

2.3.- FRONTERAS DE LA CORRIENTE HUMBOLDT Y MASAS DE AGUA ENTRE EL CONTINENTE E ISLA DE PASCUA

Rosalino Fuenzalida F. 1, José Luis Blanco G. 2 y Claudio Vega A. 1

1. Universidad Arturo Prat, Casilla 121, Iquique

2. Universidad de Old Dominion, Norfolk, VA. USA

En la actualidad se han detectado importantes cambios en la dinámica marina con relación a la distribución espacio-temporal de las masas de agua y corrientes. Es así como, el sistema de corrientes Chile-Perú ha sido ampliamente cuestionada en el sector oriental del Océano Pacífico Sur, producto de la variabilidad que este sistema presenta, la que se traduce en flujos y contra flujos frecuentes en la frontera que separa las aguas frías de las aguas cálidas que se desplazan en sentido opuesto, asociada con el desplazamiento del Anticiclón del Pacífico Sur.

Dicho cuestionamiento se basa fundamentalmente en el tipo de análisis aplicada a la evaluación de las corrientes, para lo cual se utilizan métodos indirectos, obteniéndose diversos patrones en la circulación con un mayor o menor grado de coincidencia entre sí. (Silva y Fonseca 1983, Shaffer et al., 1995)

El presente estudio tiene por objeto estudiar las corrientes geostroficas y masas de agua en la sección entre Caldera e Isla de Pascua, entre la superficie y los 2500 m de profundidad, con especial énfasis en las fronteras del sistema de la Corriente Humboldt y las masas de agua que participan en éste sistema.

Entre el 15 y 28 de octubre de 1999 se efectuó una transecta con 32 estaciones oceanográficas entre Caldera e Isla de Pascua (Latitud 27° S), obteniéndose información desde la superficie hasta los 2500 m de profundidad, a bordo del AGOR. Vidal Gormáz de la Armada de Chile (Crucero Cimar5 - Islas Oceánicas). En cada estación se realizaron registros continuos de temperatura, salinidad y oxígeno con un CTDO-SBE25, además se tomaron muestras de agua con Roseta entre los 200 y 2500 m de profundidad para determinar salinidad y en las profundidades estándares para oxígeno disuelto con el objeto de validar la salinidad y el oxígeno disuelto obtenidas de los sensores.

Para el análisis de la información se prepararon secciones verticales de temperatura, salinidad, oxígeno y densidad.

La determinación de masas de agua se efectuó mediante diagramas T-S, utilizando los tipos de agua originales y pares de temperatura-salinidad para los triángulos de mezcla determinados por Silva y Konow (1975).

La altura dinámica se calculó usando como referencia el nivel de 2500 decibares. En aquellas estaciones en que la profundidad del muestreo fue inferior a 2500 m, se utilizó el método de extrapolación de Reid y Mantyla (1976). La velocidad geostrofica referida a 2500 m de profundidad y transporte de volumen se calculó en forma parcelada y por niveles estándar de CTD, utilizando para este efecto las metodologías descritas por Sverdrup et al., (1942).

La distribución vertical de temperatura presentó una capa de mezcla bastante desarrollada, la que alcanzó en promedio los 180 m de profundidad entre los 109° W y los 93° W, los 135 m entre los 91° W y los 78° W y a los 40 m entre los 76° W y los 71° W. Por otra parte, la termoclina se ubicó en promedio a 270 m de profundidad entre los 101° W y los 109° W, a 180 m entre los 100° W y los 90° W, a 125 m entre los 88° W y 74° W y a 48 m entre los 71° W y 73° W. Finalmente la base inferior de la termoclina se ubicó en promedio a 400 m de profundidad entre 101° W y los 109° W, a 310 m entre los 100° W y los 93° W, 225 m 91° W y los 78° W, 130 m entre los 76° W y los 74° W y 75 m entre los 73° W y los 71° W (Figura 1).

