

MASAS DE AGUA Y CIRCULACION EN LA REGION  
DE LA RAMA COSTERA DE LA CORRIENTE DE  
HUMBOLDT LATITUDES 18° S - 33° S  
(OPERACION OCEANOGRAFICA MARCHILE X - ERFEN I)

NELSON SILVA S.  
HELLMUTH A. SIEVERS C. \*  
Instituto Hidrográfico de la Armada de Chile

RESUMEN

En la zona comprendida entre las latitudes 18° 28' S y 33° 01' S y entre la costa de Chile y 200 millas hacia el oeste de ésta, se determinó la distribución de las principales propiedades oceanográficas (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y densidad potencial), masas de agua, velocidades geostroóficas y transportes de volumen.

Mediante diagramas de temperatura potencial-salinidad se delimitaron cinco masas de agua en la región norte y cuatro masas en la región sur del área de estudio. En la zona norte, entre la superficie y la densidad potencial de 25,70 se identificó la masa de agua Subtropical cuya característica principal es una alta salinidad (>34,9 ‰). Sobre la isopícnica de 26,34 y hasta la de 25,70 en la zona norte y hasta la superficie del mar en la zona sur ubicó la masa de agua de origen subantártico cuyo núcleo se caracterizó por bajas temperatura y salinidad (<12° C y <34,5 ‰). Entre las isopícnas de 26,34 y 26,97 se identificó la masa de agua Ecuatorial Subsuperficial la que se caracteriza por un máximo de salinidad (>34,6 ‰) asociado a un mínimo de oxígeno disuelto (<1,0 ml/l).

A su vez, entre las isopícnas de 26,97 y 27,39 se ubicó la masa de agua Intermedia Antártica caracterizada por un mínimo relativo de salinidad (<34,5 ‰) y un máximo relativo de oxígeno (>3,0 ml/l).

A densidades mayores de 27,39 y bajo los 1000 m de profundidad se ubicó el agua Profunda del Pacífico.

En cuanto a la circulación geostroófica relativa a 1000 db se detectó la Rama Costera de la corriente de Humboldt centrada alrededor de 73° 5' W, con velocidades máximas de 15 cm/seg y un transporte de volumen de 2,7 millones m<sup>3</sup>/seg frente a Valparaíso (33° 01' S).

\* Dirección actual: Instituto de Oceanología, Universidad de Valparaíso.

En 21° S y a unas 70 millas de la costa existe un remolino anticiclónico el cual parece ser una característica permanente en dicha zona.

Centrado alrededor de los 72° W se presentó, en superficie, un flujo débil hacia el sur resultante de un afloramiento de la corriente Subsuperficial Perú-Chile. Esta última se desplazó alejada de la costa al norte de los 27° S acercándose a ella y haciéndose más angosta hacia el sur. La velocidad, en su núcleo, fluctuó entre 9 cm/seg y 20 cm/seg con un transporte máximo de 4,0 millones m<sup>3</sup>/seg frente a Antofagasta (23° 39' S).

En general, estas corrientes geostróficas solo afectaron hasta profundidades del orden de 500 m con un transporte relativamente bajo el cual superó levemente los 7 millones m<sup>3</sup>/seg en dirección norte, frente a Antofagasta.

## SUMMARY

The distribution of the principal oceanographic properties (temperature, salinity, dissolved oxygen and potential density), water masses, geostrophic velocities and volume transports between latitudes 18° 28' S and 33° 01' S and between the Chilean coast and 200 miles off the coast have been determined.

Five water masses in the northern part and four in the southern part of the studied area were identified by use of potential temperature-salinity diagrams. The Subtropical water mass with its characteristic high salinity (> 34.9 ‰) was identified between the sea surface and the potential density surface (isopycnal) of 25.70 in the northern area. The water mass of subantarctic origin characterized at its core by a low temperature (12° C) and low salinity (34.5 ‰) was identified between the 26.34 and 25.70 isopycnal in the northern area and the potential density 26.34 and the sea surface in the southern area. The Equatorial Subsurface water mass distinguished by its relative salinity maximum (> 34.6 ‰) associated to a dissolved oxygen minimum (< 1.0 ml/l) laid between the 26.34 and 26.97 isopycnal. Between the potential density surfaces of 26.97 and 27.39 was identified the Antarctic Intermediate water with its relative salinity minimum (34.5 ‰) and its relative dissolved oxygen maximum (3.0 ml/l). Under 1000 m depth and at potential densities greater than 27.39 flows the Pacific Deep water.

The geostrophic circulation relative to 1000 db showed the Coastal Branch of the Humboldt Current centered along 73.5° W with a maximum speed of 15 cm/s and a volume transport of 2.7 million m<sup>3</sup>/s off Valparaiso (33° 01' S).

At 21° S and at about 70 miles of the coast there is an eddy which seems to be a permanent feature in this area.

At the surface centered along 72° W there is a weak southern flow associated to a surfacing of the Peru-Chile Undercurrent. This undercurrent flows distant from the coast north of 27° S approaching the coast and getting narrower towards the south. The speed at its core ranged between 9 cm/s and 20 cm/s with a volume transport of 4.0 million m<sup>3</sup>/s off Antofagasta (23° 39' S).

In general these geostrophic currents reach only to depths of 500 m and have relatively small volume transports. Off Antofagasta a volume transport slightly greater than 7 million m<sup>3</sup>/s was calculated.

## INTRODUCCION

Una de las primeras descripciones de la circulación oceánica en el Océano Pacífico Sudoriental, frente a las costas de Chile y Perú, corresponde a la presentada por GUNTHER en 1936. Según este autor, el sistema presente en la región consta de dos flujos hacia el norte, uno costero y el otro oceánico, sin que se pueda establecer una delimitación exacta entre ellos. Posteriormente, WYRTKI (1963) describe la presencia de un flujo sur que nace frente a Talara ( $4^{\circ} 30' S$ ), y que al avanzar hacia latitudes más altas se desplaza entre las Ramas Oceánica y Costera de la corriente de Humboldt o del Perú, provocando una separación entre ellas. BRANDHORST (1971), en su análisis de la expedición CHIPER, también muestra una contracorriente frente a las costas de Chile y Perú, pero no la asocia con aquella descrita por WYRTKI (1963). A su vez, los resultados de la expedición MARCHILE VIII indican que la contracorriente del Perú fluye aproximadamente a 270 millas de la costa chilena (SIEVERS y SILVA, 1975).

Al oriente de la longitud  $79^{\circ} W$  donde, según WYRTKI (1963), fluye la Rama Costera de la corriente de Humboldt o del Perú, ROBLES et. als. (1976) describen la presencia de un sistema más complejo compuesto de dos flujos norte y dos contraflujos sur. Estos flujos norte serían la corriente de Humboldt y la corriente Costera de Chile, mientras que los contraflujos sur serían la contracorriente Oceánica Peruana y la contracorriente Costera de Chile.

A fin de ampliar el conocimiento sobre las características de la circulación geostrofica referente a la corriente Costera de Humboldt, se estimó necesario realizar un crucero oceanográfico que permitiera un análisis más detallado en la zona entre latitudes  $18^{\circ} S$  y  $33^{\circ} S$ . Simultáneamente esta expedición también tuvo como objeto recopilar información oceanográfica necesaria para el Estudio Regional del Fenómeno de EL NIÑO (ERFEN).

El presente trabajo describe la distribución de algunas de las propiedades físicas y químicas de las masas de agua y la circulación geostrofica oceánica presentes en la zona de estudio de la expedición oceanográfica MARCHILE X.

## MATERIALES Y METODOS

El área de estudio comprende la zona situada entre Arica ( $18^{\circ} 28' S$ ) y Valparaíso ( $33^{\circ} 01' S$ ) y entre la costa de Chile y los  $74^{\circ} W$ . En dicha área se realizaron, entre el 1° y el 28 de julio de 1976, 61 estaciones oceanográficas distribuidas en siete secciones perpendiculares a la costa (Figura 1).

La medición de temperatura del agua de mar y la toma de muestras para análisis de salinidad y oxígeno disuelto, entre 0 m y 1800 m de profundidad, se efectuó mediante botellas Nansen. Asimismo, se realizaron observaciones continuas de temperatura mediante XBT, hasta profundidades de 750 m. La salinidad fue determinada con un salinómetro de inducción autolab modelo 601 y el contenido de oxígeno disuelto mediante la modificación de CARPENTER (1965), para el método de Winkler.

Para el análisis de la información oceanográfica se prepararon secciones verticales y horizontales para temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y densidad potencial. A su vez, la determinación de masas de agua se efectuó en base a diagramas  $\theta - S$  y la utilización del método del núcleo propuesto por WÜST (1935). La distribución de propiedades en el núcleo de las masas de agua Subantártica, Ecuatorial Subsuperficial e Intermedia Antártica se realizó mediante análisis isentrópico (MONTGOMERY, 1937; SVERDRUP et. al., 1942). Para ello se utilizaron las superficies de igual densidad potencial ( $\sigma_{\theta}$ ) de 26,09 (193 cl/ton); 26,44 y 26,65 (160 cl/ton y 140 cl/ton) y 27,18 (90 cl/ton) respectivamente.

Tanto la topografía dinámica de la superficie del mar, como la aceleración potencial de las superficies de densidad potencial de los valores ya mencionados, se calcularon usando como referencia el nivel de 1000 db. En estaciones costeras, donde la profundidad es inferior a 1000 m, estos valores fueron calculados referidos a 1000 db, según el método propuesto por REID y MANTYLA (1976).

Para estimar la velocidad geostrofica, referida a 1000 db, en base a las figuras de topografía dinámica y aceleración potencial se incluyeron, en dichas figuras, gráficos de velocidad versus distancia entre contornos de las respectivas isopletas calculados para una latitud media de 24° S.

El transporte geostrofico de volumen para las distintas masas de agua se calculó en base a la metodología propuesta por SIEVERS y SILVA (1975), preparándose dos tablas con los resultados. La primera corresponde a la operación oceanográfica MARCHILE X y la segunda a una comparación con la MARCHILE VIII para áreas verticales similares.

## RESULTADOS

### *Temperatura.*

En superficie se puede observar que la temperatura aumenta de sur a norte desde valores del orden de 12° C frente a Valparaíso, a 17° C frente a Arica (Figura 2). En general, las isotermas indican la presencia de una intrusión de aguas frías en dirección norte con una tendencia a desviarse hacia el oeste. A su vez, desde la zona norte, se produce un desplazamiento hacia el sur de aguas más templadas que se aproximan a la costa deformando las isotermas próximas a ella casi hasta los 28° S.

Respecto a la distribución vertical sólo se aprecia una termoclina desarrollada en las secciones al norte de latitud 27° S (Figuras 3a, 4a, 5a y 6a) mientras que más al sur ésta se debilita a tal punto que desaparece en algunas de las estaciones oceanográficas (Figuras

7a, 8a y 9a). En la capa inmediatamente bajo la termoclina se producen inversiones de temperatura de hasta 0°,3 C.

### *Salinidad.*

En general, la distribución superficial de salinidad muestra un sistema de intrusión de aguas con máximos y mínimos relativos, similar a la distribución de las isotermas superficiales (Figura 2). Hacia el sur y aproximándose a la costa, penetran aguas de alta salinidad (> 34,7 ‰), en cambio aguas de menor salinidad (< 34,6 ‰) se desplazan hacia el noroeste alejándose de la costa. La distribución superficial de salinidad presenta diferencias máximas del orden de 1,1 ‰ a lo largo de la costa.

En cuanto a la distribución vertical se aprecia, en la capa superficial, el máximo de salinidad subtropical con valores mayores de 34,9 ‰, el que alcanza aproximadamente 50 m de profundidad en las secciones 1 a 3 (Figuras 3a, 4a y 5a).

En la capa superficial del extremo sur del área estudiada se presenta el mínimo subantártico que se desplaza hacia latitudes más bajas para sumergirse bajo el máximo subtropical de la zona norte. Este mínimo, que frente a Valparaíso (Figura 9a) es de 34,1 ‰, aumenta hasta valores de 34,7 ‰ frente a Arica donde aún quedan remanentes de él en las estaciones 2 y 3 (Figura 3a). Este mínimo, a medida que se desplaza hacia el norte, deja de presentarse como una capa continua a determinada profundidad, dando paso a la formación de núcleos que van disminuyendo en extensión hasta prácticamente desaparecer frente a Arica.

A profundidades del orden de los 200 m está presente el máximo ecuatorial subsuperficial de salinidad con valores mayores de 34,8 ‰ frente a Arica, y menores de 34,5 ‰ frente a Valparaíso (Figuras 3a y 9a). Este má-

ximo, en su avance al sur, se puede identificar más claramente entre los mínimos subantártico e intermedio antártico (Figuras 3a y 9a).

Centrado alrededor de 600 m se encuentra el mínimo intermedio antártico, el que aumenta desde valores menores de 34,4‰ frente a Valparaíso, hasta valores menores de 34,5‰ frente a Arica.

#### Oxígeno.

Las aguas superficiales se encuentran bien oxigenadas con valores de alrededor de 6,0 ml/l (Figura 2), las que en repetidas oportunidades superan el 100% de saturación.

En cuanto a su distribución vertical, ésta se caracteriza por una capa superficial bien oxigenada, seguida por un mínimo en la capa subsuperficial con valores incluso inferiores a 0,25 ml/l (Figuras 3b a 9b). Bajo este mínimo subsuperficial, en las secciones de más al sur (secciones 5 a 7), se presenta el máximo de oxígeno disuelto que corresponde al agua Intermedia Antártica en esta región.

#### Densidad.

En general, la densidad superficial aumenta de norte a sur y hacia la costa (Figura 2). La distribución de las isopicnas superficiales se asemeja a aquella de las isotermas e isohalinas.

Se aprecia en la distribución vertical de la densidad potencial la presencia de una pycnoclina bien desarrollada en la zona norte (Figuras 3b a 6b). Más al sur, esta pycnoclina se debilita llegando a desaparecer en algunas estaciones cercanas a la costa (Figuras 7b a 9b).

#### Masas de agua.

En la región de estudio se distingue la presencia de cinco masas de agua (Figura 10). En la capa superficial se encuentra la masa de

agua Subtropical en el norte, y la Subantártica en el sur. En la capa inmediatamente inferior se ubica la masa de agua Ecuatorial Subsoperficial y bajo ella la Intermedia Antártica. Esta última es seguida por la masa de agua Profunda del Pacífico con densidades mayores de 27,4.

La batimetría y distribución de las propiedades de temperatura potencial, salinidad y oxígeno disuelto de las superficies isentrópicas correspondientes a los núcleos de la masa de agua Subantártica ( $\sigma_\theta = 26,09$ ), Ecuatorial Subsoperficial ( $\sigma_\theta = 26,44$  y  $\sigma_\theta = 26,65$ ) e Intermedia Antártica ( $\sigma_\theta = 27,18$ ) se indican en las figuras 11 a 14.

#### Circulación geostrofica.

La topografía dinámica de la superficie del mar referida a 1000 db, muestra un sistema de corrientes relativamente complejo debido a la presencia de varios remolinos pero que, en líneas generales, se puede describir formado por un flujo hacia el norte a lo largo del meridiano 73°,5 W y un flujo hacia el sur más próximo a la costa. Esta misma situación se manifiesta en los gráficos de aceleración potencial en niveles más profundos que corresponden a las superficies de  $\sigma_\theta = 26,09$ ; 26,44; 26,65 y 27,18 (Figuras 15 a 19).

## DISCUSION

#### Masas de agua.

La descripción de las masas de agua, en esta región, ha sido estudiada por diversos autores, utilizando distinta metodología para indicar sus características y distribución. Así por ejemplo, GUNTHER (1936) preparó una sección a lo largo de la costa para indicar la distribución de las masas de agua Subtropical, Subantártica y Ecuatorial Subsoperficial. Esta última también la consideró como agua de origen Subtropical. BRANDHORST (1971),

utilizó diagramas T-S para distinguir las masas de agua, y análisis isentrópico para describir la distribución de las propiedades de las aguas Subantárticas y Ecuatorial Subsuperficial. SILVA y SIEVERS (1974) y SIEVERS y SILVA (1975), también utilizaron diagramas T-S y el método del núcleo, propuesto por WÜST (1935), para diferenciar y seguir las masas de agua. Al mismo tiempo, determinaron zonas límites entre masas de agua mediante la selección de isanósteras, ubicadas donde consideraron que se encontraba el centro de las zonas de mezcla entre masas de agua adyacentes.

Para el presente trabajo se prefirió utilizar diagramas de temperatura potencial ( $\theta$  ° C) versus salinidad (S ‰) para identificar las masas de agua. A fin de estimar los espesores de las masas de agua se utilizaron, como límites entre ellas, las densidades potenciales equivalentes a las anomalías termostéricas determinadas para este efecto y región por SIEVERS y SILVA (1975), para la operación oceanográfica MARCHILE VIII.

En las secciones del norte, entre la superficie del mar y la densidad potencial de 25,70 (230 cl/ton), se ubica la masa de agua Subtropical. En las secciones 1 y 2, las características de esta masa de agua se encuentran relativamente bien desarrolladas con salinidades mayores de 34,9‰ y temperaturas sobre 16° C (Figuras 2a, 3a y 4a). En la sección 3 la salinidad aún presenta un máximo en la capa superficial, características del agua Subtropical, que supera valores de 34,9‰ en la zona más costera de esta región. Si bien es cierto que la densidad potencial en esta zona es mayor de 23,70, las características de temperatura y salinidad aún permiten identificar esta masa de agua.

En las secciones más australes la salinidad ya no manifiesta la presencia del agua Subtropical y aún cuando las isopicnas menores o iguales a 25,70 están presentes, éstas ya no tienen significado como indicadores de límite

entre dicha masa de agua y la Subantártica (Figuras 6b a 9b y 10). La profundidad del agua Subtropical, en las secciones en que está presente, es del orden de 50 m.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por SILVA y KONOW (1975), para la misma época del año durante la expedición KRILL. Estos autores indican que esta masa de agua se extiende hasta 22° S y profundidad de 60 m con un porcentaje de composición de agua Subtropical superior al 50%.

Entre las isopicnas de 25,70 y 26,34 (230 cl/ton y 170 cl/ton), en las secciones del norte, y sobre la isopicna de 26,34 y hasta la superficie, en las secciones del sur, se encuentra el agua Subantártica. El núcleo de esta masa se ubica en la isopicna de 26,09 la cual se encuentra en profundidades que fluctúan entre 40 m y 120 m (Figura 11). Esta isopicna, y por lo tanto el núcleo de esta masa de agua, se encuentra a profundidades menores en regiones próximas a la costa.

El agua Subantártica se caracteriza en su núcleo por temperaturas moderadas (11° C a 13° C) y salinidad relativamente baja (34,1‰ a 34,5‰) (Figura 11). En las secciones de más al norte este mínimo relativo de salinidad característico de esta masa de agua, puede ser identificado con valores de hasta 34,7‰ (Figura 3a y 4a).

En cuanto al contenido de oxígeno, éste presenta concentraciones relativamente altas en la zona sur (> 5 ml/l) decreciendo considerablemente hacia el norte por mezcla vertical con agua Ecuatorial Subsuperficial menos oxigenada (Figura 11).

El espesor de esta masa de agua es de alrededor de 150 m en la sección 7 (Figura 9b), situación que en general se mantiene hasta la sección 4 (Figura 6b). Más al norte el aumento de la salinidad superficial, propia del agua Subtropical, hace que la Subantártica deje la superficie y, al mismo tiempo, disminuya su espesor aproximadamente a 100 m. En esta

zona el agua Subantártica pasa a distinguirse como un mínimo superior de salinidad centrado alrededor de 100 m de profundidad. Este mínimo superior de salinidad suele verse interrumpido en su continuidad horizontal en algunas secciones al norte de los 29° S de latitud. Esto se debe a que la masa de agua Subtropical está en contacto directo con la Ecuatorial Subsuperficial. Una situación análoga se presentó durante la expedición MAR-CHILE VIII (SIEVERS y SILVA, 1975).

Entre las isopicnas de 26,34 y 26,97 (170 cl/ton y 110 cl/ton) se ubica la masa de agua Ecuatorial Subsuperficial, la que se caracteriza por un máximo de salinidad asociado a un mínimo de oxígeno disuelto (GUNTHER, 1936; WOOSTER y GILMARTIN, 1961; WYRTKI, 1963; BRANDHORST, 1971; REID, 1973; SIEVERS y SILVA, 1975). El núcleo de esta masa de agua se ubica, en la zona norte, en la isopicna de 26,44 (160 cl/ton) variando gradualmente hasta centrarse alrededor de  $\sigma_{\theta} = 26,65$  (140 cl/ton) en la sección 7 (Figura 10), concordando con lo descrito por WOOSTER y GILMARTIN (1961).

Esta variación de la ubicación del núcleo en diferentes picnoclinas, conjuntamente con un aumento de la profundidad del mismo hacia el sur, se debería a que al desplazarse la masa de agua Ecuatorial Subsuperficial entre las aguas Subantártica e Intermedia Antártica va aumentando su densidad por enfriamiento. Al mismo tiempo va sufriendo una erosión mayor, y por lo tanto mezcla, en su límite superior respecto al inferior, debido a las mayores velocidades que experimentan las aguas de la capa superficial respecto a aquellas más profundas (SILVA, 1978).

El núcleo de esta masa de agua se ubica entre 100 m y 200 m de profundidad en las secciones 1 a 6, donde se ha considerado la isopicna de 26,44 como representativa de éste. Frente a Valparaíso, sección 7, el núcleo se ubica en la isopicna de 26,65 y a profundidades que fluctúan entre 200 m y 240 m (Figuras 12 y 13).

En general, el espesor de esta masa de agua varía entre 250 m y 400 m, siendo más gruesa hacia el norte y la costa, con su límite inferior ubicado alrededor de los 500 m de profundidad.

