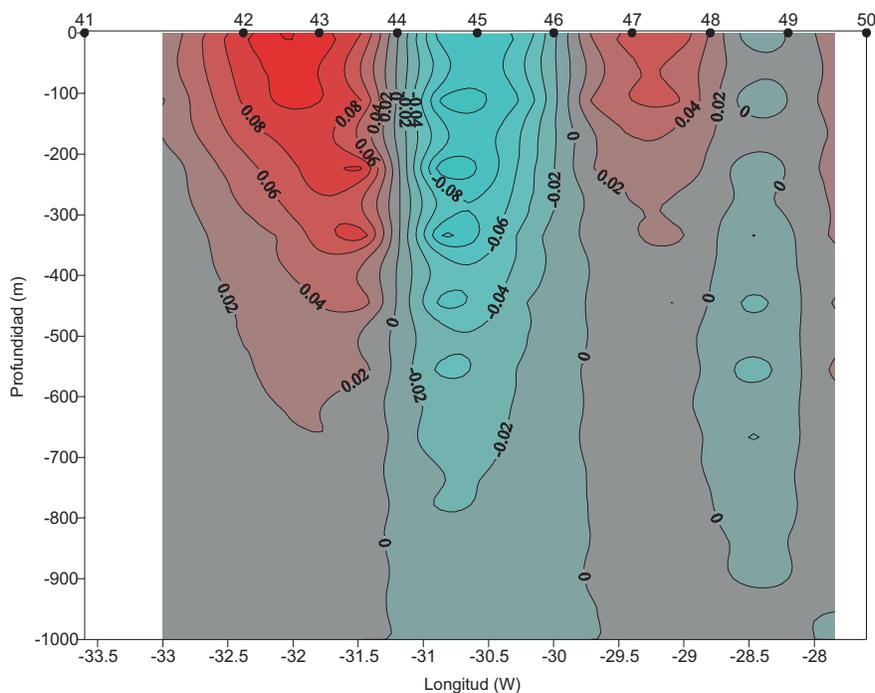


Fig. 7: Corrientes geostróficas en los 81° W entre los 27 y 33° S referidas a 1.000 m (ms^{-1}).

Fig. 7: Geostrophic currents at the 81° W between 27 and 33° S with reference to 1000 m (ms^{-1}).

diación solar local, asociada a la termoclina (entre los 100 y 300 m), y las estaciones someras mostraron parte del gradiente vertical tanto de temperatura como densidad.

La diferencia que se observa entre los archipiélagos (Juan Fernández e islas Desventuradas) es la presencia de la AST frente a este último, sobre la masa de agua ASAA. La aplicación del triángulo de mezcla con los valores señalados por Silva & Konow (1975) permitió definir las masas de agua presentes con más propiedad. El AST va perdiendo sus características al aumentar la latitud, y se va mezclando con ASAA. Se observa una variación de la salinidad en la capa superficial entre ambas latitudes. Además el AESS se presenta con una mayor salinidad y un mínimo de oxígeno más definido alrededor de San Félix y San Ambrosio que alrededor de Juan Fernández. En los 32,5° S, donde se ubica el corte este-oeste P6 del WOCE, se observa el máximo salino superficial y el mínimo de oxígeno a los 350 m,

según lo descrito por Tsimplis *et al.*, (1999) y Wijffels *et al.*, (2001); el límite zonal de AESS estaría en los 92° W.

Las corrientes geostróficas obtenidas muestran velocidades bajas ($<0,1 \text{ ms}^{-1}$), con dirección norte-sur en las secciones zonales, con predominio de flujo al norte, y en dirección este en la sección meridional. En la zona frente a Chile y en la latitud de 32° S, existe un predominio de los flujos al norte y de transporte en esa dirección (Reid, 1986; Wijffels *et al.*, 2001). La circulación mostrada por la altimetría señala que en los 81° W entre las islas (27° al 33° S) hay flujos débiles al este; en el área poniente de las islas se observan velocidades mínimas, y el sector entre las islas y el continente correspondería a una zona de convergencia.

La generación de vorticidad relativa que podrían causar las islas en los flujos, no es posible que sea observada en este estudio por la