Cabe señalar que las isotermas que mejor representan la base de la termoclina son las isotermas entre 9 y 10° C desde los 109° W a los 99° W y entre las isotermas de 11 y 12° C desde los 97° W a los 71° W. Además, la temperatura bajo la termoclina presentó marcadas depresiones verticales en las isotermas, las que evidencian en forma indirecta la presencia de importantes inversiones de flujo (Figura 1).

La distribución vertical de salinidad muestra en el sector oriental del Pacífico Sur a nivel superficial un mínimo salino asociado a la masa de agua Subantártica, el cual se profundiza hacia el sector oeste, hasta alcanzar los 94° W, ubicándose a una profundidad del orden de los 300 m, éste mínimo salino fluctuó entre 34.2 y 34.5 psu. Por otra parte, desde Isla de Pascua hacia el este se observa una capa superficial con un máximo salino la que supera los 36.15 psu a los 109° W, asociada a la masa de agua Subtropical, siendo típico este valor del máximo Subtropical que se presenta en este sector, luego, éste máximo salino disminuye monótonicamente hacia el este alcanzando salinidades de 34.9 psu a los 84° W y continua decreciendo hacia la costa hasta prácticamente desaparecer debido a la mezcla con aguas Subantárticas, Inmediatamente bajo el mínimo relativo de salinidad se ubicó el máximo relativo de salinidad en el nivel de 200m, asociado con el agua Ecuatorial Subsuperficial, con un valor de salinidad de 34.7 psu en la costa, éste máximo relativo se profundiza hacia el oeste que alcanza los 380 m con salinidades de 34.5 psu a los 94° W. Bajo este máximo relativo salino se ubicó un mínimo relativo, asociado a la masa de agua Intermedia Antártica, con salinidades de 34.4 psu en el nivel de los 500 m, éste mínimo relativo se profundiza hacia el oeste hasta alcanzar los 700 m de profundidad y con salinidades de 34.3 psu. Inmediatamente bajo éste mínimo relativo la salinidad aumenta monótonicamente (Figura 1).

La distribución vertical del contenido de oxígeno se caracteriza por una capa superficial oxigenada, seguida por un mínimo de oxígeno en la capa subsuperficial con valores inferiores a 0.1 mL/L en el nivel de los 200 m de profundidad en el sector oriental del Pacífico Sur, asociado al agua Ecuatorial Subsuperficial, éste mínimo se profundiza hacia el oeste alcanzando los 380 m de profundidad con valores menores de 1 mL/L a los

Crucero CIMAR 5

94° W. Bajo este mínimo se ubica un máximo relativo de oxígeno asociado al agua Intermedia Antártica, y a niveles más profundos se detectó un mínimo relativo de oxígeno disuelto asociado al agua Profunda del Pacífico (Figura 2).

La distribución vertical de densidad presenta una estructura similar a la de temperatura mostrando claramente una capa de mezcla y una pinoquina bien desarrollada (Figura 2).

Mediante la utilización de diagramas T-S se pueden diferenciar, en la latitud 27°S entre Isla de Pascua y el Continente, las masas de agua presente, observándose las masas de agua Subtropical, Intermedia Antártica y Profunda del Pacífico entre los 109° W y los 99° W y las masas de agua Subtropical, Subantártica, Ecuatorial Subsuperficial, Intermedia Antártica y Profunda del Pacífico entre los 94° W y 71°W. Dichas masas de agua modifican su porcentaje de participación dependiendo de su ubicación geográfica producto de los procesos advectivos y difusivos (Figura 3).