La distribución de propiedades del agua Ecuatorial Subsuperficial en las superficies de densidad potencial de 26,44 y 26,65 (Figuras 12 y 13) indican claramente la intrusión, hacia el sur, de aguas cálidas, salinas y poco oxigenadas. Esta intrusión, que frente a Arica e Iquique es ancha, se va enangostando y restringiendo cada vez más a la zona costera a medida que se desplaza hacia el sur. Lo anterior se puede observar claramente de la distribución del máximo de salinidad y del mínimo de oxígeno en las isopicnas de 26,44 y 26,65 (Figuras 12 y 13).

SILVA y KONOW (1975), en su análisis cuantitativo de la composición porcentual de las masas de agua presentes frente a las costas de Chile y Perú, indican que el agua Ecuatorial Subsuperficial se extiende, con porcentajes mayores del 50%, entre 10° S y 37° S de latitud. Por otra parte SILVA y NESHYBA (1979), basados en una serie de expediciones oceanográficas, han demostrado la continuidad de las características del agua Ecuatorial Subsuperficial desde los 11° S hasta los 48° S. Al sur de dicha latitud, esta masa ya ha perdido sus características por mezcla con las aguas Subantártica e Intermedia Antártica.

El agua Intermedia Antártica queda comprendida entre las isopicnas  $\sigma_{\theta} = 26,97$  y  $\sigma_{\theta} = 27,39$  (110 cl/ton y 70 cl/ton) (SIEVERS y SILVA, 1975) con un espesor de alrededor de 500 m. Su núcleo se encuentra centrado en la isopicna de 27,18 que en la zona estudiada fluctuó entre los 640 m y 720 m de profundidad (Figura 14). Esta masa de agua se caracteriza por presentar, en su núcleo, temperaturas entre 5° C y 6° C y un mínimo débil de salinidad entre 34,35‰ y 34,50‰ (Figura 14). Estos estrechos rangos de variación de la temperatura y salinidad indican una relativa estabilidad, lo que es propio de las aguas intermedias.

En cuanto a la distribución del oxígeno disuelto, éste presenta valores relativamente altos frente a Valparaíso, los que decrecen considerablemente hacia el norte, hasta alcanzar valores bastante bajos frente al área Arica - Iquique (Figura 14). Estos valores bajos se deben, según WYRTKI (1963), a la mezcla horizontal a gran escala del agua Intermedia Antártica con las de mínimo contenido de oxígeno provenientes del norte. SILVA y KONOW (1975) indican que el agua Intermedia Antártica se extendería con valores de composición porcentual mayores del 50% sólo hasta los 27° S de latitud. Al norte de dicha latitud y hasta los 18° S, estos autores indican que esta masa de agua presenta un predominio relativo sobre las masas de agua Ecuatorial Subsuperficial y Profunda del Pacífico, permitiendo que algunas características del agua Intermedia Antártica aún puedan ser detectadas en esas latitudes.

Bajo el agua Intermedia Antártica y a profundidades mayores de 1000 m se ubica el agua Profunda del Pacífico con temperaturas que decrecen lentamente desde los 4° C y con salinidades que aumentan paulatinamente desde los 34,5‰.

#### *Circulación.*

La circulación oceánica frente a la costa de Chile entre los 18° S y 33° S, y al oriente del meridiano 85° W, está compuesta por un sistema de corrientes y contracorrientes que fluyen paralelas a la costa. Estas corrientes transportan, en la capa superficial, las masas de agua Subantártica hacia el ecuador y Subtropical hacia el polo, lo cual se ve reflejado en intrusiones de aguas más calidas y salinas hacia el sur y más templadas y menos salinas hacia el norte.

En general se acepta que, frente a la zona central y norte de la costa chilena, existe la presencia de una corriente con dos ramas hacia el norte denominadas Rama Costera y Oceánica de la corriente de Humboldt o del Perú, separadas por un flujo hacia el sur de-

nominado contracorriente del Perú (GUNTHER, 1936; WYRTKI, 1963, 1966 y 1967; SIEVERS y SILVA, 1975). En la capa subsuperficial, y alrededor de 200 m de profundidad, también se ha identificado un flujo hacia el sur, al que se ha denominado corriente Subsuperficial Perú-Chile. Esta corriente transporta, hacia latitudes más altas, agua Ecuatorial Subsuperficial de alta salinidad y bajo contenido de oxígeno disuelto (GUNTHER, 1936; WOOSTER Y GILMARTIN, 1961; SIEVERS y SILVA, 1975; SILVA y NESHYBA, 1979).

La zona estudiada durante la expedición MARCHILE X corresponde a aquella en que se ha descrito la Rama Costera de la corriente de Humboldt y la corriente Subsuperficial Perú-Chile. Es así como la topografía dinámica de la superficie del mar y la aceleración potencial en la isopicna de 26,09, referidas a 1000 db, muestra un flujo continuo hacia el norte centrado alrededor de 73°,5 W correspondiente a la Rama Costera de la corriente de Humboldt (Figuras 15 y 16). A mayores profundidades, como ser en las superficies de densidad potencial de 26,44 y 26,65 aún se observan remanentes bien definidos de esta corriente, las que en la isopicna de 27,18, cercana a 700 m de profundidad, prácticamente han desaparecido (Figuras 17 a 19).

En general se puede considerar que esta corriente afecta hasta una profundidad del orden de 500 m ( $> 2$  cm/seg) con una velocidad máxima en el núcleo de 11 cm/seg y un transporte de volumen de 2,8 millones m<sup>3</sup>/seg frente a Antofagasta.

A su vez, frente a Valparaíso esta corriente también alcanza hasta profundidades de casi 500 m con una velocidad máxima de 15 cm/seg y un transporte de volumen de 2,7 millones m<sup>3</sup>/seg (Figuras 21 y 23).

En los 21° S y a unas 70 millas de la costa, se puede observar la existencia de un remolino anticiclónico detectable en todos los niveles de densidad analizados (Figuras 15 a 19). Este remolino parece ser una característica

permanente de esta zona ya que ha sido descrito en otras oportunidades por autores tales como WYRTKI (1963); INOSTROZA (1973) y ROBLES et. als. (1976). Aparentemente este remolino se debe a la existencia de un bolsón de aguas relativamente más cálidas en las estaciones 14 y 15 en comparación con las estaciones adyacentes. Es así como las isotermas entre 6° y 11° C se encuentran más profundas, y como existe poca diferencia en el campo de salinidad, el resultado final es una mayor altura dinámica para este par de estaciones. Las causas de este aumento térmico no pueden ser precisadas con la información obtenida en este crucero y podría ser tema de una investigación futura en esta área.

Centrado alrededor de los 72° W se presenta, en superficie, una corriente débil hacia el sur la que es más intensa en los niveles subsuperficiales (Figura 15). Esta mayor intensidad en los niveles subsuperficiales se puede apreciar al comparar la topografía dinámica superficial con la aceleración potencial en las isopicnas 26,44 y 26,65 donde las isolíneas de flujo son más compactas indicando, por lo tanto, una mayor velocidad (Figuras 15 a 18). Lo anterior también puede observarse en las secciones de velocidad geostrofica de las figuras 20 a 23 donde se puede distinguir la característica subsuperficial de este flujo. El núcleo de esta corriente hacia el sur se ubica preferentemente dentro de los límites de la masa de agua Ecuatorial Subsoperficial ( $\sigma_\theta = 26,34$  a  $\sigma_\theta = 26,97$ ) aunque en la sección 1 esto no pareciera ser así (Figura 20). Lo anterior se debe a que el núcleo se encuentra ubicado entre las isopicnas que estarían definiendo a la masa de agua Subantártica. Sin embargo en este caso específico (estaciones 6 y 7) y al igual como ha sido descrito para el caso de la MARCHILE VIII (SIEVERS y SILVA, 1975), la masa de agua Subtropical se encuentra en contacto directo con la de agua Ecuatorial Subsoperficial y si bien las isopicnas 25,70 y 26,34 se encuentran presentes, ellas no necesariamente identifican a la masa de agua Subantártica en estas

estaciones. Por lo tanto se podría afirmar que en este caso el núcleo también se encuentra ubicado dentro de la masa de agua Ecuatorial Subsoperficial, como puede observarse si se compara su posición con la distribución de salinidad en la sección 1 (Figura 3a).

De la discusión anterior se desprende que esta corriente superficial hacia el sur, que se aprecia en la topografía dinámica de la superficie del mar, es el resultado de la presencia de una corriente subsoperficial cuyo núcleo está asociado a la masa de agua Ecuatorial Subsoperficial. Por lo tanto se puede inferir que ella corresponde a un afloramiento de la corriente Subsoperficial Perú-Chile descrita por WOOSTER y GILMARTIN (1961), BRANDHORST (1971), SIEVERS y SILVA (1975), ROBLES et. al. (1976). Esta corriente Subsoperficial Perú-Chile tiene velocidades en el núcleo que fluctúan entre 9 cm/seg y 20 cm/seg lo cual la hace considerablemente más rápida que en el caso de la expedición MARCHILE VIII donde no superó los 10 cm/seg (SIEVERS y SILVA, 1975).

La aceleración potencial en las superficies de  $\sigma_\theta = 26,44$  y 26,65 muestran que la corriente Subsoperficial Perú-Chile fluye alejada de la costa al norte de los 27° S para acercarse y hacerse más costera y angosta al sur de esta latitud. SILVA y NESHYBA (1979) han demostrado que esta corriente subsoperficial se extiende a lo largo de la costa de Chile hasta alrededor de los 48° S. Más al sur de dicha latitud esta corriente ya no es identificable como tal, debido a que el agua Ecuatorial Subsoperficial ha perdido su identidad por procesos de mezcla vertical con el agua Subantártica y/o Intermedia Antártica.

El transporte de volumen de esta corriente subsoperficial es de 4,0 millones m<sup>3</sup>/seg frente a Antofagasta y de 2,4 millones m<sup>3</sup>/seg frente a Valparaíso.

El afloramiento de la corriente Subsuperficial Perú-Chile provoca un desplazamiento hacia el oeste de la Rama Costera de la corriente de Humboldt y aparentemente la divide. Es así como al norte de los 29° S se puede observar un flujo septentrional muy costero el cual frente a Iquique debió ser inferido por no disponerse de datos adecuados en las tres estaciones más costeras de esta sección (Figura 15). El núcleo de esta corriente más próxima a la costa está centrado dentro de los límites de los remanentes de la masa de agua Subantártica, lo que es característico de las ramas de la corriente de Humboldt.

ROBLES et als. (1976) ya habían observado la existencia de este flujo y lo atribuyeron a una deriva superficial y costera hacia el norte mantenida por los vientos dominantes del sur y suroeste. A esta deriva costera hacia el norte conformada principalmente, al igual que la corriente de Humboldt, por aguas subantárticas la denominaron corriente Costera de Chile.

Si se comparan las propiedades de salinidad y contenido de oxígeno del mínimo de salinidad del agua Subantártica, transportada por la Rama Costera de la corriente de Humboldt hacia el norte, y las del agua involucrada en este flujo mucho más costero se aprecian algunas diferencias. Es así como en general este flujo transporta agua con un mínimo de salinidad relativamente más alto y un contenido de oxígeno más bajo que aquel de la Rama Costera de la corriente de Humboldt (Figuras 3a y b, 5a y b, 6a y b y 7a y b). De aquí que se podría interpretar que estas aguas más costeras corresponderían a un cuerpo de agua un tanto distinto del agua Subantártica y podría ser la resultante de una mayor mezcla vertical entre esta agua y la Ecuatorial Subsuperficial. Esta mayor mezcla se debería en gran medida a la presencia de fenómenos de surgencia que ocurren a lo largo de la costa.

Si se establece una asociación entre un flujo y una masa de agua y de su permanencia en

el tiempo como criterio para la individualización de una corriente marina, cualquier flujo geostrófico no necesariamente puede identificarse como una corriente propiamente tal, ya que éste podría ser sólo una ramificación de otra corriente o parte de un remolino aislado. En el caso de este flujo más costero el criterio propuesto parece cumplirse en la MARCHILE X pues está asociado a un cuerpo de agua con características definidas y que difieren en parte del agua Subantártica de la Rama Costera de la corriente de Humboldt. En cuanto a su permanencia en el tiempo este flujo puede observarse en las topografías dinámicas de las expediciones CHIPER, marzo de 1960, (BRANDHORST e INOSTROZA, 1965); MARCHILE VI, septiembre de 1967, (ROBLES et als., 1976); MARCHILE VII, marzo de 1968; MARCHILE VIII, agosto-septiembre de 1972 (SIEVERS y SILVA, 1975) y MARCHILE X, julio de 1976. Sin embargo la presencia de agua Subantártica modificada no está siempre presente como es el caso de las expediciones CHIPER y de las MARCHILE VI y VII.

De lo anterior se desprende que el criterio establecido se cumple sólo ocasionalmente, por lo cual no siempre se puede considerar a este flujo como una corriente geostrófica independiente de la Rama Costera de la corriente de Humboldt, como sería en el caso específico de la MARCHILE X.

Durante la realización de la expedición MARCHILE VIII se observó un remolino anticiclónico con una gran intensificación en el campo de la velocidad con valores de hasta 40 cm/seg hacia el norte en latitud 28° S y a unas 100 millas de la costa (SIEVERS y SILVA, 1975). Este remolino no fue observado durante la expedición MARCHILE X por lo cual puede haberse tratado de un fenómeno local ocasional como lo indicaron los autores ya mencionados.

Al sur de los 28° S y al oeste de los 74° W existen indicios de un flujo hacia el sur que también transporta aguas ecuatoriales subsu-

perfiles, pero que no puede ser asociado con la corriente Subsuperficial Perú-Chile. Es posible que este flujo sea parte de un remolino o, tal vez, parte de la contracorriente del Perú que fluye al occidente de la Rama Costera de la corriente de Humboldt.

El transporte geostrófico de volumen, referido a 1000 db, calculado con los datos de la expedición MARCHILE X se indica en la Tabla I. El volumen de agua transportado es relativamente bajo, lo cual concuerda con lo que ya ha sido descrito para las corrientes frontera orientales de los océanos (WOOSTER y REID, 1963).

Es así como los transportes de volumen apenas superan los 7 millones  $m^3$ /seg en dirección norte, en la sección 3. En general se observa que los transportes son hacia el sur con una resultante neta total para toda la zona de 3,6 millones  $m^3$ /seg en dicha dirección.

Si se comparan los volúmenes de agua transportadas durante la expedición MARCHILE X con aquellas correspondientes a las secciones que coinciden con las de la expedición MARCHILE VIII y hasta distancias similares desde la costa, indicados en la Tabla II, se puede observar que en general sólo en la sección 3 el transporte mantiene su dirección norte siendo más intenso durante MARCHILE VIII. En cambio en las otras secciones analizadas se presentaron cambios de dirección e intensidad de flujo siendo siempre más intensos en MARCHILE VIII.

#### CONSIDERACIONES FINALES

1.- Como ha sido descrito anteriormente se han identificado cinco masas de agua principales: Subtropical, Subantártica, Ecuatorial Subsuperficial, Intermedia Antártica y Profunda del Pacífico. La masa de agua Subtropical se ubicó en la zona norte del área estudiada sobre la isopícnica de 25,70 caracterizándose por una alta salinidad ( $> 34,9 ‰$ ). La masa de agua Subantártica cuyo núcleo se centró en la isopícnica de 26,09

se caracterizó por bajas temperaturas y salinidades ( $< 12^\circ C$  y  $< 34,5 ‰$ ). Centrada en la superficie de sigma-teta de 26,44, en la mayor parte del área de estudio, se ubicó la masa de agua Ecuatorial Subsuperficial caracterizada por un máximo de salinidad ( $> 34,6 ‰$ ) asociada a un mínimo de oxígeno disuelto ( $< 1,0$  ml/l). El agua Intermedia Antártica se centró en la superficie de densidad potencial de 27,18 caracterizándose por un mínimo relativo de salinidad ( $< 34,5 ‰$ ) y un máximo relativo de oxígeno ( $> 3,0$  ml/l). A densidades mayores de 27,39 se ubicó la masa de agua Profunda del Pacífico.

2.- La topografía dinámica y la aceleración potencial en la isopícnica de 26,09 referida a 1000 db, indicó la presencia de la Rama Costera de la corriente de Humboldt centrada alrededor de  $73^\circ,5 W$ . Esta corriente alcanzó velocidades máximas en el núcleo de 15 cm/seg y un transporte de volumen de 2,7 millones  $m^3$ /seg frente a Valparaíso.

3.- En los  $21^\circ S$  y a unas 70 millas de la costa, se detectó la presencia de un remolino anticiclónico. Este remolino parece ser una característica permanente de esta zona y aparentemente sería provocado por la existencia de un bolsón de aguas más cálidas.

4.- Centrado alrededor de  $72^\circ W$  se presentó, en superficie, un flujo débil hacia el sur resultante de un afloramiento de la corriente Subsuperficial Perú-Chile.

5.- La corriente Subsuperficial Perú-Chile se desplazó alejada de la costa al norte de los  $27^\circ S$ , acercándose a ésta y haciéndose más angosta hacia el sur. La velocidad en su núcleo fluctuó entre 9 cm/seg y 20 cm/seg con un transporte máximo de 4,0 millones  $m^3$ /seg frente a Antofagasta.

6.- Se determinó la presencia de un flujo septentrional muy costero al norte de los  $29^\circ S$  que transporta aguas con características un tanto distintas, mayor salinidad y menor oxígeno, que el agua Subantártica propia de la Rama Costera de la corriente de Humboldt y para la cual se había

propuesto el nombre de corriente Costera de Chile. Este flujo, si bien muestra permanencia en el tiempo, sólo ocasionalmente está asociado a un cuerpo de agua con características distintas (modificadas) de las aguas subantárticas por lo que no puede, en principio, ser considerado como una corriente geostrófica independiente de la Rama Costera de la corriente de Humboldt.

7.- Las corrientes presentes sólo afectaron

hasta profundidades del orden de 500 m. Bajo esta profundidad la velocidad geostrófica referida a 1000 db es menor de 2 cm/seg.

8.- El transporte geostrófico de volumen referido a 1000 db fue relativamente bajo, superando levemente los 7 millones  $m^3$ /seg en dirección norte frente a Antofagasta. La resultante neta total en el sentido meridional de toda la zona fue de 3,6 millones  $m^3$ /seg hacia el sur.

# T A B L A I

17

TRANSPORTE DE VOLUMEN EN MILLONES DE m<sup>3</sup>/seg.

MASAS DE AGUA	DENSIDADES POTENCIALES LIMITES ( $\sigma_\theta$ )	TRANSPORTE *	
		NORTE	SUR
<b>SECCION 1 (18° 28' S)</b>			
Subtropical	Sup. mar y 25,70	+ 0,229	- 0,198
Subantártica	25,70 y 26,34	+ 0,368	- 0,300
Ecuatorial Subsuperficial	26,34 y 26,97	+ 1,785	- 1,510
Intermedia Antártica	26,97 y 27,39	+ 0,797	- 0,763
<b>TOTALES</b>		+ 3,179	- 2,771
<b>SECCION 2 (20° 08' S)</b>			
Subtropical	Sup. mar y 25,70	+ 0,030	- 0,314
Subantártica	25,70 y 26,34	+ 0,155	- 0,684
Ecuatorial Subsuperficial	26,34 y 26,97	+ 1,146	- 2,232
Intermedia Antártica	26,97 y 27,39	+ 0,876	- 0,415
<b>TOTALES</b>		+ 2,207	- 3,645
<b>SECCION 3 (23° 21' S)</b>			
Subtropical	Sup. mar y 25,70	+ 0,468	- 0,348
Subantártica	25,70 y 26,34	+ 1,517	- 1,177
Ecuatorial Subsuperficial	26,34 y 26,97	+ 3,530	- 3,356
Intermedia Antártica	26,97 y 27,39	+ 1,740	- 1,118
<b>TOTALES</b>		+ 7,255	- 5,999
<b>SECCION 4 (26° 22' S)</b>			
Subtropical	Sup. mar y 25,70	+ 0,028	---
Subantártica	25,70 y 26,34	+ 1,027	- 1,590
Ecuatorial Subsuperficial	26,34 y 26,97	+ 0,833	- 2,216
Intermedia Antártica	26,97 y 27,34	+ 0,640	- 0,386
<b>TOTALES</b>		+ 2,528	- 4,192
<b>SECCION 5 (28° 27' S)</b>			
Subtropical	Sup. mar y 25,70	+ 0,323	---
Subantártica	25,70 y 26,34	+ 0,568	- 0,595
Ecuatorial Subsuperficial	26,34 y 26,97	+ 0,965	- 1,513
Intermedia Antártica	26,97 y 27,34	+ 0,433	- 0,595
<b>TOTALES</b>		+ 2,289	- 2,703
<b>SECCION 6 (29° 59' S)</b>			
Subantártica	Sup. mar y 26,34	+ 1,191	- 1,437
Ecuatorial Subsuperficial	26,34 y 26,97	+ 2,020	- 3,482
Intermedia Antártica	26,97 y 27,34	+ 0,782	- 1,290
<b>TOTALES</b>		+ 3,993	- 6,209
<b>SECCION 7 (32° 59' S)</b>			
Subtropical	Sup. mar y 25,70	---	- 0,153
Subantártica	25,70 y 26,34	+ 1,613	- 0,829
Ecuatorial Subsuperficial	26,34 y 26,97	+ 1,358	- 1,582
Intermedia Antártica	26,97 y 27,34	+ 0,936	- 0,871
<b>TOTALES</b>		+ 3,907	- 3,435

\* El signo positivo indica flujo al norte, el signo negativo indica flujo al sur.