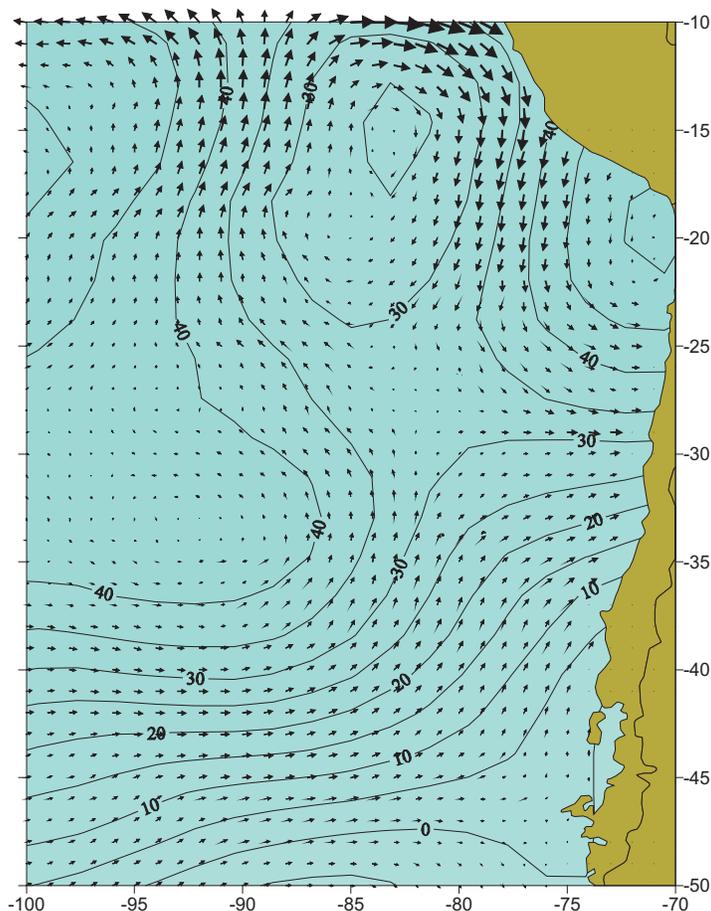


Fig. 8: Ciclo 295 Topex-Poseidon. Anomalia de Altura dinámica (cm) y Corrientes Geostróficas.
 Fig. 8: Cycle 295 Topex-Poseidon. Dynamic Height anomaly (cm) and Geostrophic currents.

baja magnitud de la velocidad y la falta de mediciones directas de corrientes; las islas se elevan como montañas aisladas sobre el fondo oceánico, ubicadas siguiendo el mismo paralelo las islas del archipiélago Juan Fernández, y siguiendo el meridiano las islas San Félix y San Ambrosio. Por otra parte su ubicación dentro del sistema de corrientes frontera del este, no muestra en la escala espacial del estudio, la presencia de la vorticidad planetaria. Sin embargo, mediciones directas, no logradas en esta investigación, sobre todo con un equipamiento de registro continuo (p.e. ADCP) deberían mostrar la influencia de las islas en la circulación de las aguas en el área próximas a las mismas (O 10 km), y en bahías como Cumberland, lo cual podría explicar la permanencia de especies típicas en las islas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo otorgado por el Comité Oceanográfico Nacional, del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (CONA-C64 00-09) y tripulación del R/V "Vidal Gormaz" para la realización del proyecto. La altimetría se obtuvo del Center for Space Research de la University of Texas at Austin. Un especial agradecimiento a los revisores del trabajo que contribuyeron a mejorar el manuscrito.

REFERENCIAS

CARPENTER, J. H. 1965. The Chesapeake Bay Institute technique for the Winkler dis-

- solved oxygen method. *Limnol. & Oceanogr.* 10:141-143.
- NESHYBA, S. & N. SILVA. 1985. Algunos aspectos climatológicos de las islas Robinson Crusoe y Santa Clara (Pacífico Sud Oriental). *Inv. Marinas en el Archipiélago Juan Fernández*. Núm. Esp. Ed. P. Arana. pp. 43-54.
- REID, J. 1986. On the total geostrophic circulation of the South Pacific Ocean: Flow patterns, tracers and transports. *Prog. Oceanography* 16:1-62
- ROBLES, F. 1973. Descripción general de las condiciones oceanográficas en las aguas Chilenas. Documento Instituto de Fomento Pesquero. 103 pp. (Documento no publicado).
- ROJAS, R., J. GONZÁLEZ & N. SILVA. 2004. Reporte del Crucero CIMAR 6, CEN-DHOC, CHILE CD-ROM).
- SIEVERS, H. 1975. Condiciones oceanográficas de verano de las aguas circundantes a las islas Robinson Crusoe y Santa Clara. *Inv. Mar.* 6(4): 49-72.
- SILVA, N. 1985. Algunas características físicas y químicas de las masas de agua alrededor de las islas Robinson Crusoe y Santa Clara (archipiélago Juan Fernández). *Inv. Mar.*, en el archipiélago Juan Fernández. Núm. Esp. Ed. P. Arana. pp. 35-41.
- SILVA, N. & D. KONOW. 1975. Contribución al conocimiento de las Masas de Agua en el Pacífico Sudoriental. Expedición KRILL. Crucero 3-4, julio-agosto 1974. *Rev. Comisión Permanente del Pacífico Sur* 3:63-75.
- SILVA, N. & H. SIEVERS. 1973. Condiciones oceanográficas de primavera y otoño de las aguas circundantes a islas Robinson Crusoe y Santa Clara. *Inv. Mar.* 4(6): 158-179.
- TSIMPLIS, M. N., S. BACON & H. L. BRYDEN, 1998. The circulation of the subtropical South Pacific derived from hydrographic data. *J. Geophys. Res.* 103: 21.443-21.468.
- WIJFFELS, S, J. M. TOOLE & R. DAVIS. 2001. Revisiting the South Pacific Subtropical circulation: A Synthesis of World Ocean Circulation Experiment observations along 32° S. *J. Geophys. Res.* 106: 19.481-19.513.