Entre los 109° W y los 99° W se detectó entre la superficie y los 250 m de profundidad el agua Subtropical, caracterizada por altas salinidades superiores a 35.5 y temperaturas superiores a 19° C, dichos valores son consistentes con los observados por Reid (1973), Mamayev (1975), Silva (1992) y Moraga y Olivares (1994). Inmediatamente bajo esta masa de agua y hasta los 700 m de profundidad se ubicó el agua Intermedia Antártica, caracterizada por un mínimo relativo salino de 34.3 psu, una temperatura de 5° C lo cual es concordante con lo señalado por Silva (1992) y Moraga y Olivares (1994), además esta masa de agua presenta un contenido de oxígeno disuelto de 3.5 mL/L. A mayores profundidades se observa la masa de agua Profunda del Pacífico con salinidades de 34.7 psu y temperatura de 1.7° C lo cual es correspondiente con lo señalado por Reid (1973), Mamayev (1975). Por otra parte, hacia el este, a los 97° W se aprecia levemente la incorporación en el nivel subsuperficial del agua Ecuatorial Subsuperficial, la cual estaría asociada a un giro del sistema de corrientes (Figura 3).

Entre los 94° W y los 84° W, entre la superficie y los 200 m de profundidad se ubicó el agua Subtropical, caracterizada por altas salinidades superiores a 34.9 psu y temperaturas superiores a 18° C. Bajo esta masa de agua y hasta los 300 m se ubica el agua Subantártica con un mínimo relativo entre 34.3 y 34.4 psu y temperatura entre 12 a 13° C. Luego se ubicó el agua Ecuatorial Subsuperficial hasta los 380 m de profundidad caracterizada por salinidades superiores a 34.5 psu, temperaturas de 9° C y valores de oxígeno menores de 1 mL/L. Inmediatamente bajo esta masa de agua, se detectó el agua Intermedia Antártica caracterizada por una salinidad de 34.35 psu, una temperatura de 5.5° C y el contenido de oxígeno disuelto entre 2 y 3.5 mL/L. Finalmente el agua Profunda del Pacífico mantiene las características anteriormente señaladas (Figura 3).

Desde los 82° W hacia el continente, se debilitó el agua Subtropical, debido a que comienza a perder sus características al mezclarse con el agua Subantártica, de manera que se fortalece el agua Subantártica a través de un mínimo relativo salino de 34.2 psu, y se fortalece el agua Ecuatorial Subsuperficial mediante el máximo relativo salino de 34.7 psu y con un mínimo de oxígeno disuelto menor a 0.1 mL/L (Figura 3).

La circulación geostrófica relativa a 2500 db, presentó las mayores velocidades entre la superficie y los 1000 m, donde se detectaron flujos alternados con direcciones norte y sur, los cuales son típicos de la dinámica del Pacífico Sur. Bajo los 1000 m se observó un flujo predominante hacia el sur con mínimas velocidades (Figura 4).

Las velocidades geostróficas máximas determinadas hacia el norte, correspondieron a flujos centrados a los 73.2° W con un valor de 7.1 cm/s, a los 76.8° W con un valor 10.3 cm/s y en las longitudes 82.8° W, 85.8° W y 93.4° W con velocidades de 6 cm/s respectivamente. A los 96.4° W se observó un valor de 7.6 cm/s y a los 100.8° W se detectó un valor de 6.6 cm/s. En tanto hacia el sur, los flujos estuvieron centrados en las longitudes 71.5° W con velocidad de 6.6 cm/s, 78.3° W con un valor de 3.4 cm/s, a los 87.3° W con valor de 4.1 cm/s, a los 94.9° W con velocidades de 5.8 cm/s y a los 97.9° W con un valor de 5.2 cm/s (Figura 4).

Cabe señalar que el flujo subsuperficial hacia el sur detectado en el sector oriental del Pacífico Sur a los 71.5° W, es consistente con la dirección del flujo propuesto por Gunther (1936) y denominado por Wooster y Gilmartin (1961) como Corriente Subsuperficial Perú-Chile, el cual transporta hacia latitudes altas agua Ecuatorial Subsuperficial de relativa alta salinidad y bajo contenido de oxígeno disuelto. Por otra parte, el flujo es consistente en dirección pero no en magnitud con lo encontrado por Sievers y Silva (1975) y (1982).