## T A B L A I I

Comparación de transportes de volumen, a través de secciones de áreas aproximadamente similares entre las O. O. MARCHILE VIII y X (millones de metros cúbicos por segundo)

	MARCHILE VIII (16 de Ago. al 8 de Sept. 1972)		MARCHILE X (1 al 28 de Jul. 1976)	
	SECCION 3		SECCION 3	
Latitud	23° 48' S		23° 21' S	
Nº Est. Oceanográfica	24 a 31		20 a 27	
MASAS DE AGUA	TRANSPORTE			
	Norte	Sur	Norte	Sur
Subtropical	+ 1,749	- 0,486	+ 0,468	- 0,348
Subantártica	+ 0,735	- 0,428	+ 1,517	- 1,177
Ecuat. Subsuperficial	+ 1,849	- 1,804	+ 3,530	- 3,356
Intermedia Antártica	+ 1,590	- 0,902	+ 1,740	- 1,118
Totales parciales	+ 5,923	- 3,620	+ 7,255	- 5,999
Total neto	+ 2,303		+ 1,256	
	SECCION 4		SECCION 5	
Latitud	28° 06' S		28° 27' S	
Nº Est. Oceanográfica	38 a 44		36 a 42	
MASAS DE AGUA	TRANSPORTE			
	Norte	Sur	Norte	Sur
Subtropical	---	---	+ 0,323	---
Subantártica	+ 2,924	- 2,578	+ 0,568	- 0,595
Ecuat. Subsuperficial	+ 3,256	- 3,231	+ 0,965	- 1,513
Intermedia Antártica	+ 2,046	- 1,516	+ 0,433	- 0,595
Totales parciales	+ 8,226	- 7,325	+ 2,289	- 2,703
Total neto	+ 0,901		- 0,414	
	SECCION 5		SECCION 7	
Latitud	33° 36' S		32° 59' S	
Nº Est. Oceanográfica	58 a 63		53 a 60	
MASAS DE AGUA	TRANSPORTE			
	Norte	Sur	Norte	Sur
Subtropical	---	---	---	- 0,153
Subantártica	+ 0,160	- 0,687	+ 1,613	- 0,829
Ecuat. Subsuperficial	+ 0,950	- 2,023	+ 1,358	- 1,582
Intermedia Antártica	+ 0,363	- 0,476	+ 0,936	- 0,871
Totales parciales	+ 1,473	- 3,186	+ 3,907	- 3,435
Total neto	- 1,713		+ 0,472	

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento y reconocimiento:

A los Directores del Instituto Hidrográfico de la Armada, Contraalmirante Sr. John Howard B. y Capitán de Navío Sr. Mariano A. Sepúlveda M., por las facilidades otorgadas para la realización e impresión del presente trabajo de investigación científica.

Al Comandante del AGS "YELCHO" Capitán de Corbeta Sr. Gastón Droguett V. y a los oficiales y tripulación de dicho buque por la excelente cooperación prestada a bordo durante el desarrollo de la expedición.

A los Señores Reinaldo Aldunate H, Christian Bonert A. y Rubén Palma R. por su prolija labor en el procesamiento de la información.

Al Centro Nacional de Datos Oceanográficos (CENDOC) por las facilidades otorgadas en el cómputo de datos.

## BIBLIOGRAFIA

ALARCON, E. Y J. PINEDA, 1969.- Descripción oceanográfica estacional de las aguas frente a Valparaíso. Bol. Cient. Inst. Fom. Pesq. Santiago, N°11:31 pp.

BRANDHORST, W., 1971.- Condiciones estivales frente a la costa de Chile. Rev. Biol. Mar., Valparaíso, 14 (3) : 45-84.

BRANDHORST, W. y H. INOSTROZA, 1965.- Descripción gráfica de las condiciones oceanográficas de las aguas chilenas en base a los datos de las expediciones "William Scoresby" y "Chiper". Bol. Cient. Inst. Fom. Pesquero Santiago, N° 1, Parte II : 20-70.

CARPENTER, J. H., 1965.- The Chesapeake Bay Institute technique for the Winkler dissolved oxygen method. Limnol. and Oceanogr., 10: 141-143.

GUNTHER, E. R., 1936.- A report on oceanographical investigations in Peru Coastal Current. Discovery Rep., 13: 107-276.

INOSTROZA, H., 1973.- Some oceanographic features of Northern Chilean Waters in July 1962. In oceanography of the South Pacific 1972. Comp. R. Fraser New Zealand National Commission for UNESCO, Wellington : 37-46.

MONTGOMERY, R.B., 1937.- A suggested method for representing gradient flow in isentropic surfaces. Bull. Amer. Meteor. Soc., 18 : 210-212.

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(I): 39-49.

REID, J. L. y 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.

- ROBLES, F., E. ALARCON y A. ULLOA, 1976.- Las masas de agua en la región norte de Chile y sus variaciones en un período frío (1967) y en períodos cálidos (1969, 1971-1973). Reunión de trabajo sobre el Fenómeno conocido como "EL NIÑO", Guayaquil, Ecuador, 4-12 de diciembre de 1974. FAO Inf. Pesca, (185) : 94-196.
- SIEVERS C., H.A. y N. SILVA S., 1975.- Masas de agua y circulación en el Océano Pacífico Sudoriental. Latitudes 18° S - 33° S. (Operación Oceanográfica MARCHILE VIII). Cienc. y Tec. del Mar. Contrib. CONA N° 1 : 7-67.
- SILVA SANDOVAL, N., 1978.- Water mass structure and circulation off southern Chile. Master's Thesis. Corvallis, Oregon State University. 83 pp.
- SILVA S., N. y D. KONOW H., 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 S., N. y S. NESHYBA, 1979.- On the southernmost extension of the Peru-Chile Undercurrent. Deep-Sea Res. 26A: 1387-1393.
- SILVA S., N. y H. A. SIEVERS C., 1974.- Masa de agua, velocidad geostrofica y transporte de volumen entre Valparaíso e isla Robinson Crusoe (Océano Pacífico Sudoriental). Comisión Permanente del Pacífico Sur. Ciencia y Derecho 2 : 103-120.
- SVERDRUP, H. U., M. W. JOHNSON Y R. J. FLEMING, 1942.- The Oceans, their Physics, Chemistry and General Biology. Prentice-Hall, New York, 1087 pp.
- WOOSTER, W.S. y M. GILMARTIN, 1961.- The Peru-Chile Undercurrent. J. Mar. Res., 19 (3) : 97-122.
- WOOSTER, W.S. y J.L. REID Jr., 1963.- Eastern Boundary Currents. The Sea, ideas and observations on progress in the study of the seas. Vol. 2 : 253-280.
- WYRTKI, K., 1963.- The horizontal and vertical field of motion in the Peru Current. Bull. Scripps Inst. of Ocean., 8 (4) : 313-346.
- WYRTKI, K., 1966.- Oceanography of the Eastern Equatorial Pacific Ocean. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 4 : 33-68.
- WYRTKI, K., 1967.- Circulation and water masses in the Eastern Equatorial Pacific Ocean. Int. J. Oceanol. and Limnol., 1 (2) : 117-147.
- WÜST, G., 1935.- Die Stratosphäre des Atlantischen Ozeans, In : Wiss. Ergebn. Deutsche Atlant. Exped. "Meteor", 1925-1927. Vol. 6, Pt. 1, Sect. 2 : 109-288.

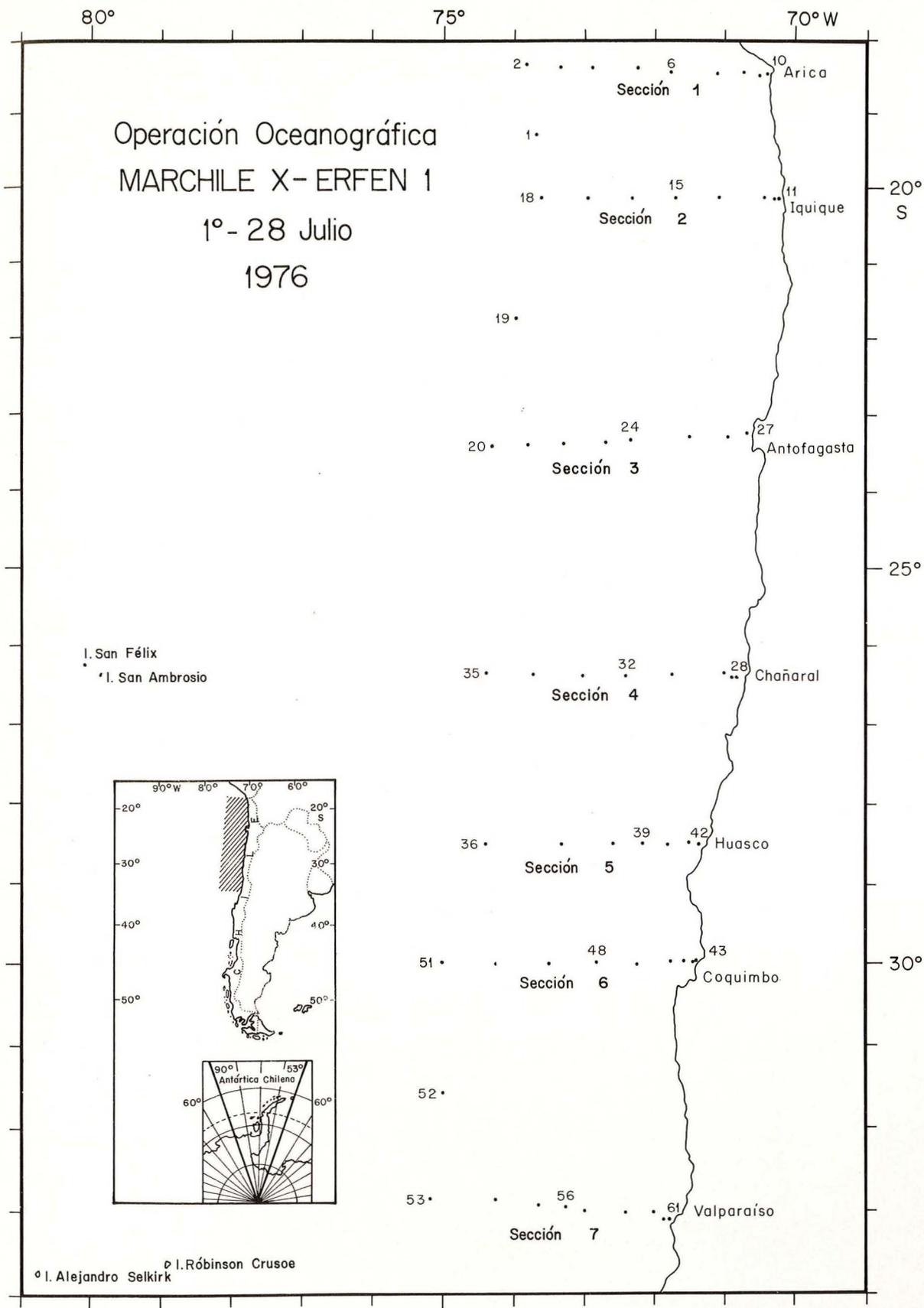


Figura 1.- Posición geográfica de las estaciones oceanográficas.

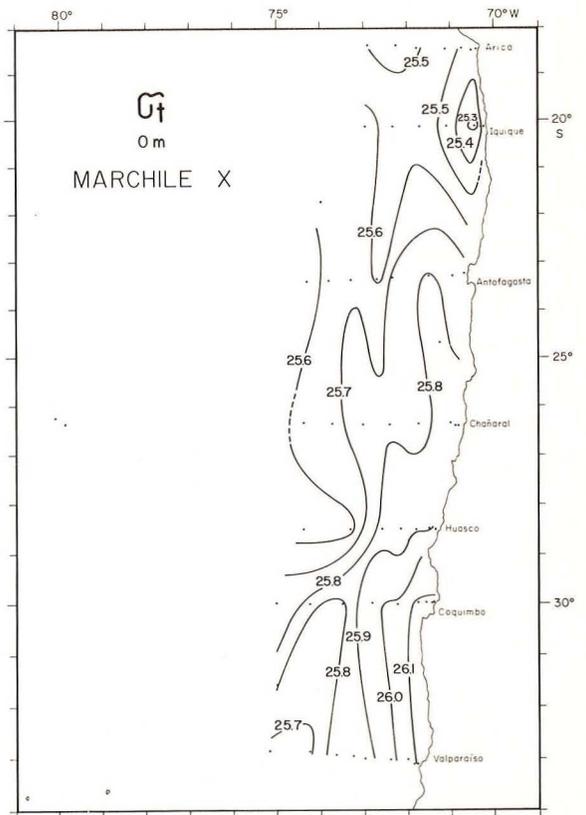
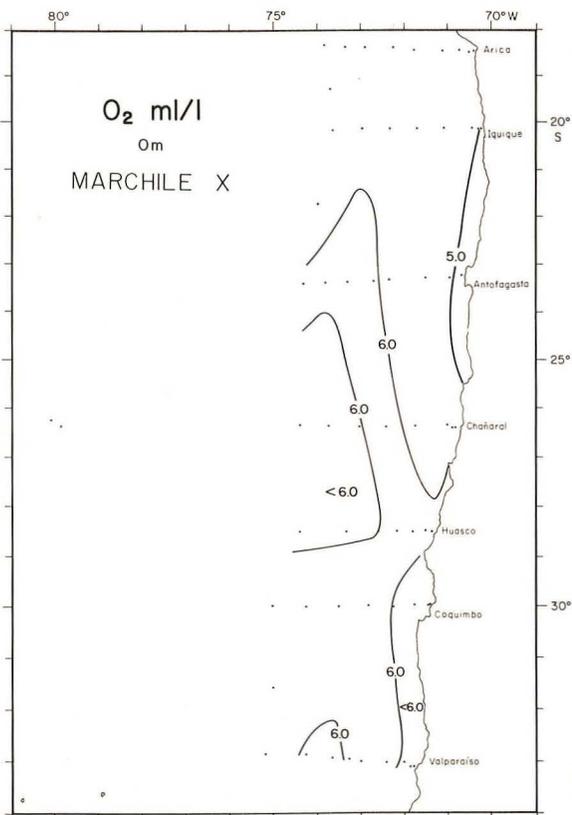
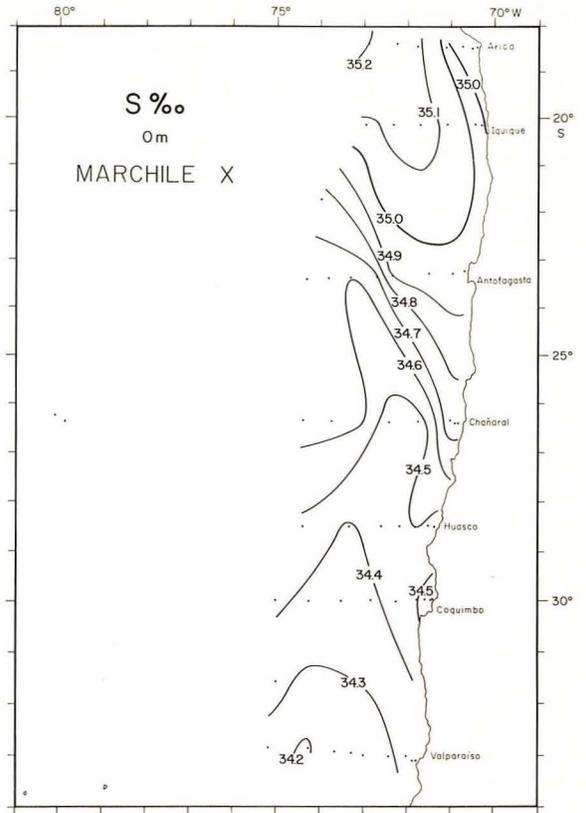
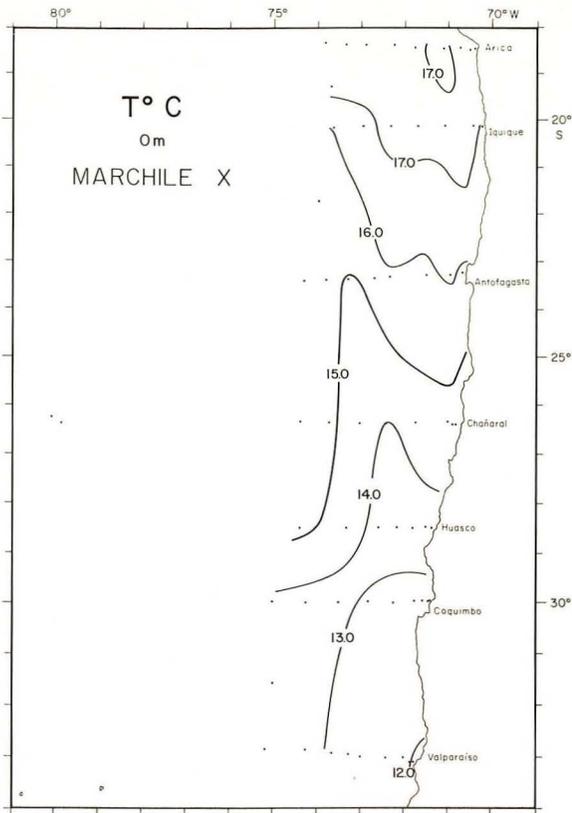


Figura 2.- Distribución superficial de temperatura ( $T^{\circ}\text{C}$ ), salinidad ( $S\text{‰}$ ), oxígeno disuelto  $\text{O}_2$  ml/l) y densidad ( $\sigma_t$ ).

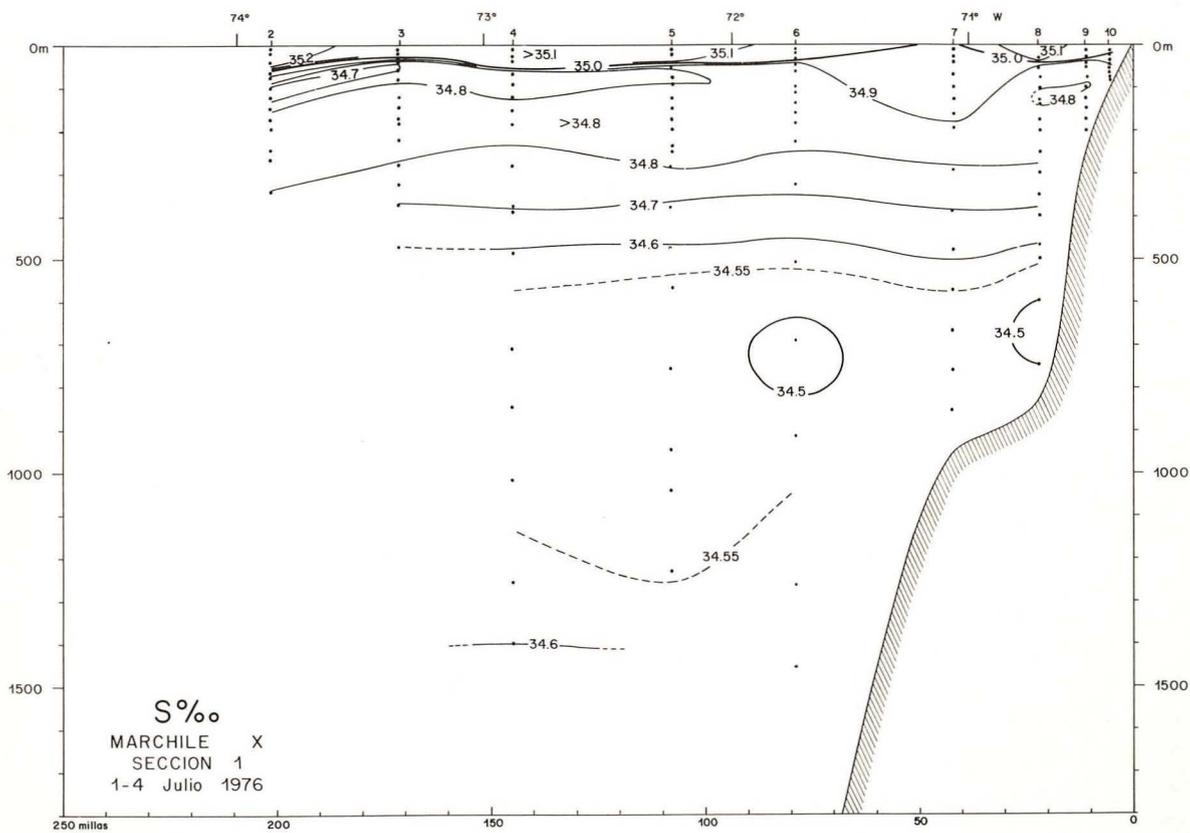
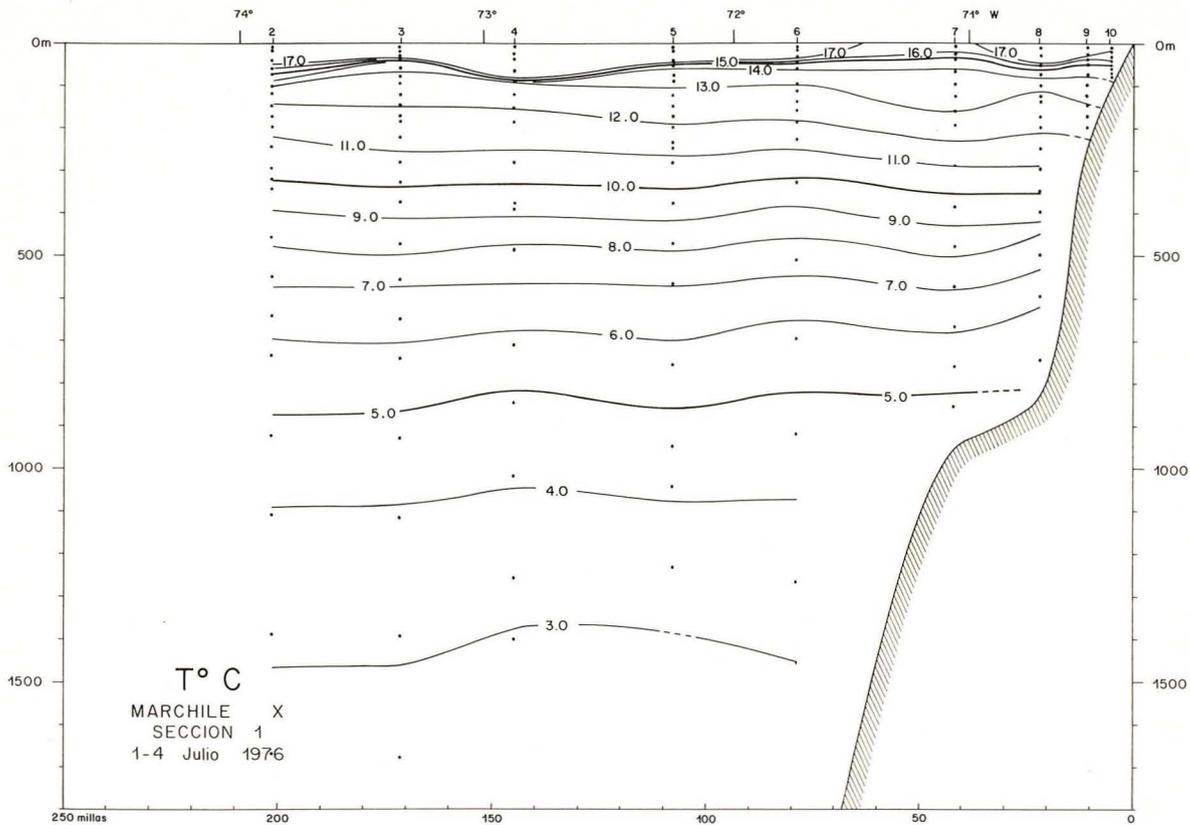


Figura 3a.- Distribución vertical de las isotermas (T°C), e isohalinas (S‰) en la sección 1 (18° 28' S).

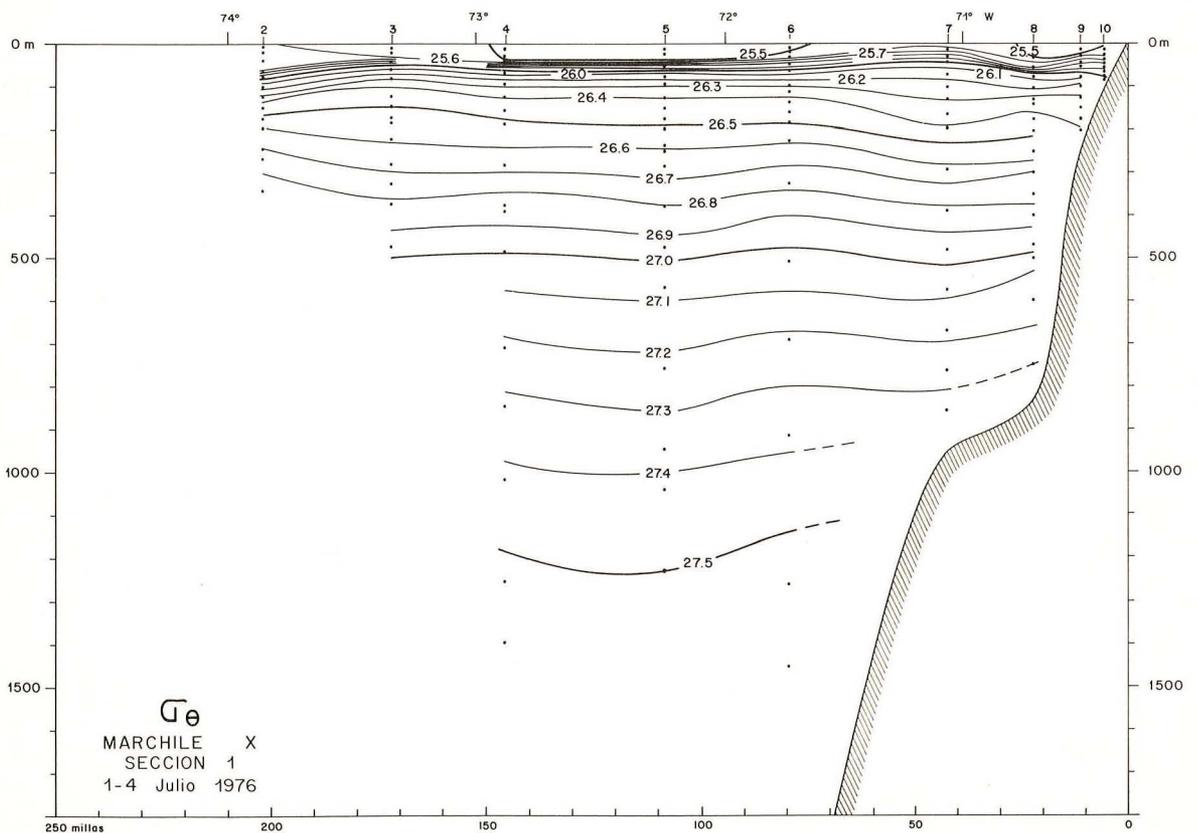
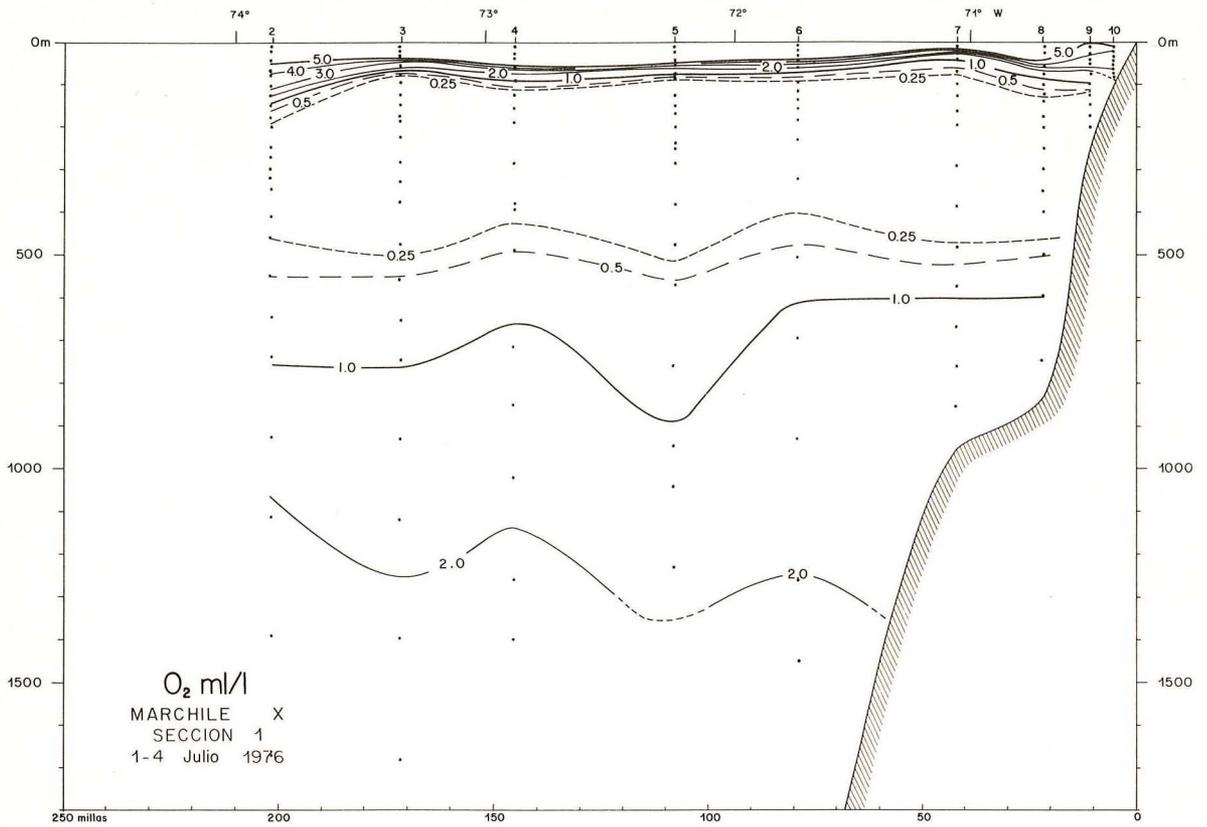


Figura 3b.- Distribución vertical de las isolíneas de oxígeno disuelto ( $O_2$  ml/l) y de la densidad potencial ( $\sigma_\theta$ ) en la sección 1 ( $18^\circ 28' S$ ).

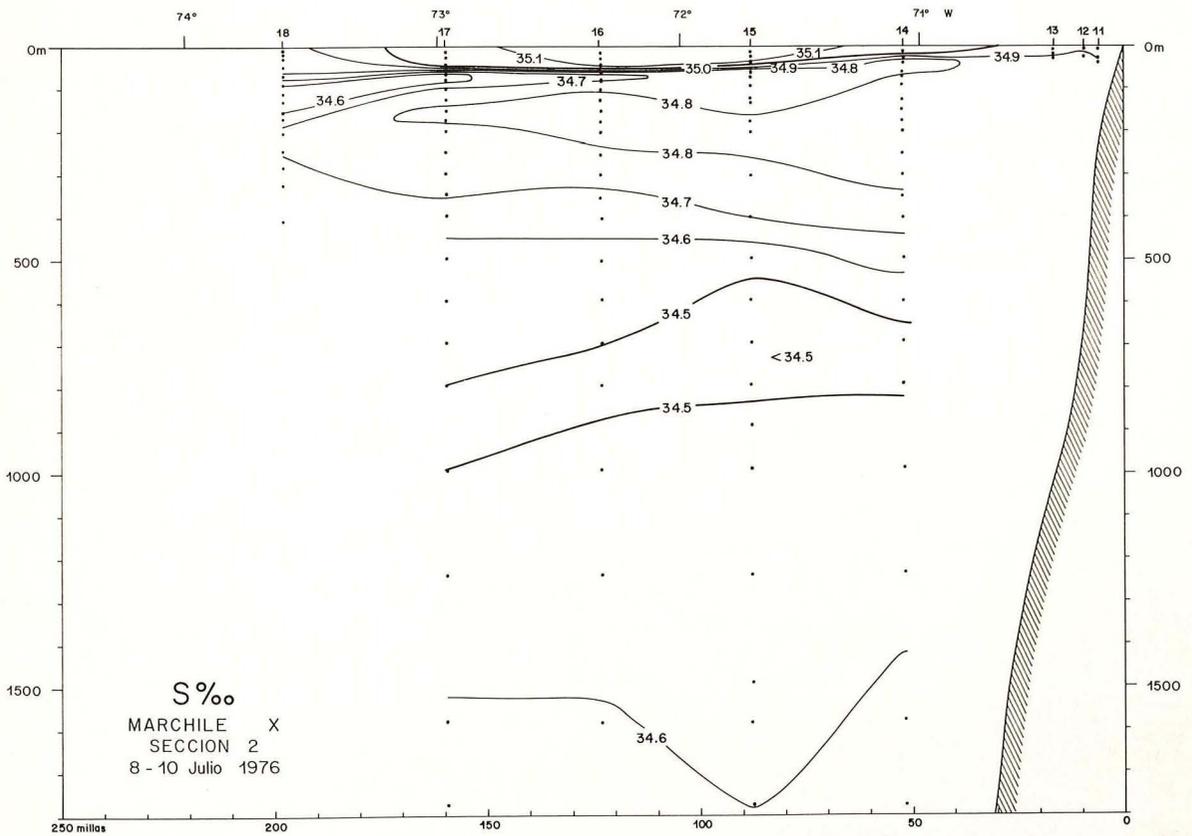
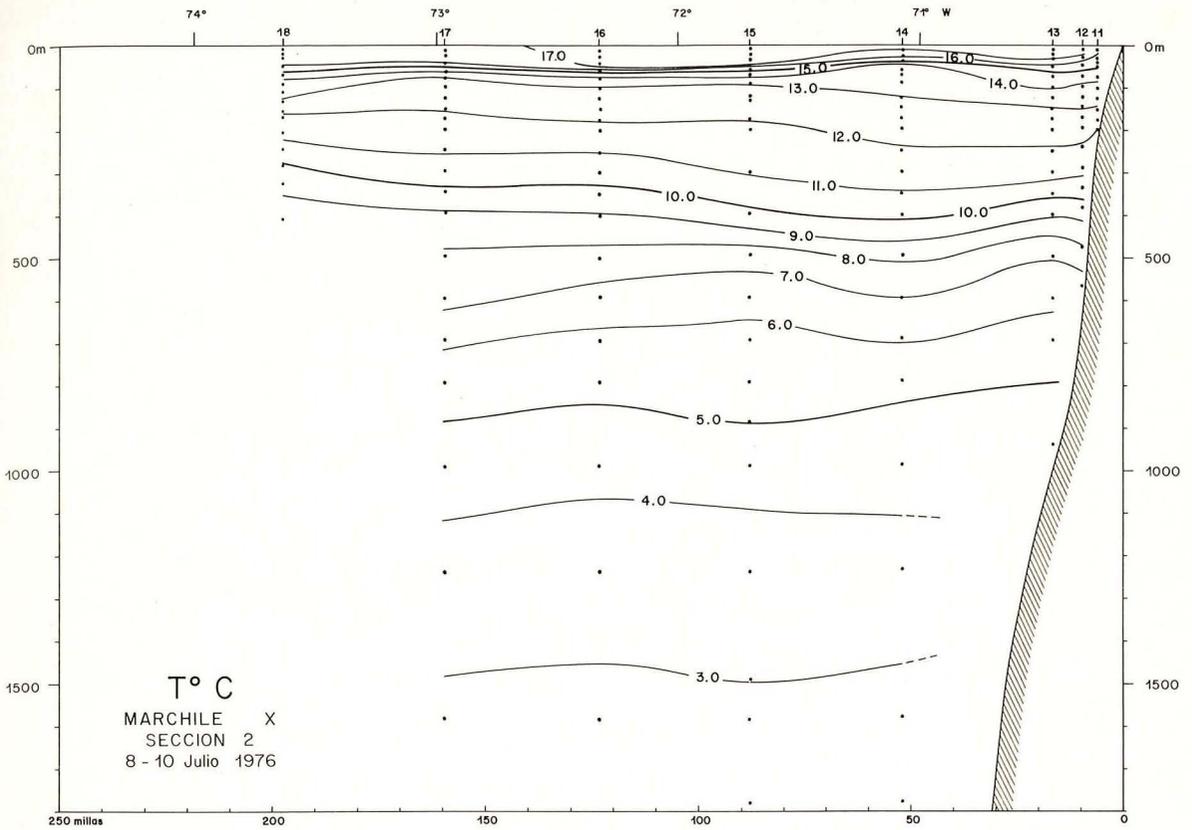


Figura 4a.- Distribución vertical de las isotermas (T°C) e isohalinas (S‰) en la sección 2 (20° 08' S).

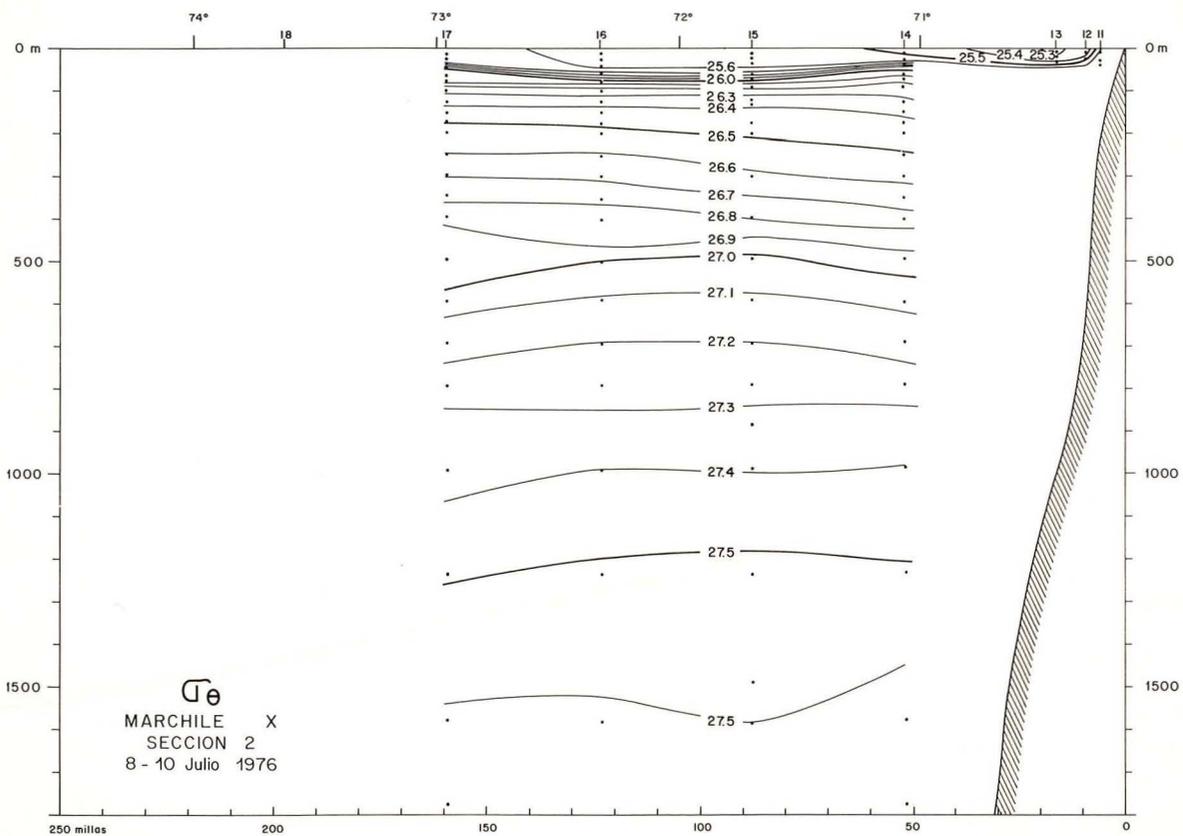
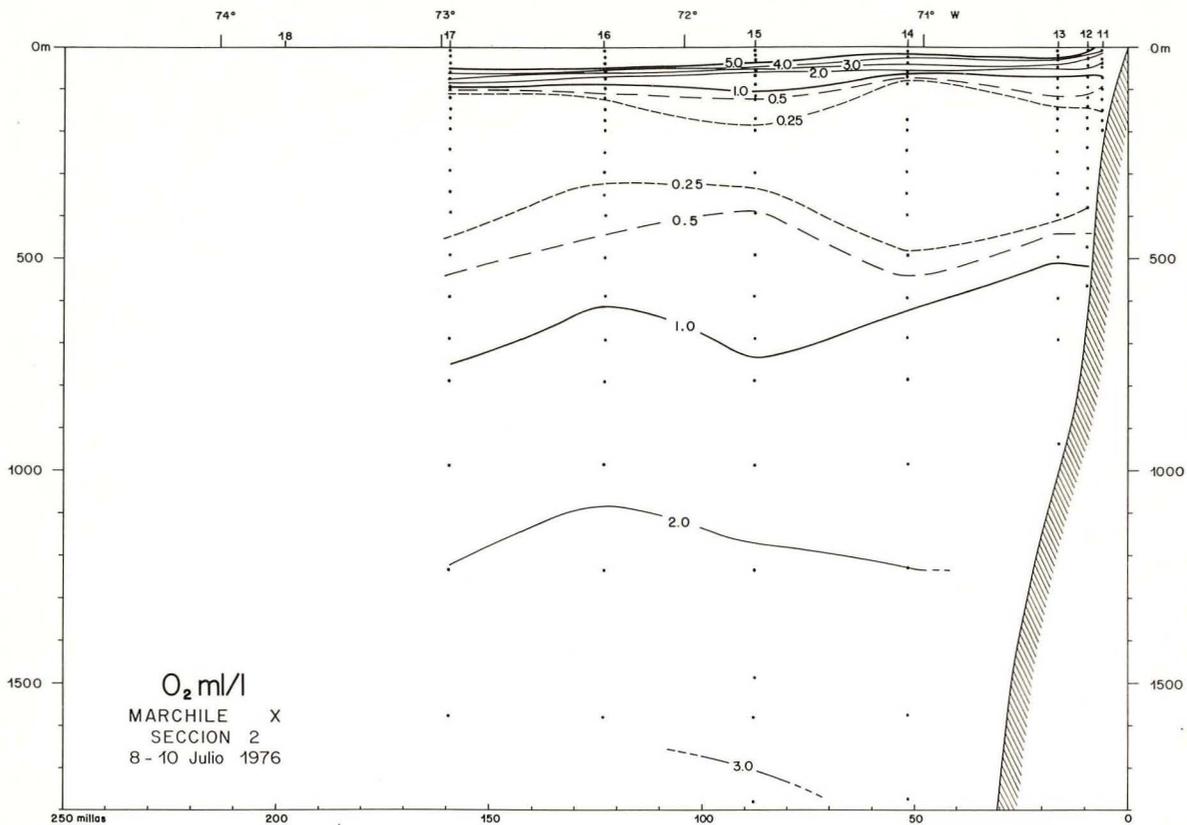


Figura 4b.- Distribución vertical de las isóneas de oxígeno disuelto ( $O_2$  ml/l) y de la densidad potencial ( $\sigma_\theta$ ) en la sección 2 ( $20^\circ 08' S$ ).