Por otra parte, con relación a los flujos hacia el norte observados a los 73.2° W y 76.8° W, no se detectó una señal clara de la existencia de un contra flujo entre ellos, sin embargo, Wyrski (1963) observó un contra flujo sur ubicado a los 75° W y lo denominó Contracorriente del Perú, además, Silva y Sievers (1975) también lo detectaron. Por lo tanto, esta situación indicaría que el sistema estaría siendo perturbado por un sistema ondulatorio propio de la dinámica del Pacífico Sur.

Para resolver lo anteriormente señalado, se realizó un análisis de las imágenes TOPEX/ERS de las anomalías de altura de la superficie del mar, durante el período comprendido entre 1998 y 1999, detectándose diferentes estructuras, las que estarían asociadas posiblemente a ondas Rossby las cuales tendrían su origen desde la región oriental del Pacífico Sur (Pizarro com. per. 2000).

Finalmente, el transporte de volumen neto calculado para la transecta entre Caldera e Isla de Pascua fue de 11.04 Svedrup, con dirección al norte, el cual es consistente con lo indicado por Shaffer et al., (1995). Por lo tanto, el transporte neto que se desprende de una serie de flujos y contra flujos confirmaría la presencia del sistema de corrientes Perú-Chile con un predominio hacia el norte como parte del Giro Subtropical del Pacífico Sur, quedando establecido que dicho sistema estaría conformado de flujos y contra flujos que tienen una componente fuerte en la variabilidad espacio temporal.

REFERENCIAS:

- Gunther, E.R., 1936. A report on oceanographical investigation in Peru Coastal Current. *Discovery Rep.*, 13: 107-276
- Mamayev, O.I. 1975. *Temperature-Salinity Analysis of World Ocean Water*. Elsevier Oceanography Series, 11pp, 374.
- Moraga, J. y J. Olivares. 1996. Hidrografía del área costera de Isla de Pascua, Mayo de 1944. *Cienc. Tec. Mar. CONA* 19:47-56.
- Reid, J. L. 1973. Transpacific hydrographic sections at Lats 43° S and 28° S: The Scorpio Expedition III. Upper water; and a note on southward flow at mid-depth. *Deep-Sea Res.* 20:39-49.
- Reid, J.L. and A.W. Mantyla. 1976. The effect of the geostrophic flow upon coastal sea elevations in the northern North Pacific Ocean. *J. Geophys. Res.* 81 (18): 3100-3110.
- Silva, N. and I. R. Fonseca. 1983. Geostrophic component of the oceanic flow off northern Chile. *International Conference on Marine Resources of the Pacific*, P. Arana, ed., pp. 59-70.
- Silva, N. y D. Konow. 1975. Contribución al conocimiento de las masas de agua en el Pacífico Sudoriental. Expedición Krill. Crucero 3-4. julio-agosto 1974. *Rev. Com. Perm. Pacífico Sur*, 3:63:-75.
- Silva, N. 1992. Condiciones Oceanográficas Alrededor de Isla de Pascua Durante la Primavera de 1979. *Ciencia y Tec. Del Mar, CONA* 15:21-30.
- Sievers C., H.A y N. Silva., 1975.- Masas de agua y circulación en el Océano Pacífico Sudoriental. Latitudes 18° S - 33° S. (Operación Oceanográfica MARCH III E VIII). *Cienc. y Tec. Del Mar, Contr. CONA N° 1*: 7-67.
- Sievers C., H.A. y N. Silva S. 1982. Masas de Agua y Circulación Geostrofica frente a la costa de Chile. Latitudes 18° S - 33° S (Operación Oceanografica MARCHILE VII). *Cienc. y Tec. Del Mar, CONA* 6:61-99.
- Sverdrup, H.U., M.W. Johnson y R.H. Fleming. 1942. *The Ocean*. Prentice Hall Inc. Englewood Cliff N.J 1066 pp.
- Shaffer, G., S. Salinas, O. Pizarro, A. Vega y S. Hormazabal. 1995. Currents in the deep ocean off Chile. *Deep-Sea research I*. Vol. 42. No. 4. pp 425-436.
- Wooster, W. S. and M. Gilmartin. 1961. The Perú-Chile Undercurrent. *J. Mar. Res.*, 19 (3): 97-122.
- Wyrtki, Klaus. 1963. The horizontal and vertical field of motion in the Perú Current. *Bull. Scripps Inst. of Ocean.*, 8 (4): 313-346.