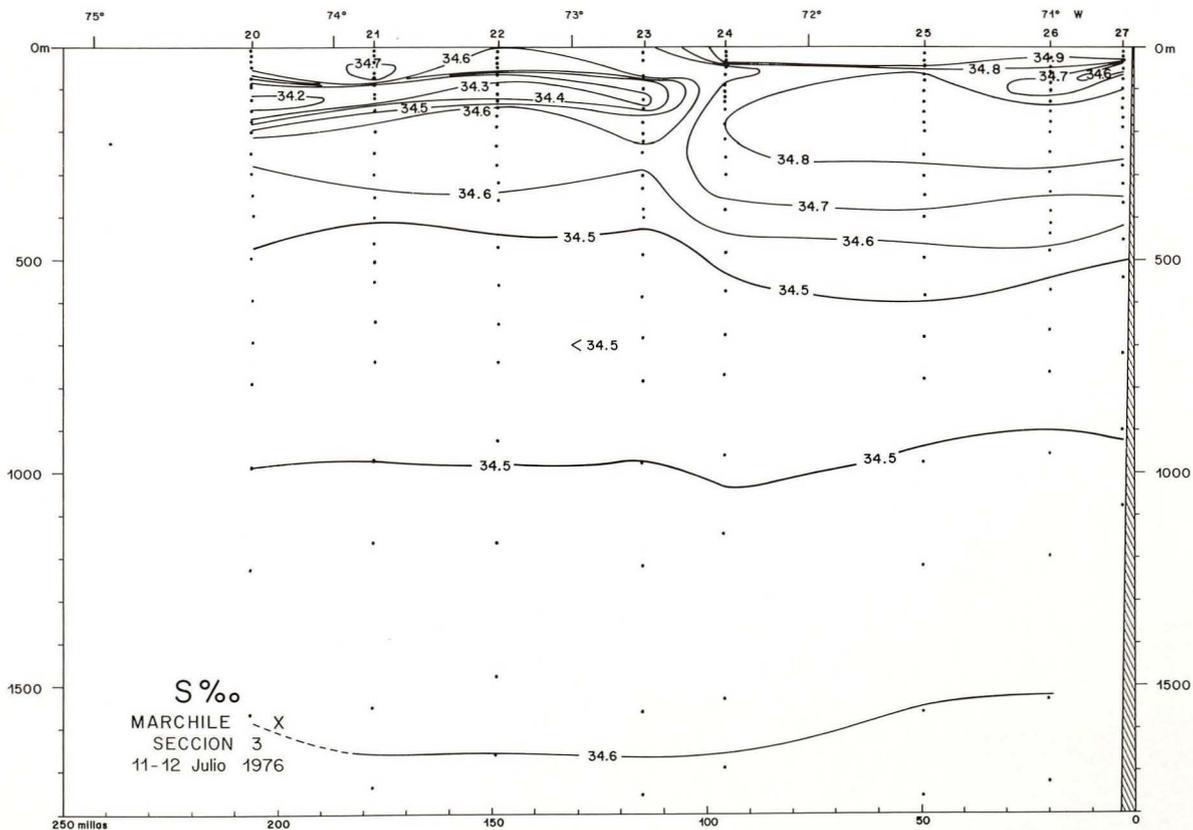
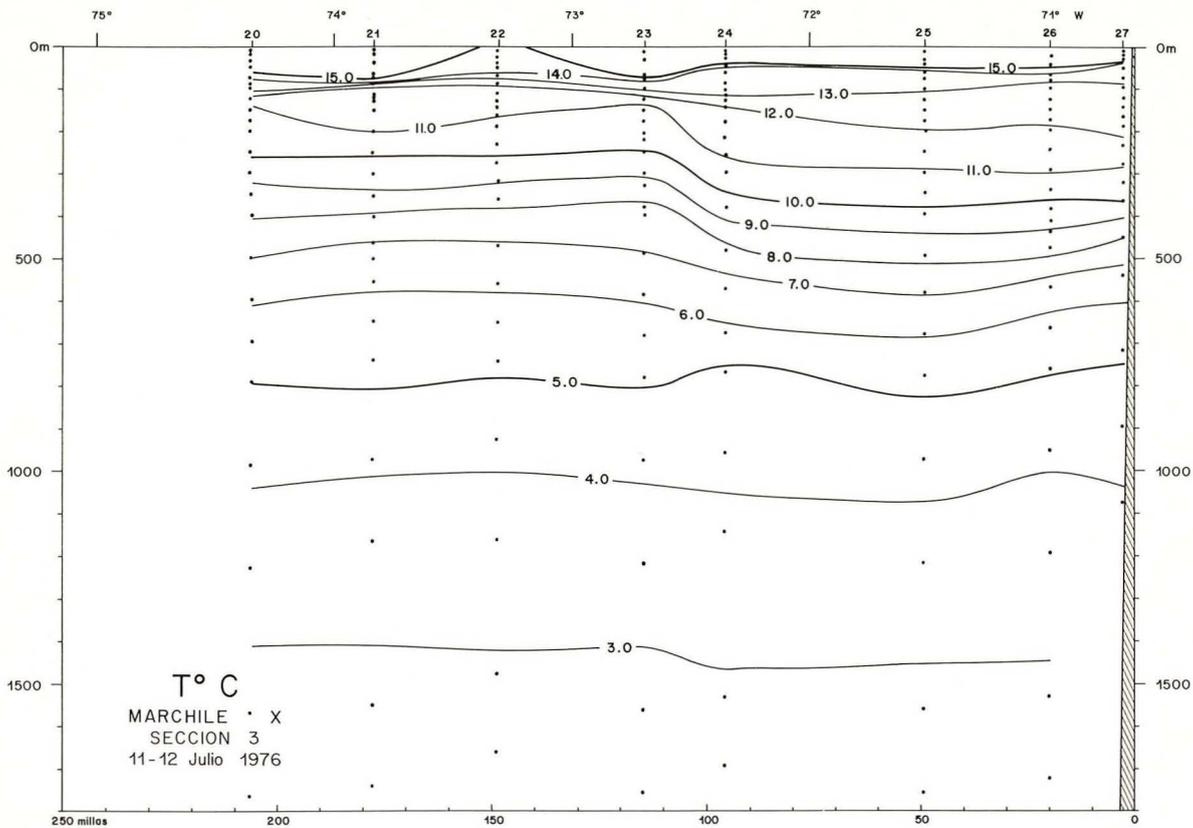


Figura 5a.- Distribución vertical de las isotermas (T°C) e isohalinas (S‰) en la sección 3 (23° 21' S).

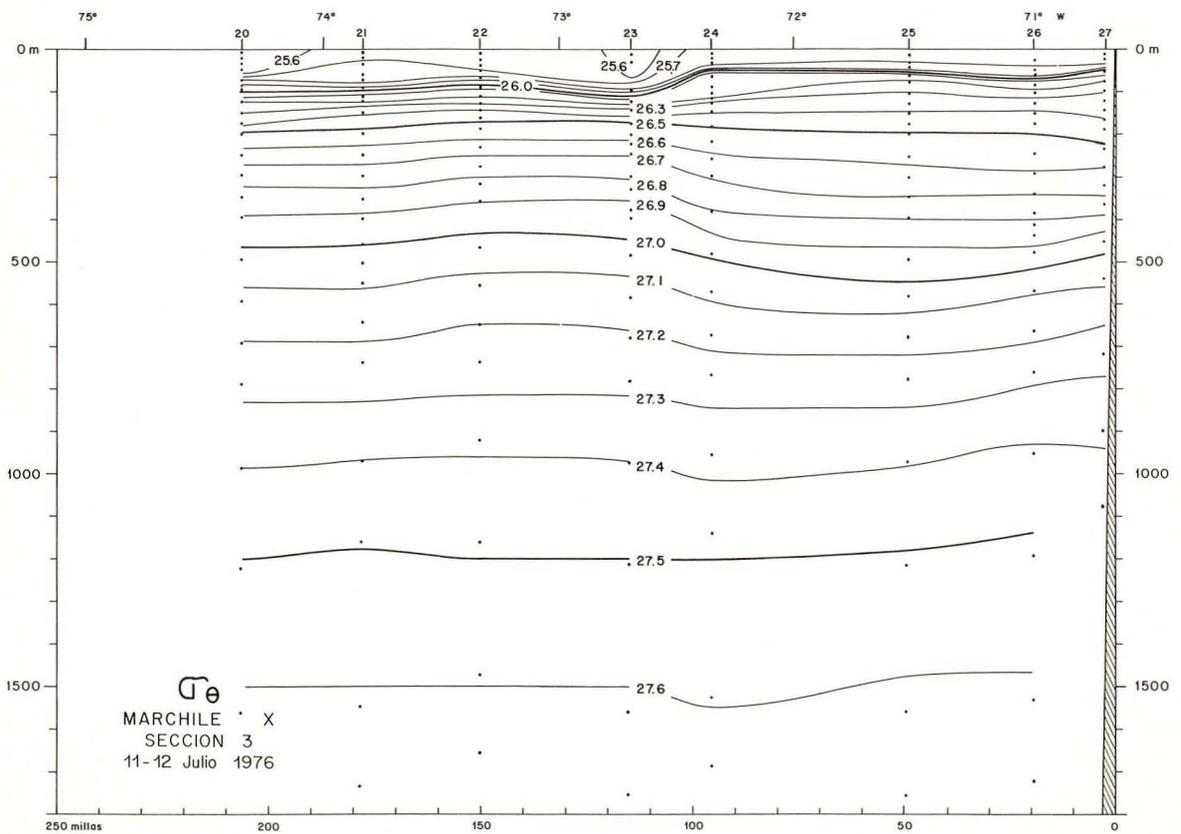
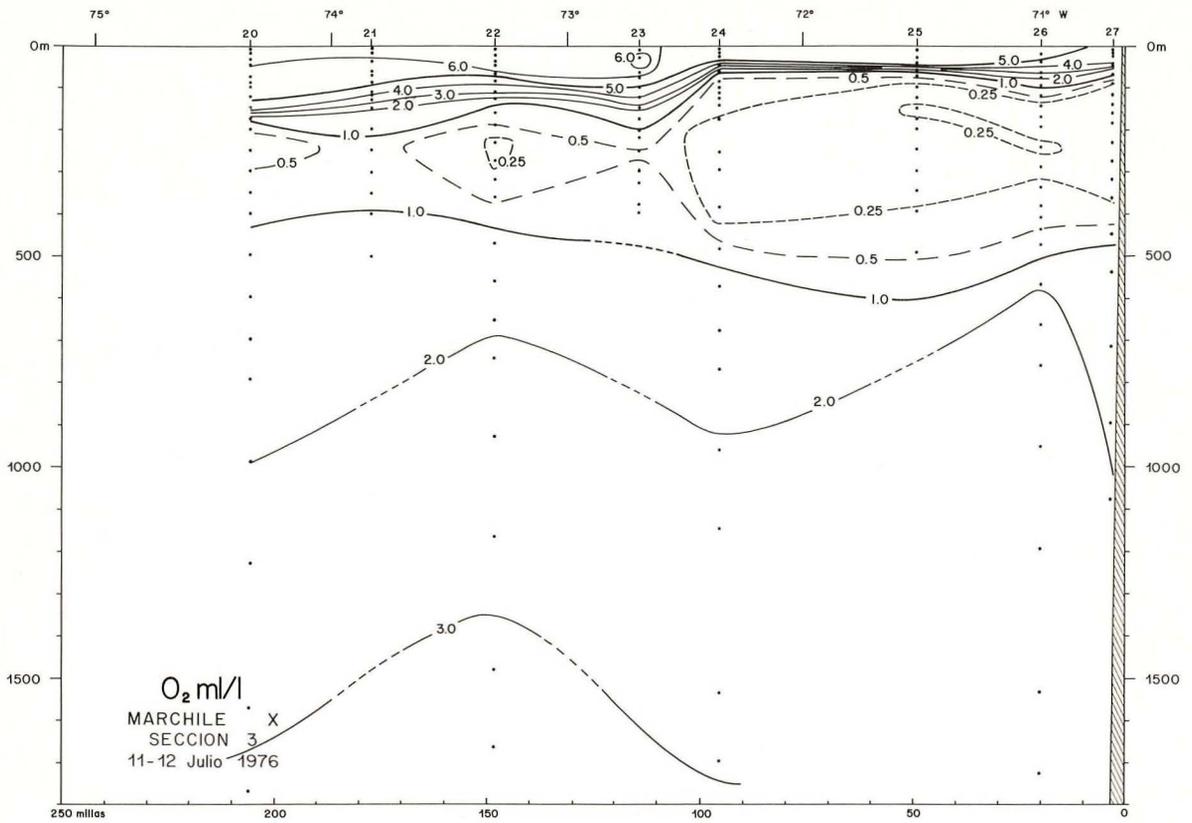


Figura 5b.- Distribución vertical de las isólinas de oxígeno disuelto ( $O_2$  ml/l) y de la densidad potencial ( $\sigma_\theta$ ) en la sección 3 (23° 21' S).

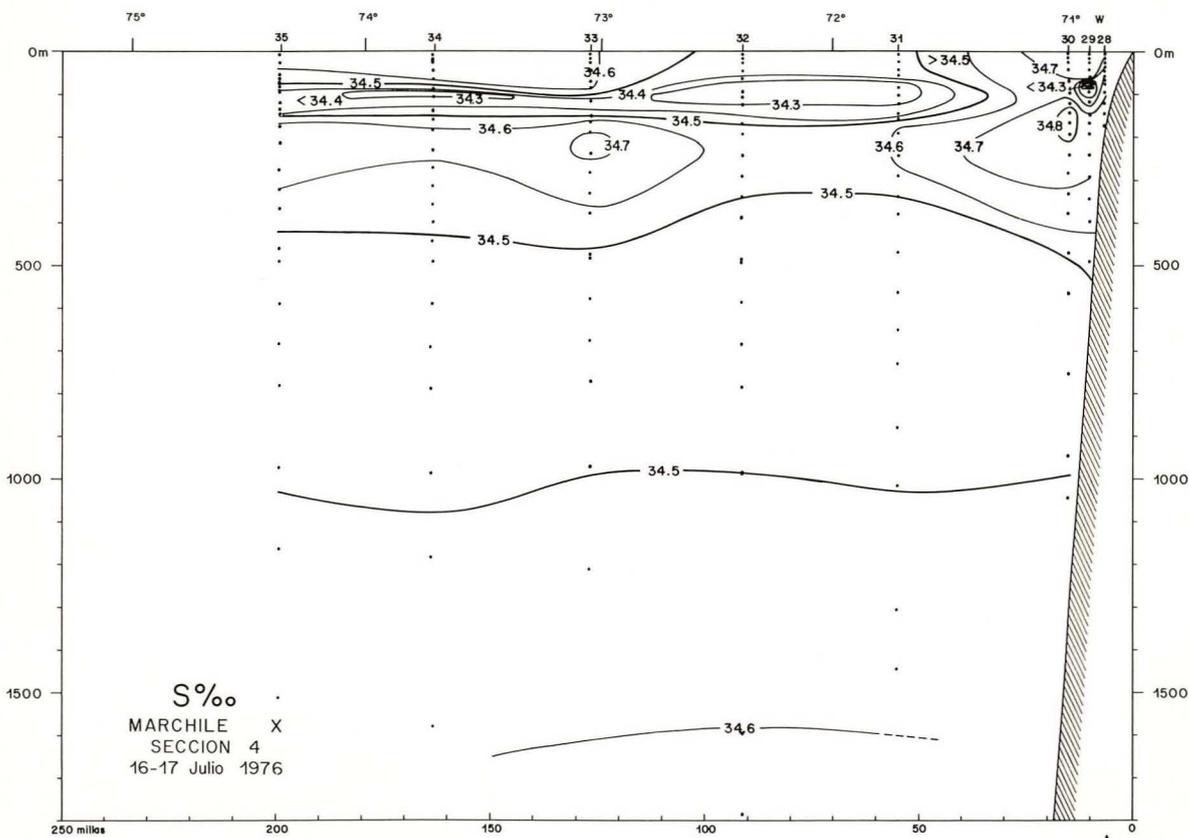
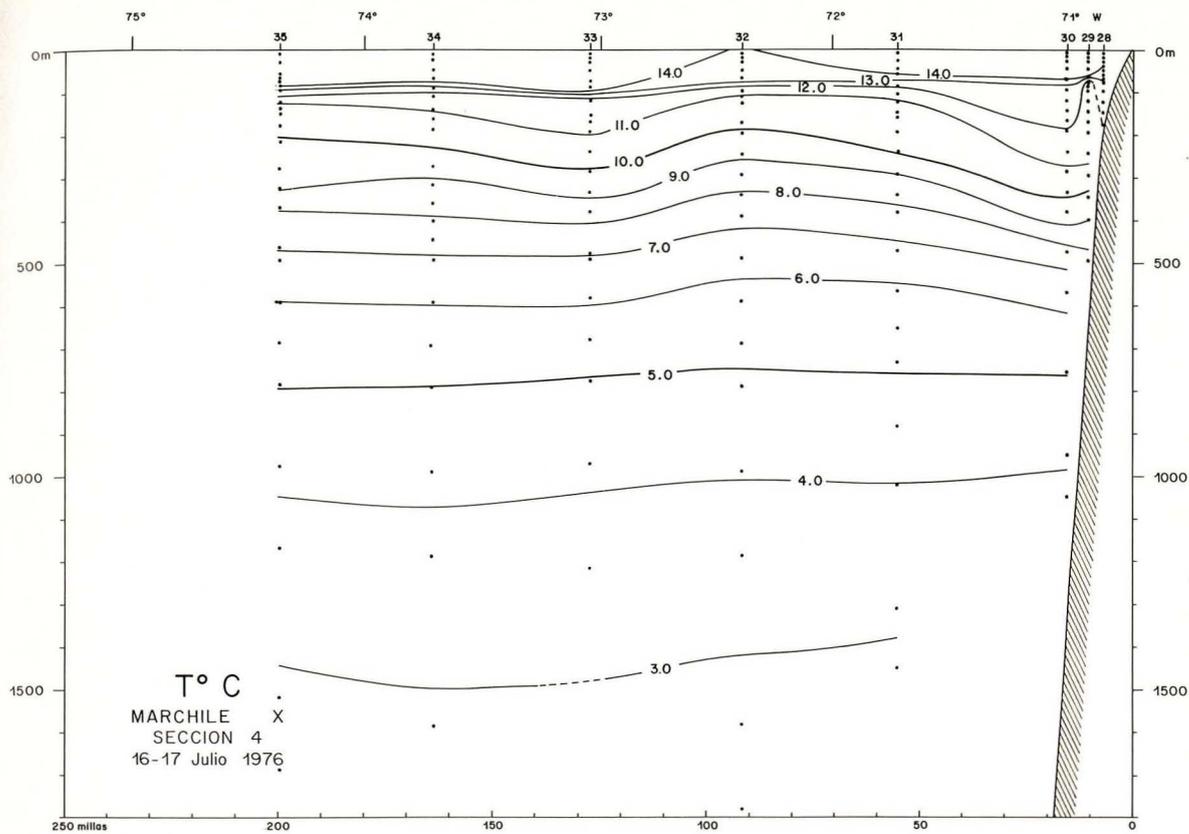


Figura 6a.- Distribución vertical de las isotermas (T°C) e isohalinas (S‰) en la sección 4 (26° 22' S).

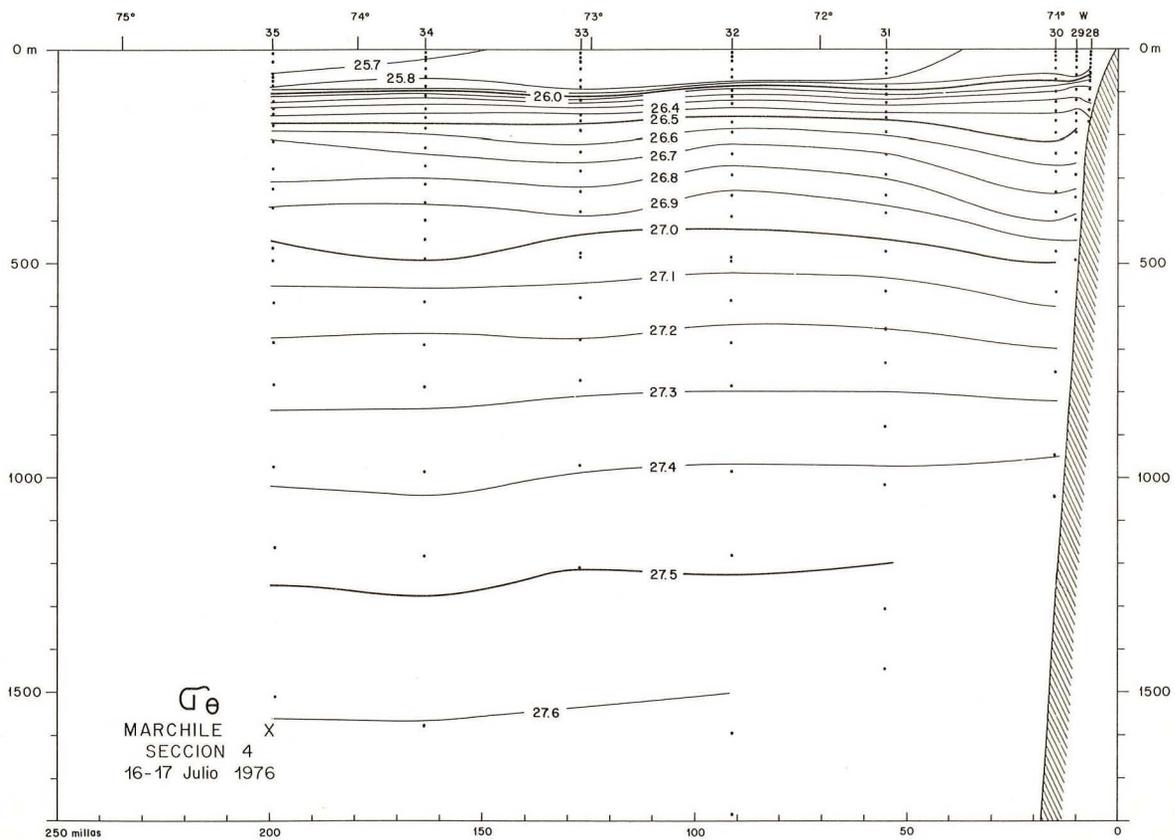
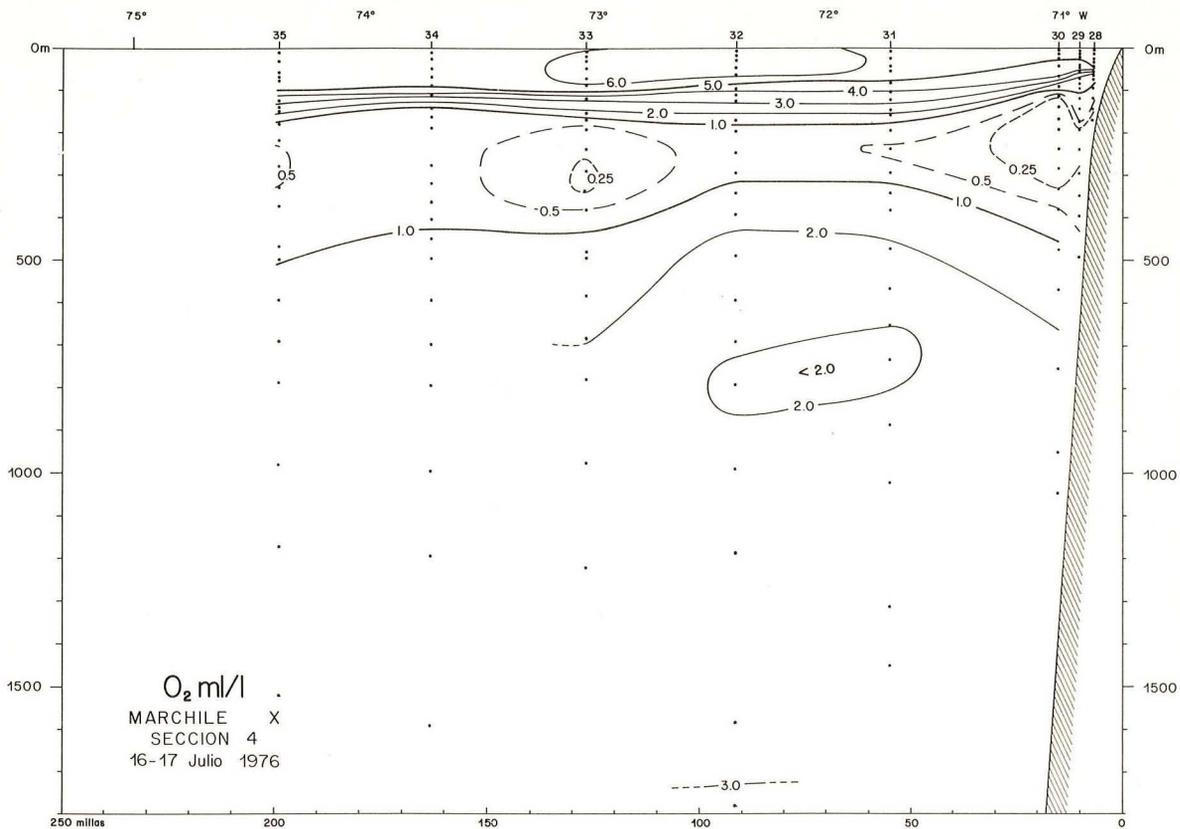


Figura 6b.- Distribución vertical de las isolíneas de oxígeno disuelto ( $O_2$  ml/l) y de la densidad potencial ( $\sigma_\theta$ ) en la sección 4 ( $26^\circ 22' S$ ).

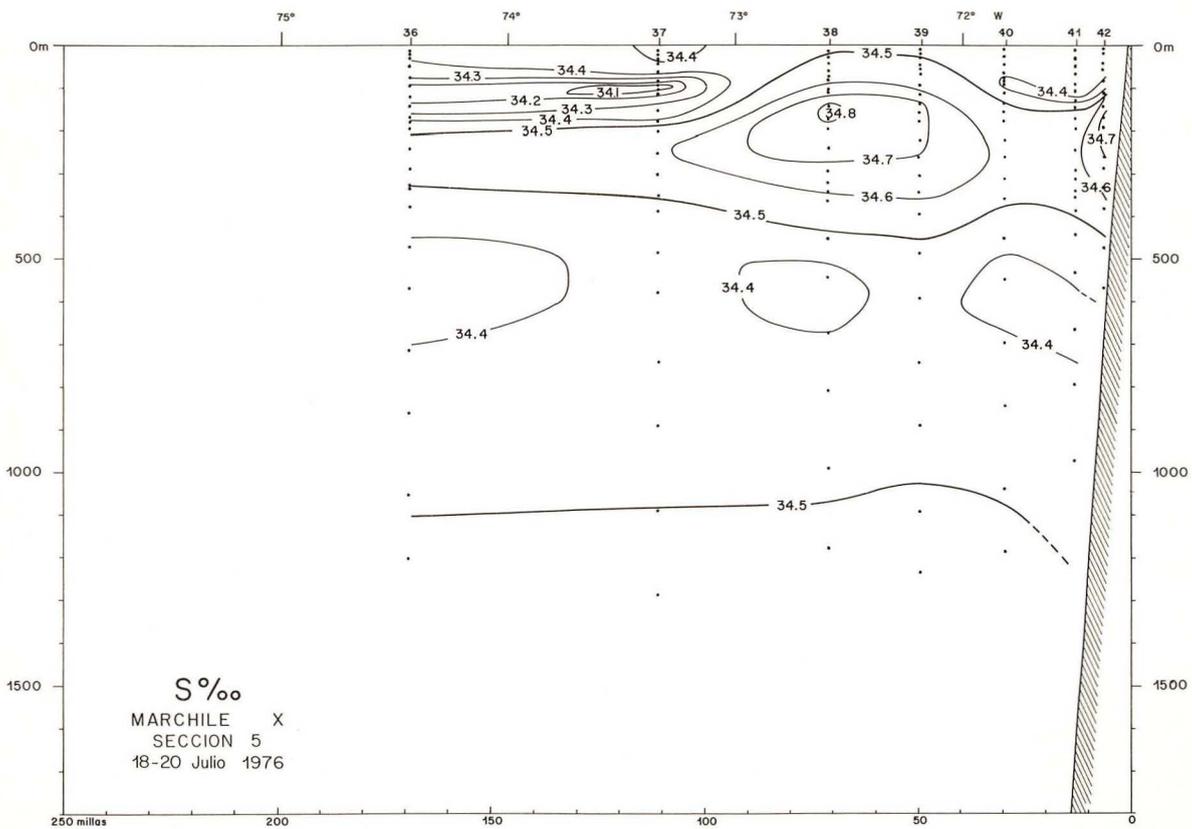
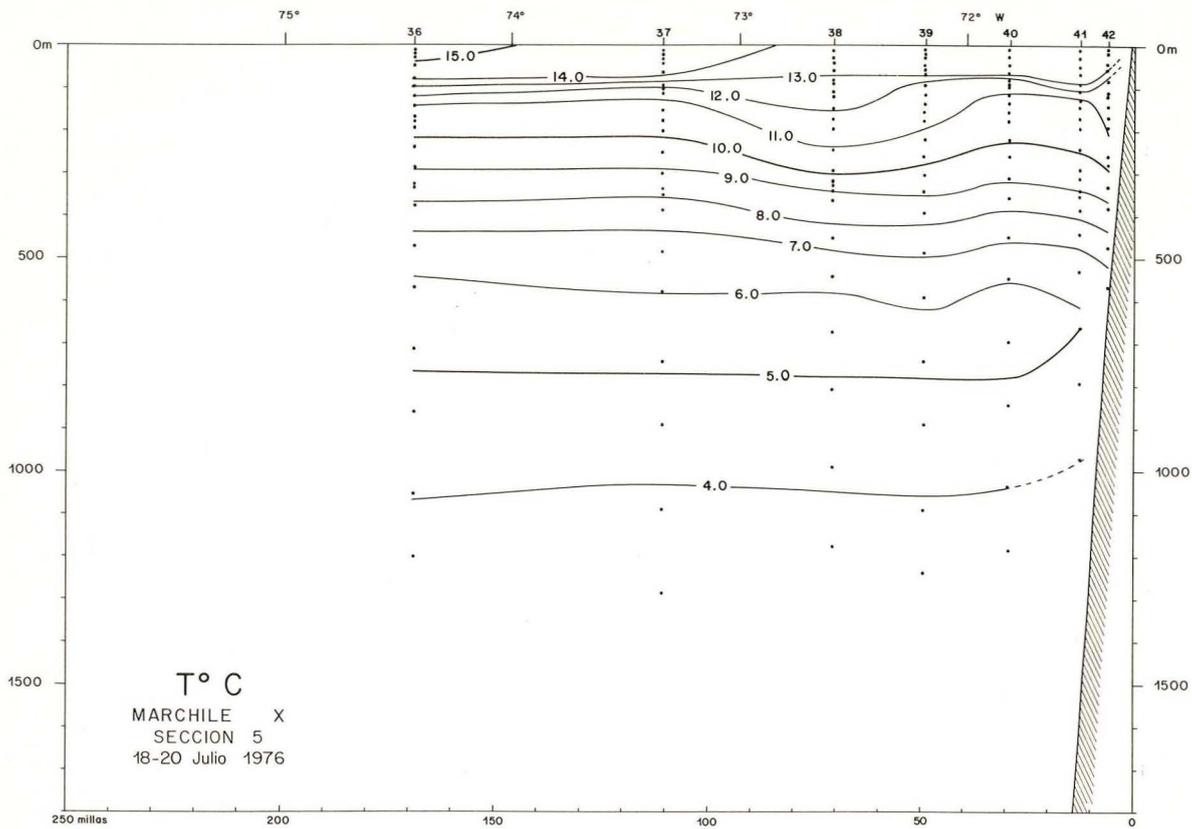


Figura 7a.- Distribución vertical de las isotermas (T °C) e isohalinas (S ‰) en la sección 5 (28° 27' S).

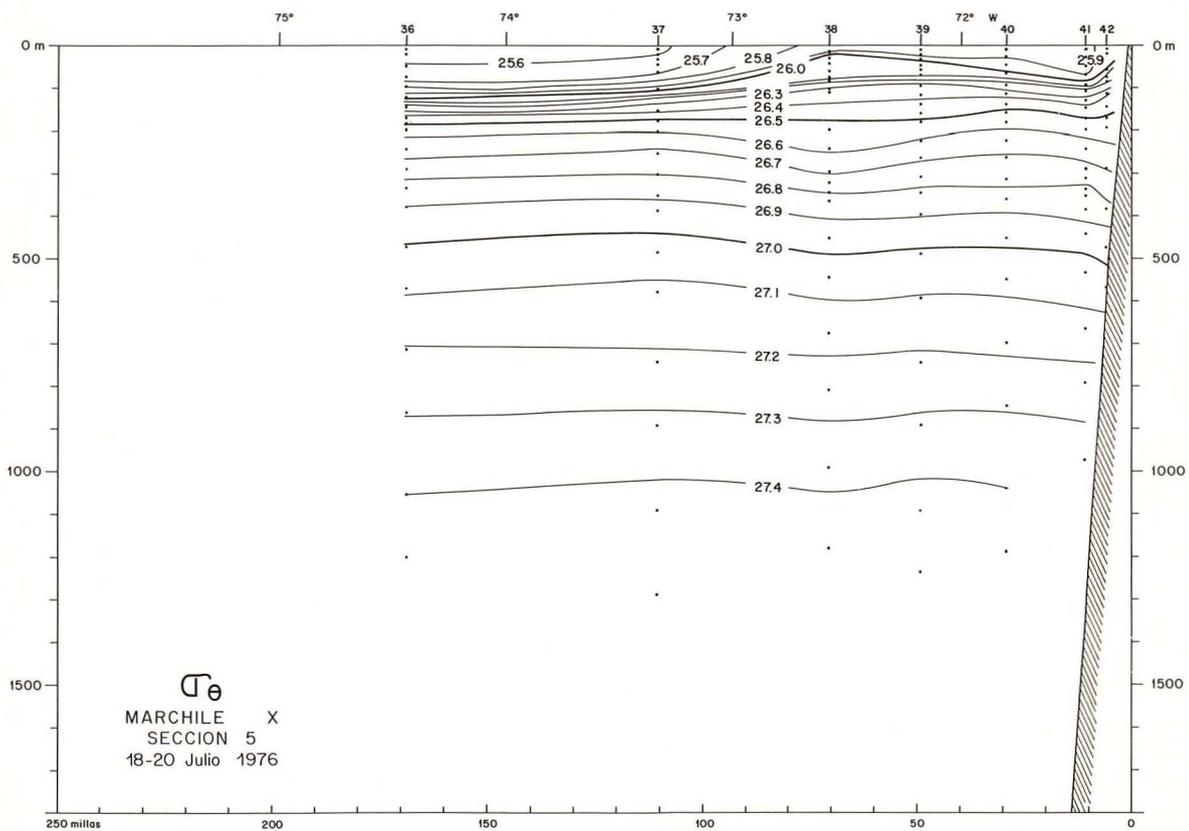
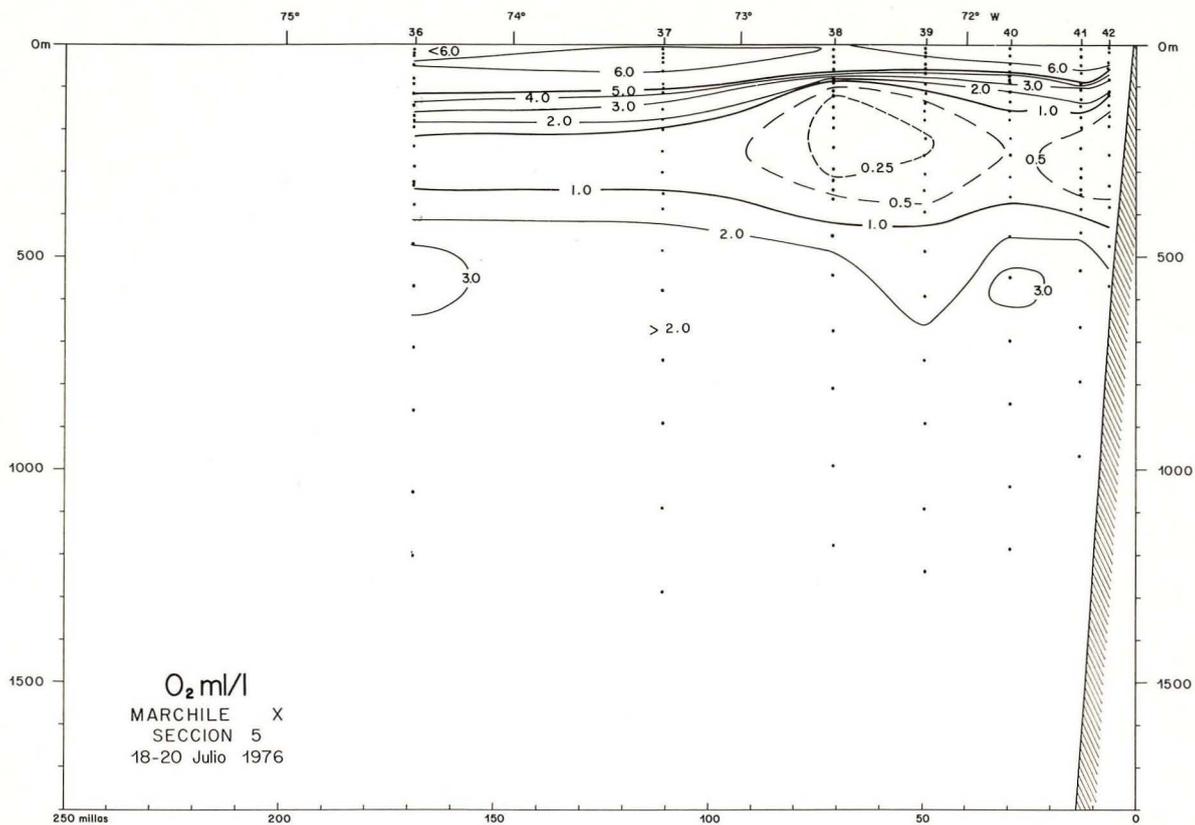


Figura 7b.- Distribución vertical de las isolíneas de oxígeno disuelto (O<sub>2</sub> ml/l) y de la densidad potencial ( $\sigma_\theta$ ) en la sección 5 (28° 27' S).

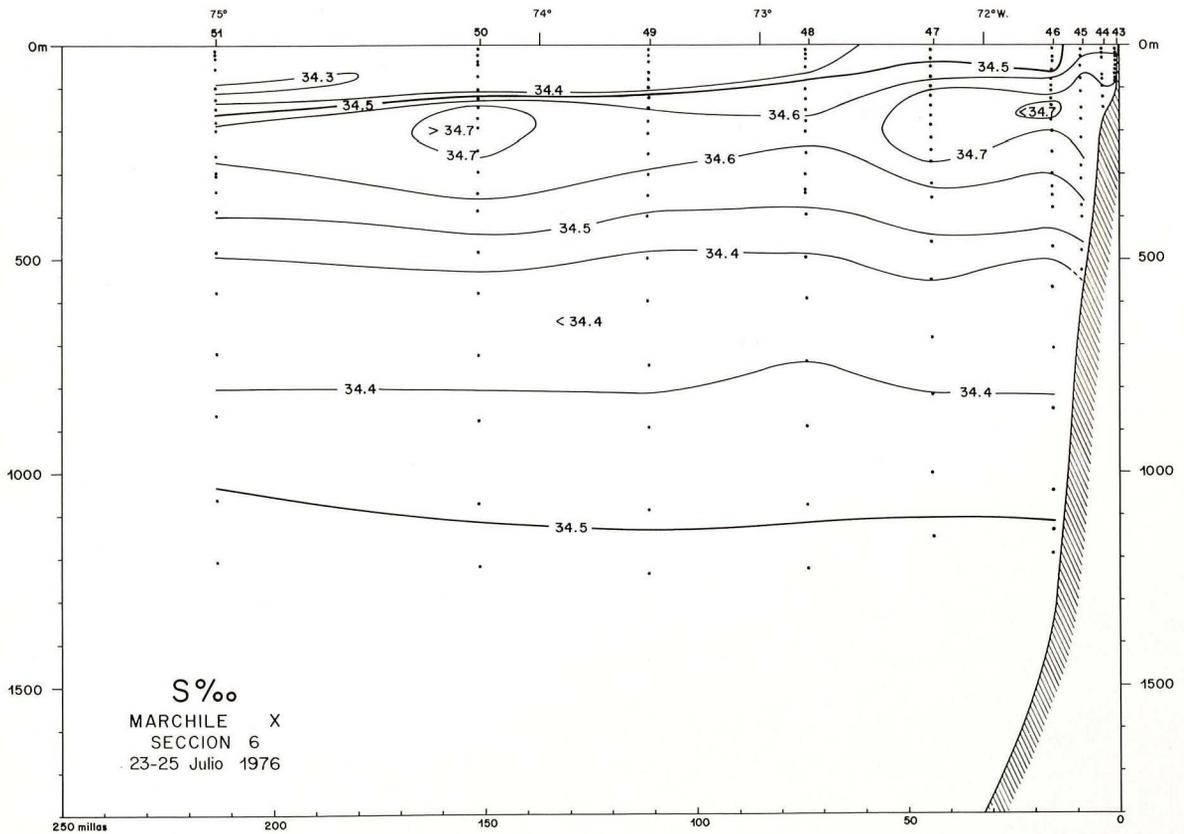
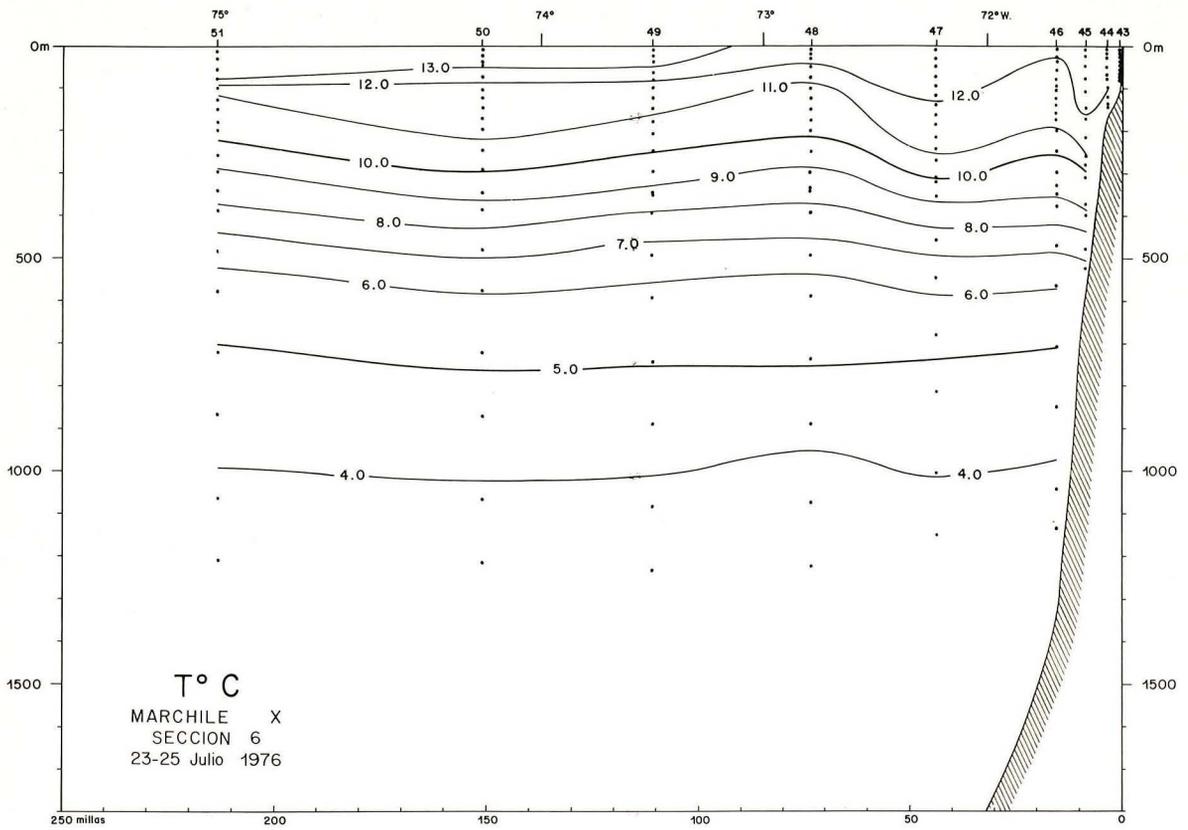


Figura 8a.- Distribución vertical de las isotermas (T °C) e isohalinas (S ‰) en la sección 6 (29° 59' S).