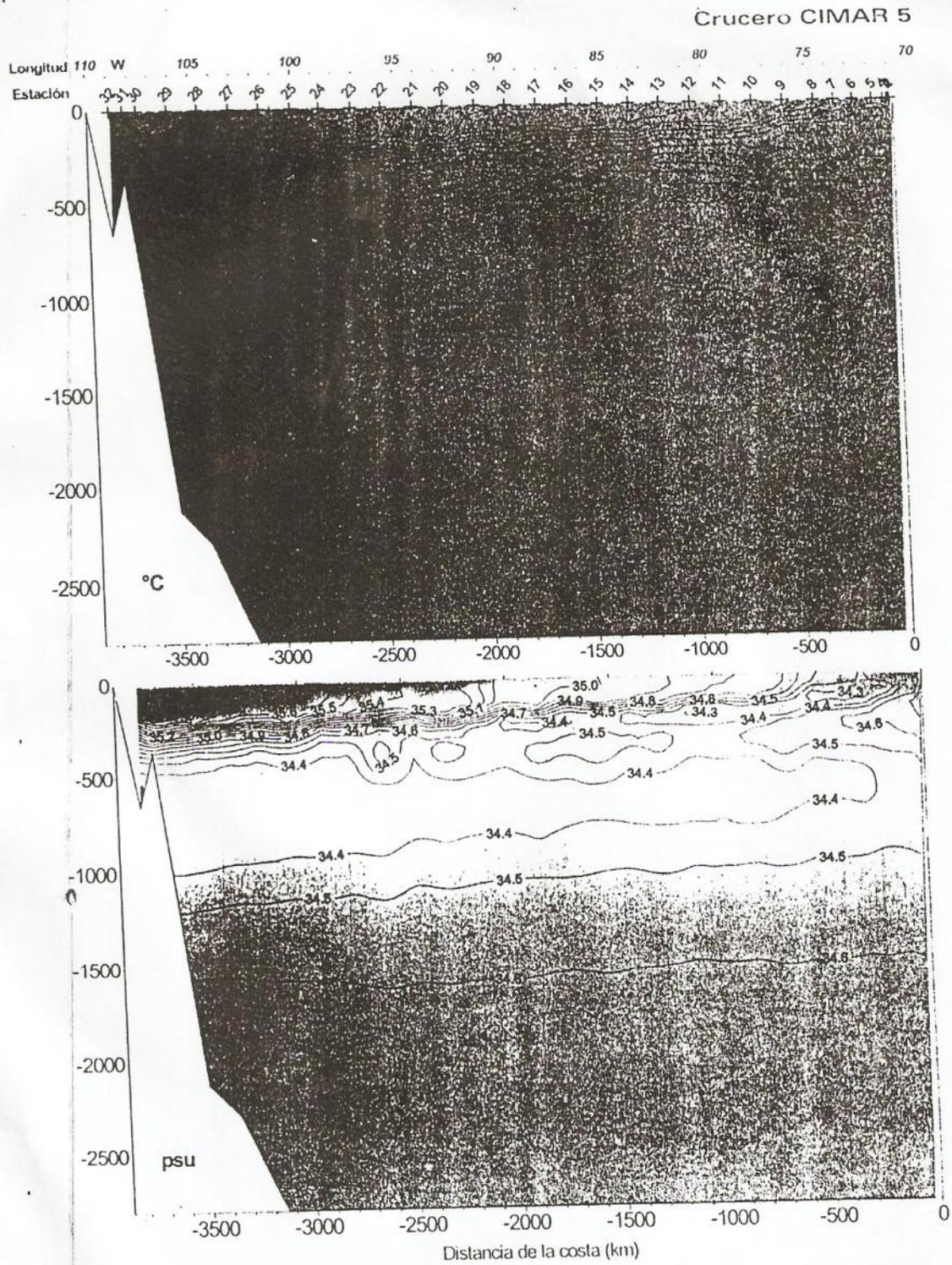


Figura 1. Distribución vertical de la temperatura y salinidad del crucero Cimar5-Islas Oceánicas (Latitud 27°S), durante el período comprendido entre el 15 y 28 de octubre de 1999.