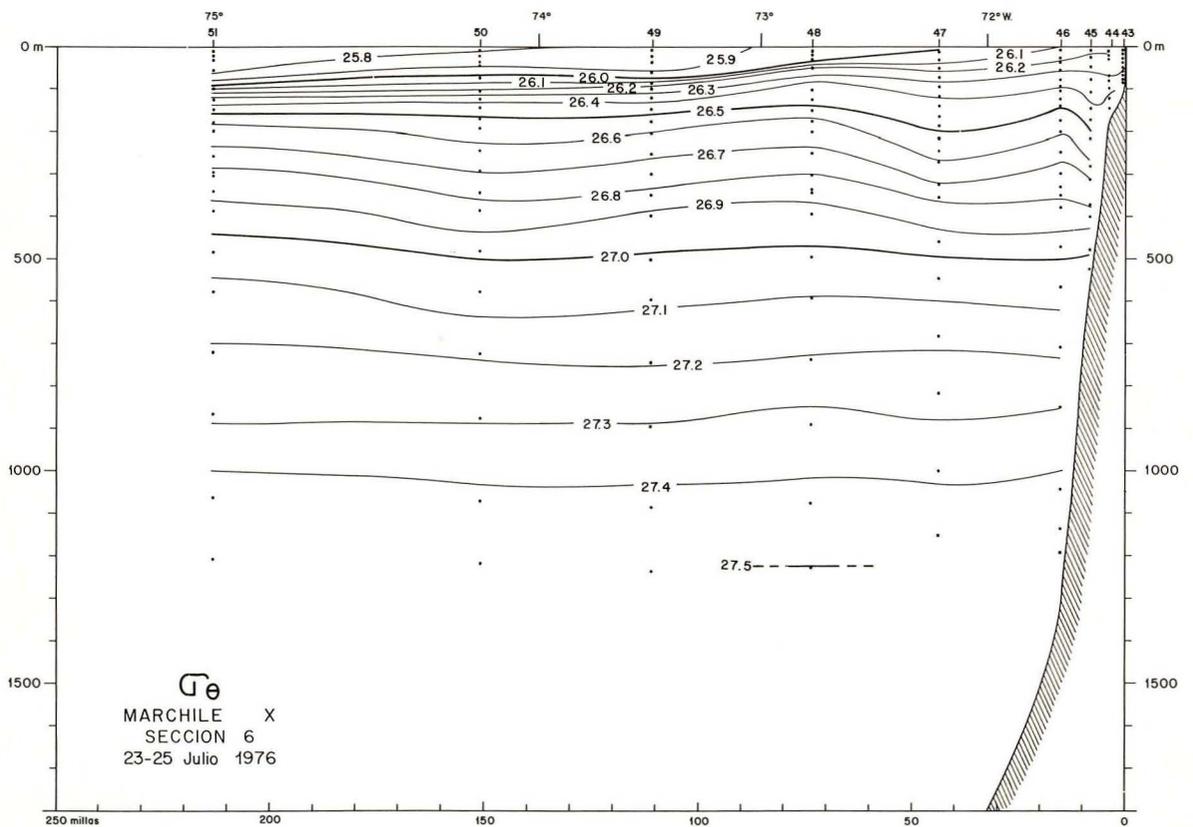
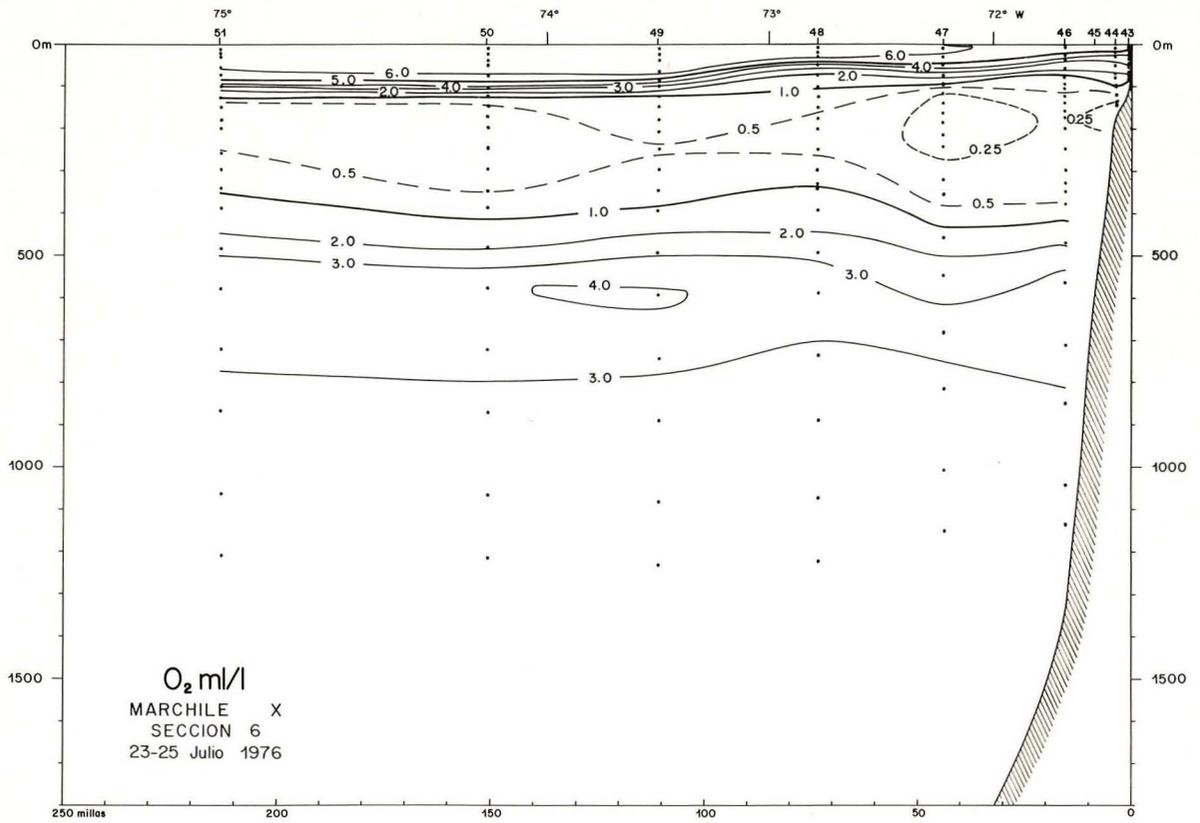


Figura 8b.- Distribución vertical de las isolíneas de oxígeno disuelto ( $O_2$  ml/l) y de la densidad potencial ( $\sigma_\theta$ ) en la sección 6 ( $29^\circ 59' S$ ).

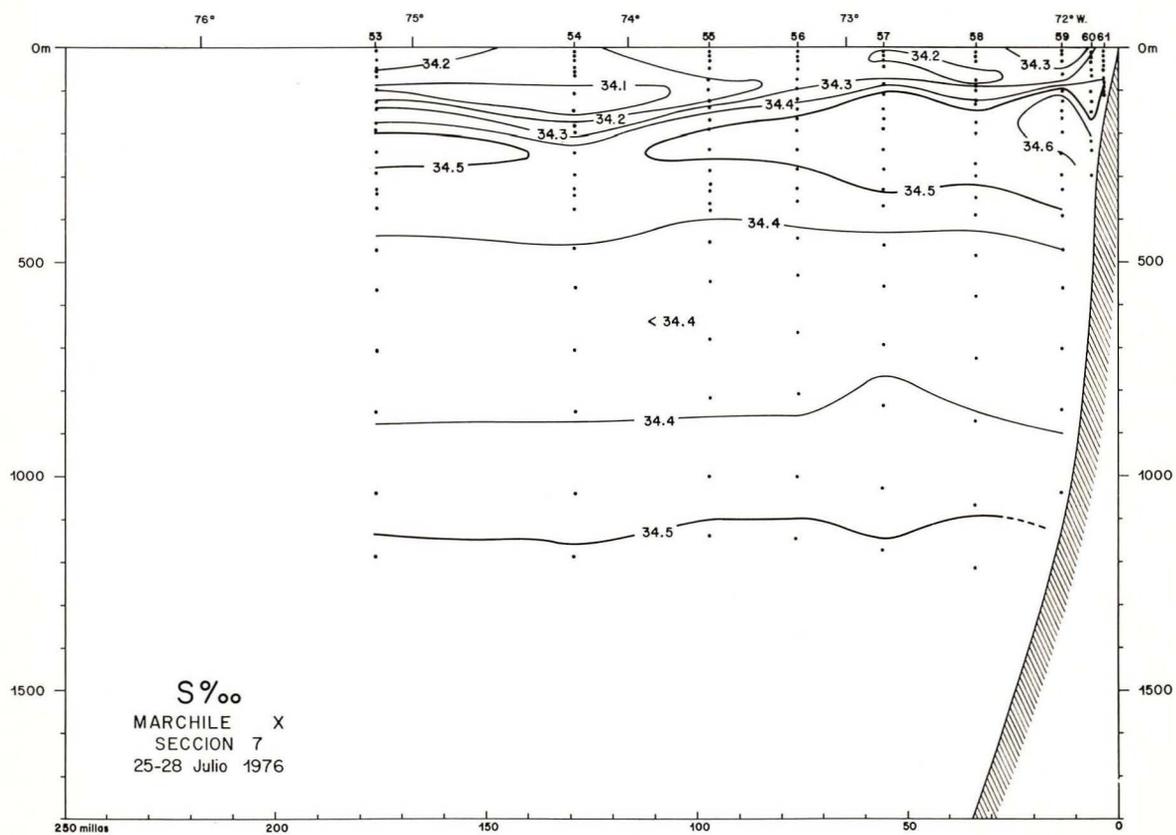
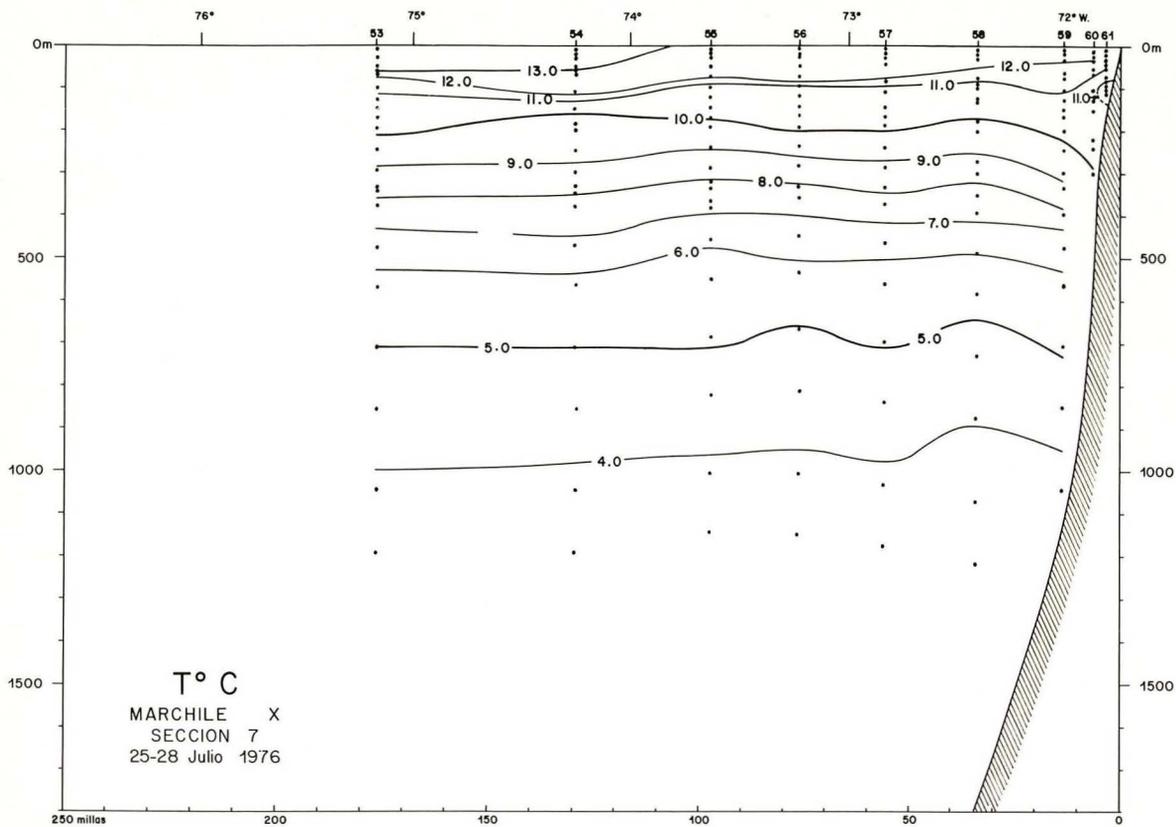


Figura 9a.- Distribución vertical de las isotermas (T°C) e isohalinas (S‰) en la sección 7 (32° 59' S).

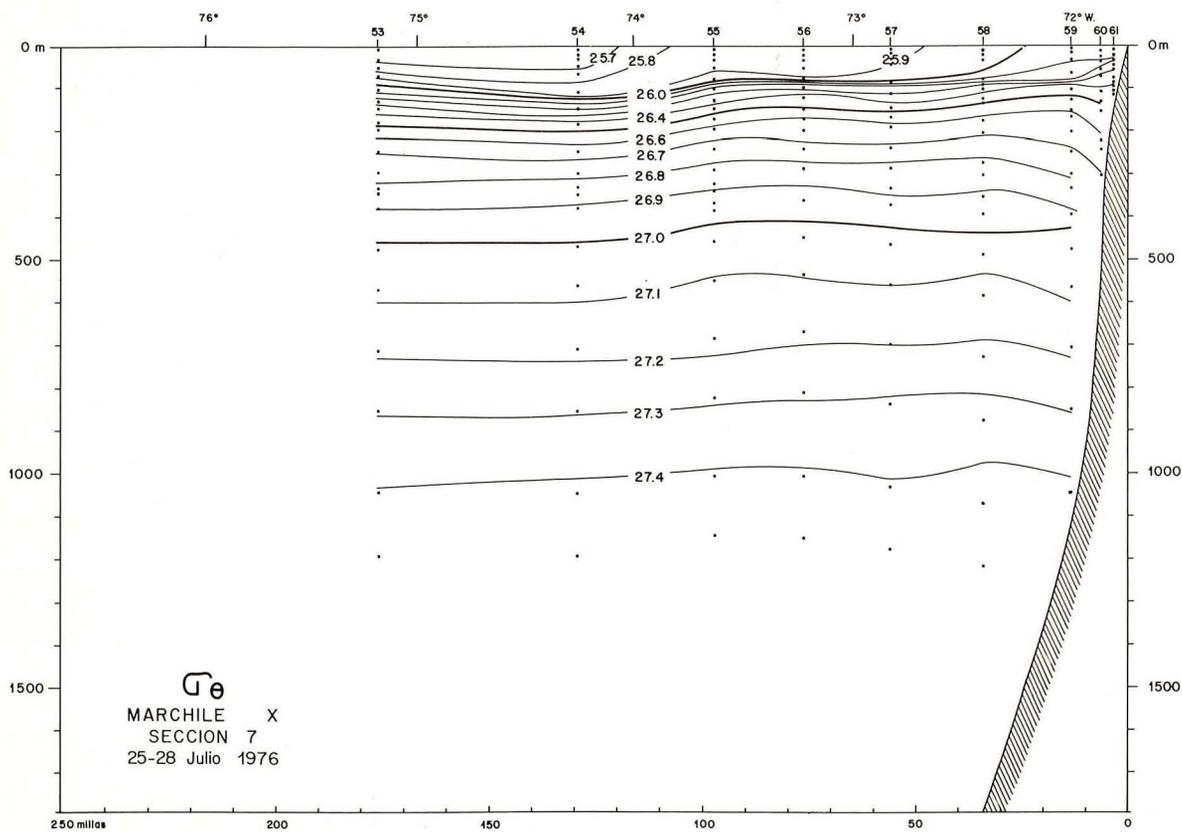
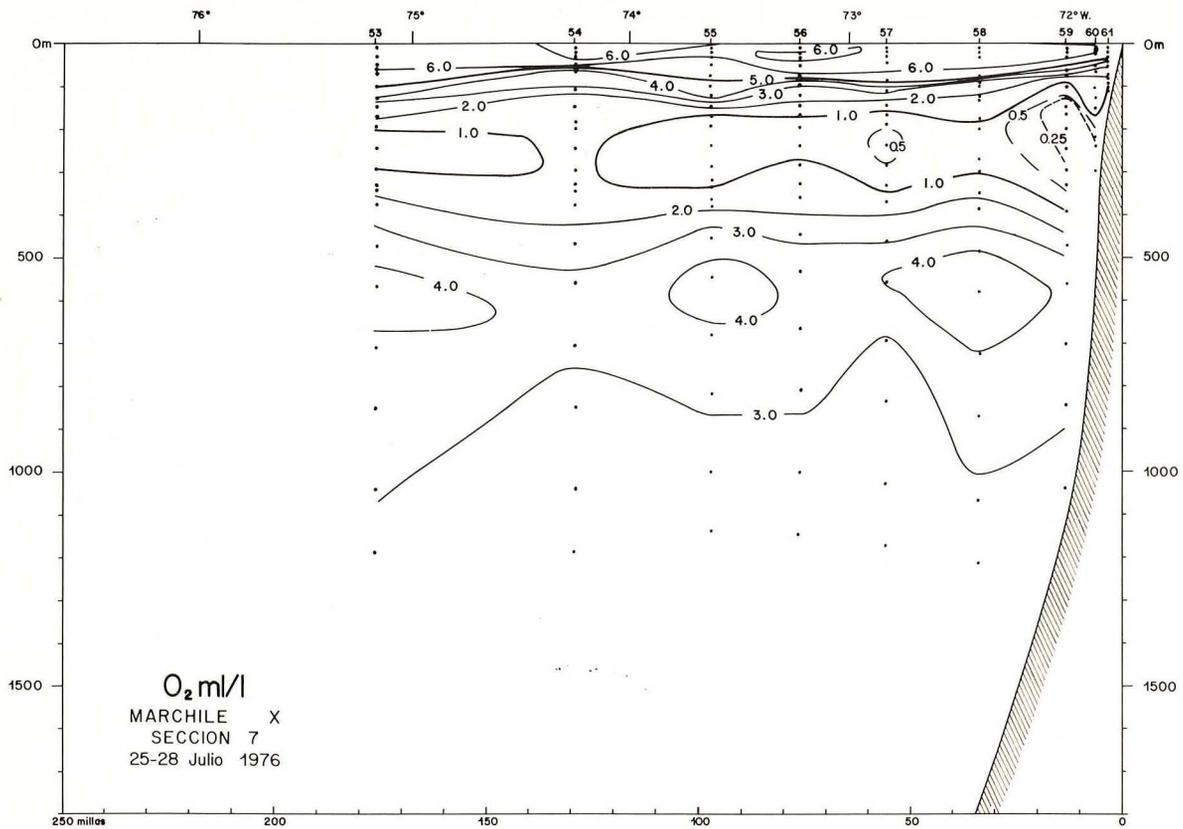


Figura 9b.- Distribución vertical de las isóneas de oxígeno disuelto ( $O_2$  ml/l) y de la densidad potencial ( $\sigma_\theta$ ) en la sección 7 ( $32^\circ 59' S$ ).

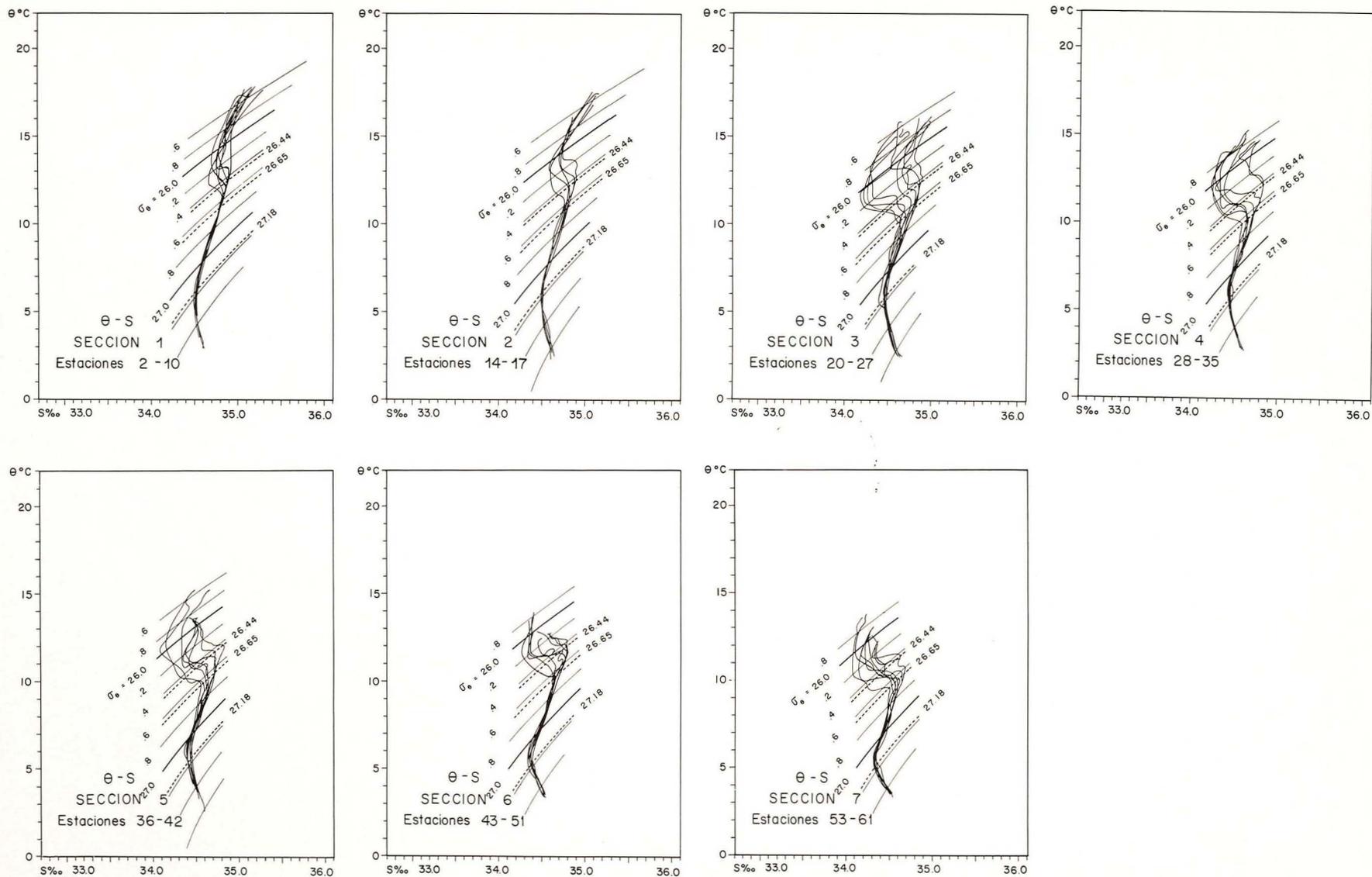


Figura 10.- Diagramas de temperatura potencial versus salinidad ( $\theta - S$ ). Las líneas segmentadas indican las densidades potenciales determinadas como representativas del núcleo del agua Ecuatorial Subsuperficial ( $\sigma_\theta = 26,44$  y  $\sigma_\theta = 26,65$ ) y del agua Intermedia Antártica ( $\sigma_\theta = 27,18$ ).