Crucero CIMAR 5

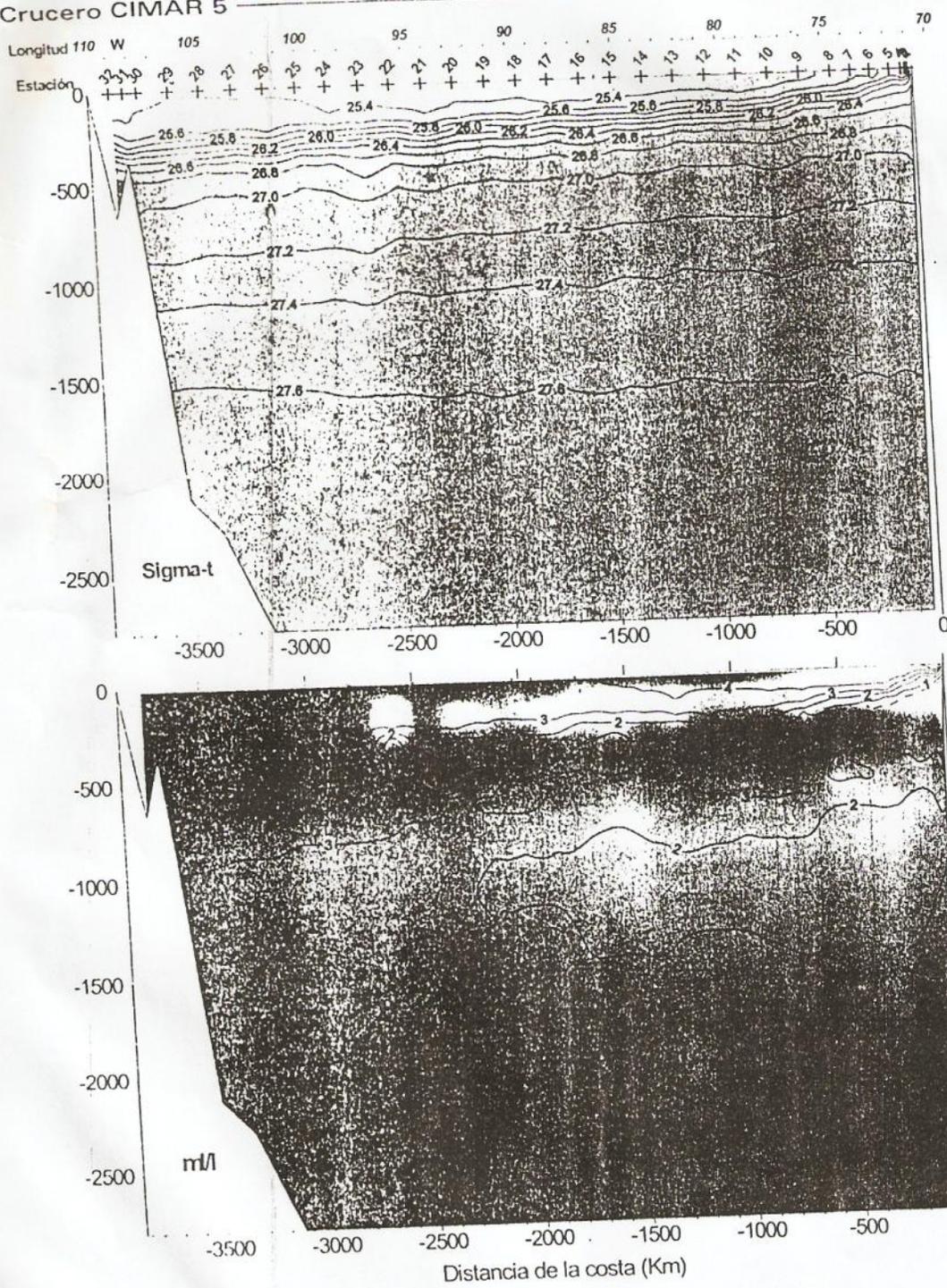


Figura 2. Distribución vertical de la densidad y oxígeno disuelto del crucero Cimar5- Islas Oceánicas (Latitud 27° S), durante el período comprendido entre el 15 y 28 de octubre de 1999.

Crucero CIMAR 5

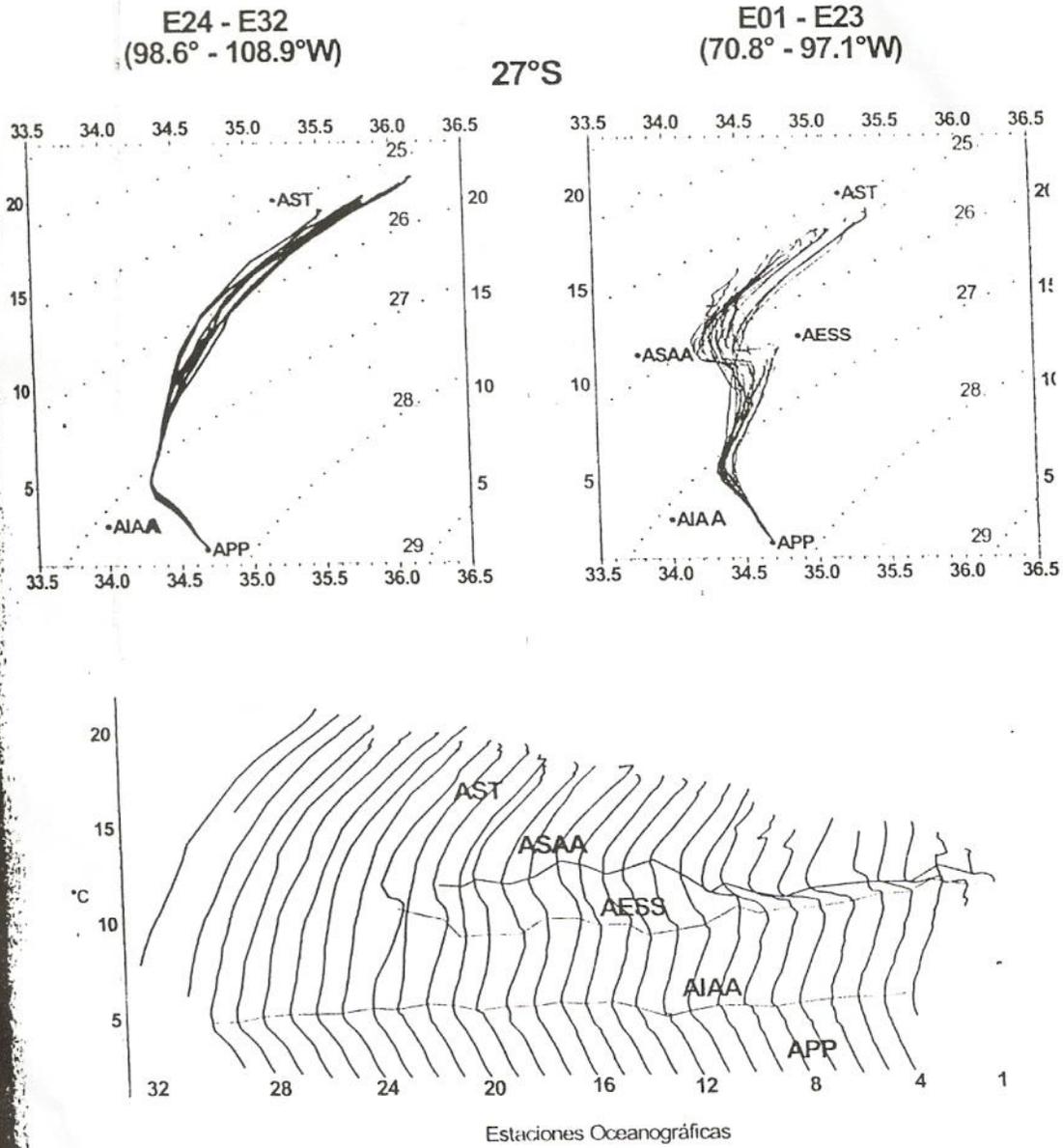


Figura 3. Diagramas T-S. del crucero Cimars5 - Islas Oceánicas (Latitud 27° S), durante el período comprendido entre el 15 y 28 de octubre de 1999.

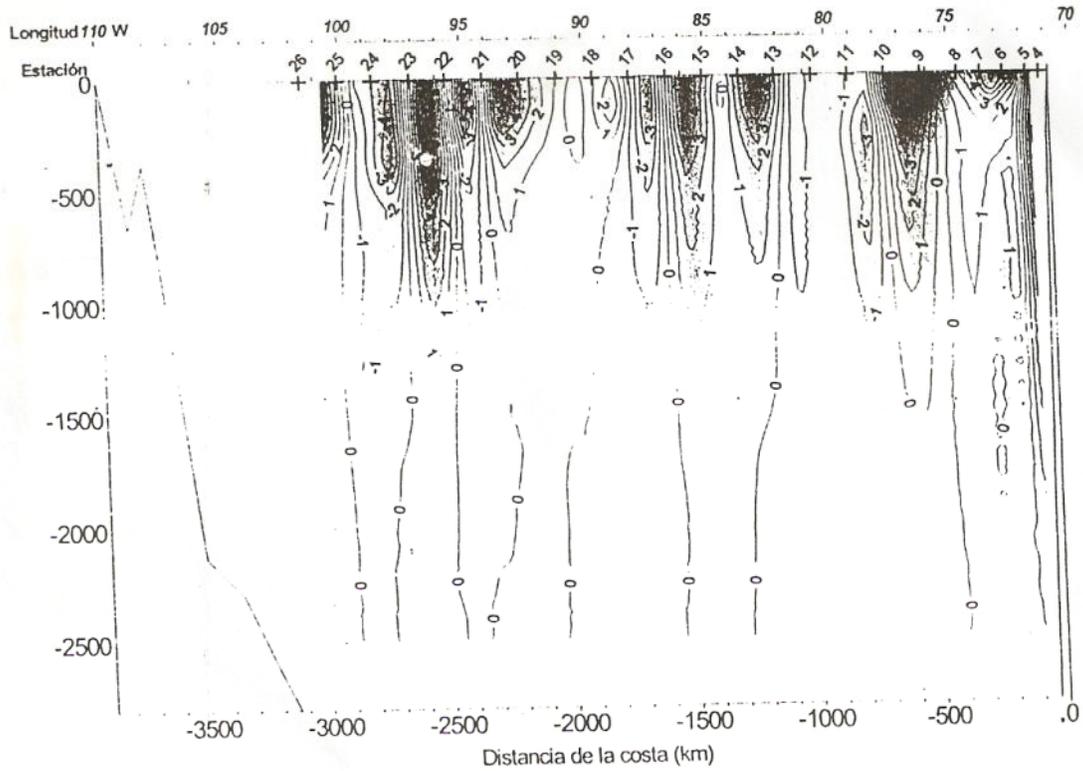


Figura 4. Distribución vertical de velocidad geostrófica (cm/s) del crucero Cimar5-Islas Océánicas (Latitud 27° S), durante el período comprendido entre el 15 y 28 de octubre de 1999. El color azul indica dirección norte. El signo (-) y color rojo indican dirección sur.