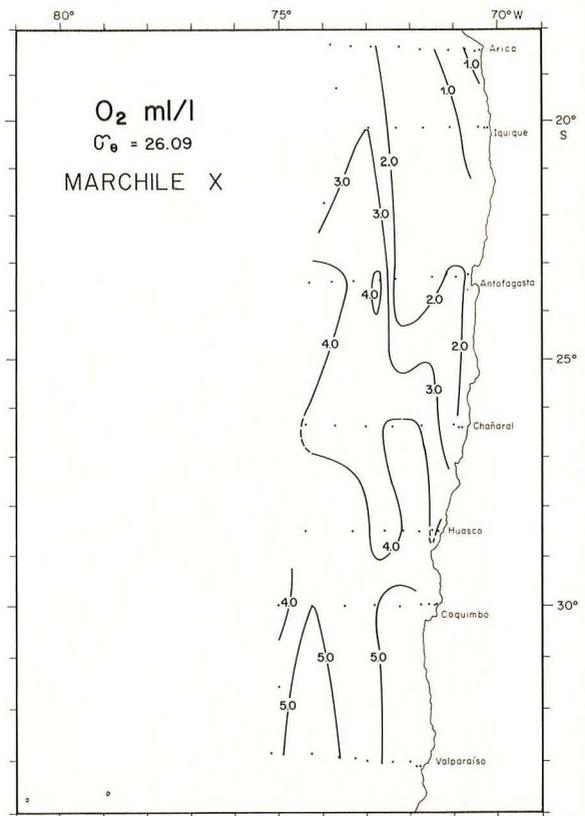
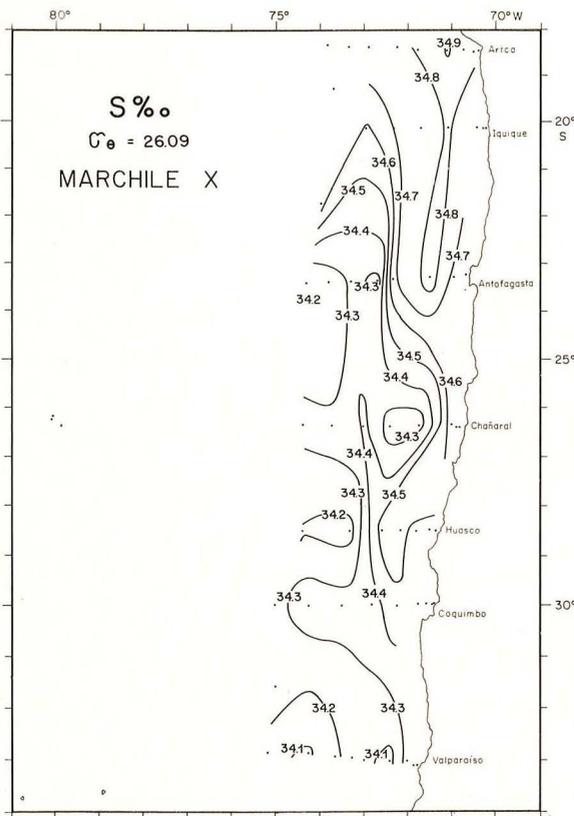
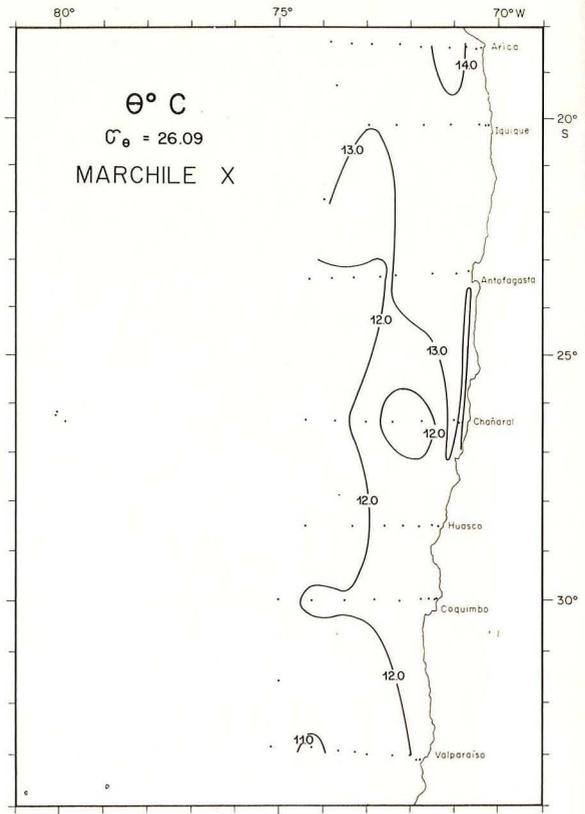
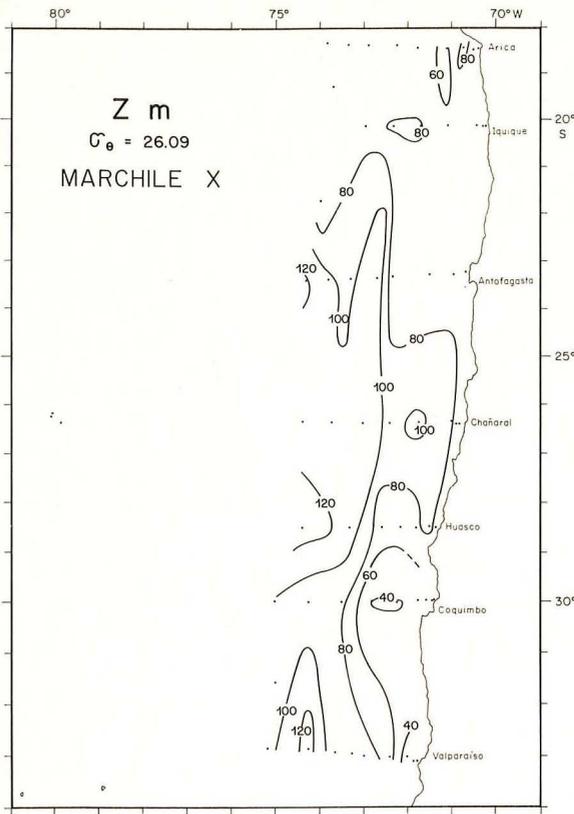


Figura 11.- Distribución de la batimetría (Z m), temperatura potencial ( $\theta$  °C), salinidad (S ‰) y oxígeno disuelto ( $O_2$  ml/l) correspondientes a la superficie de densidad potencial  $\sigma_\theta = 26,09$ .

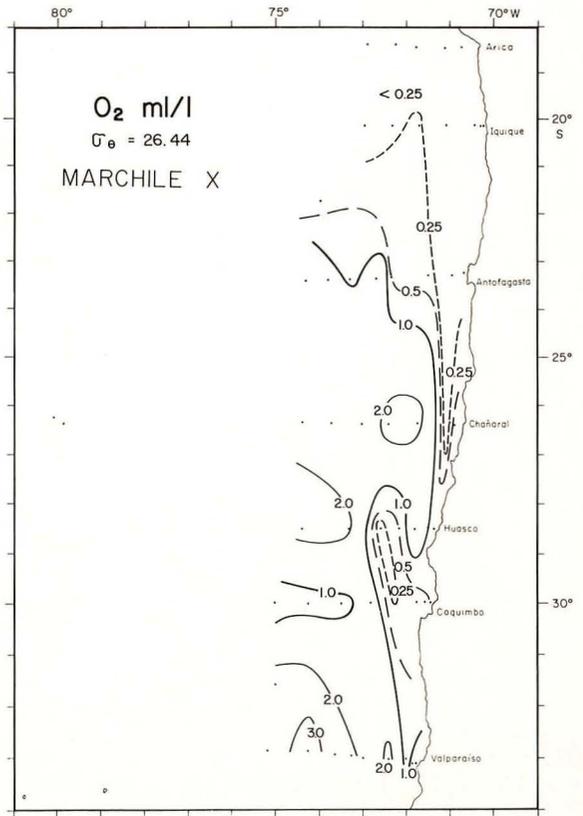
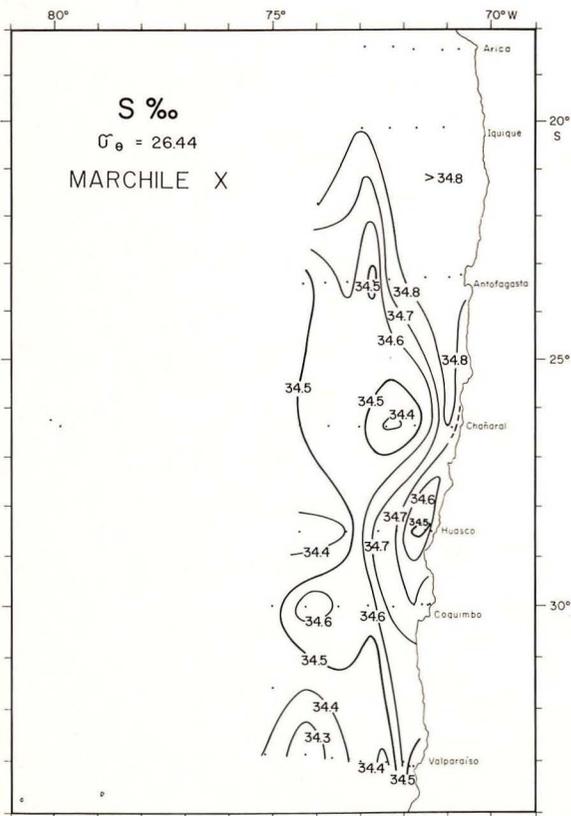
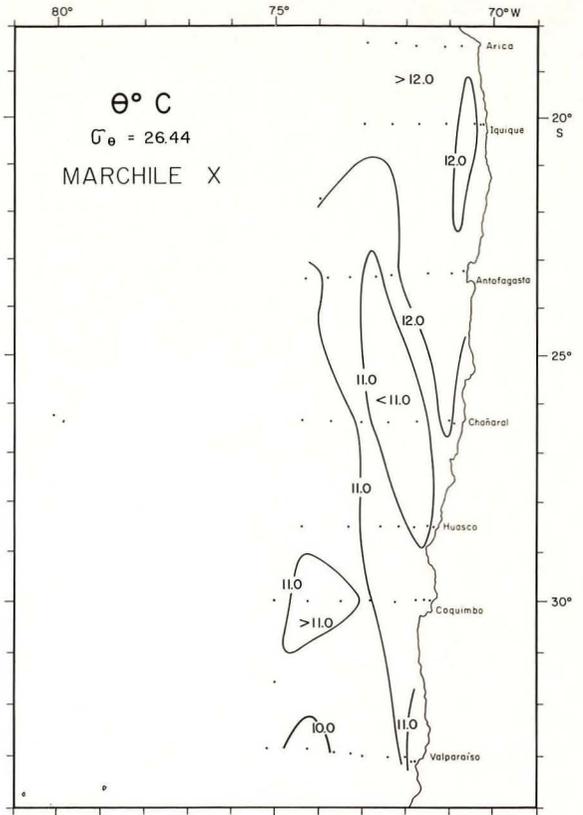
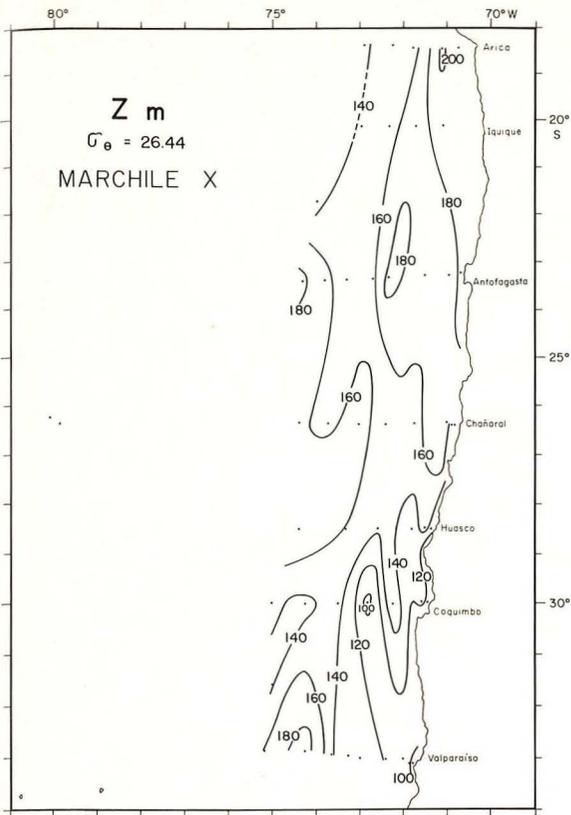


Figura 12.- Distribución de la batimetría (Z m), temperatura potencial ( $\theta$  °C), salinidad (S ‰) y oxígeno disuelto (O<sub>2</sub> ml/l) correspondientes a la superficie de densidad potencial  $\sigma_\theta = 26,44$ .

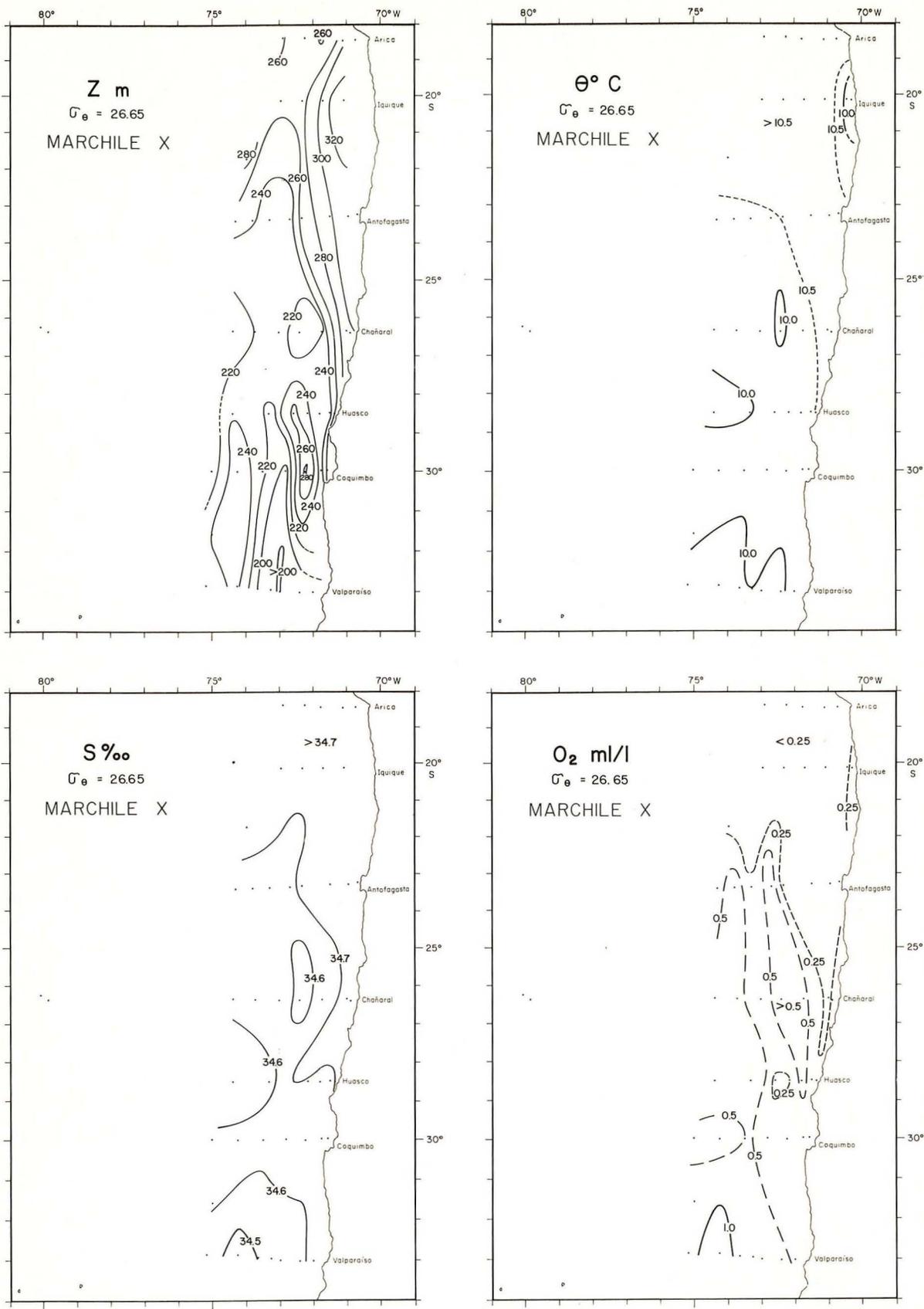


Figura 13.- Distribución de la batimetría ( $Z$  m), temperatura potencial ( $\theta$  °C), salinidad ( $S$  ‰) y oxígeno disuelto ( $O_2$  ml/l) correspondientes a la superficie de densidad potencial  $\bar{\sigma}_\theta = 26,65$ .

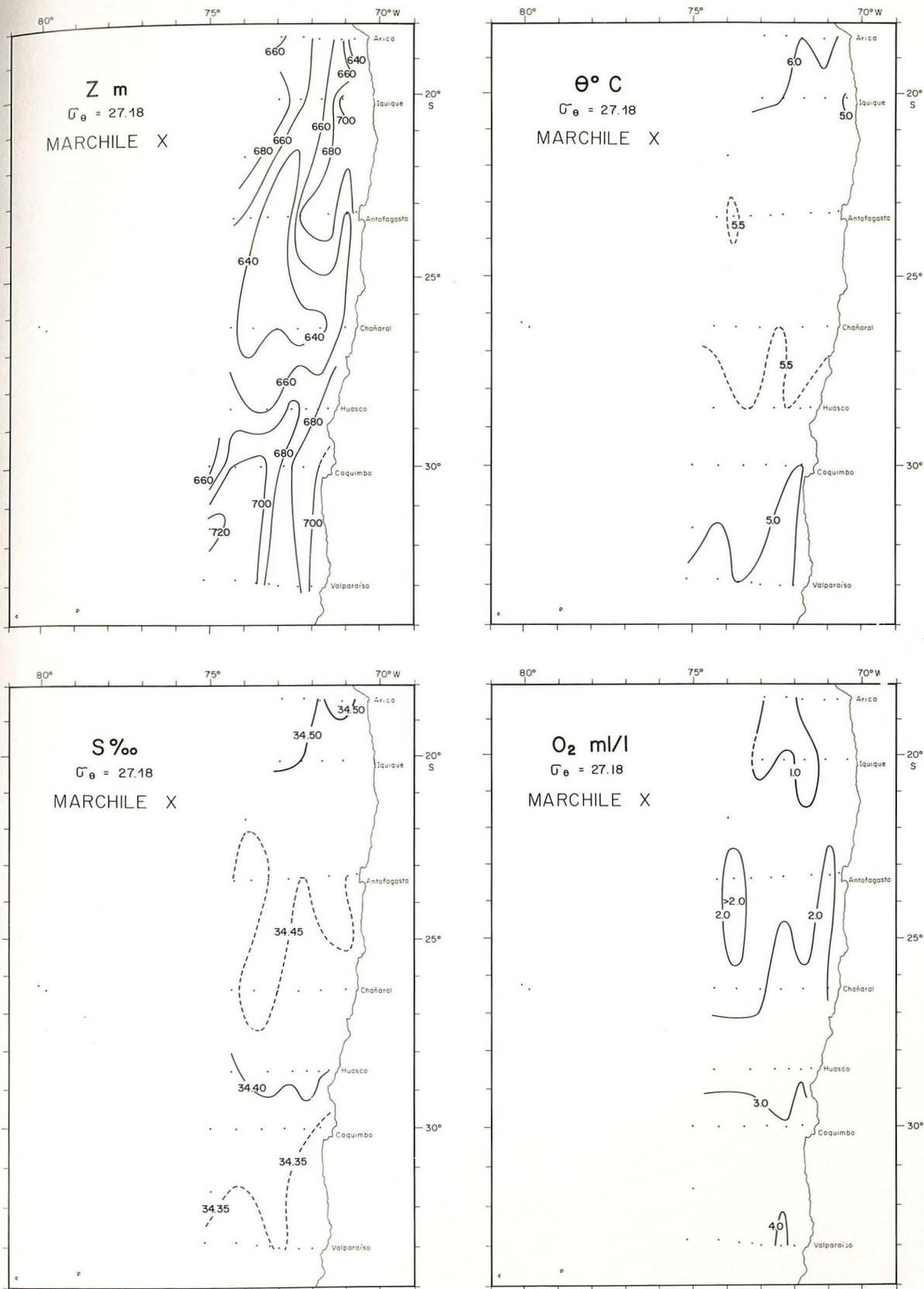


Figura 14.- Distribución de la batimetría (Z m), temperatura potencial ( $\theta^{\circ} \text{C}$ ), salinidad (S ‰) y oxígeno disuelto ( $\text{O}_2 \text{ ml/l}$ ) correspondientes a la superficie de densidad potencial  $\sigma_{\theta} = 27,18$ .

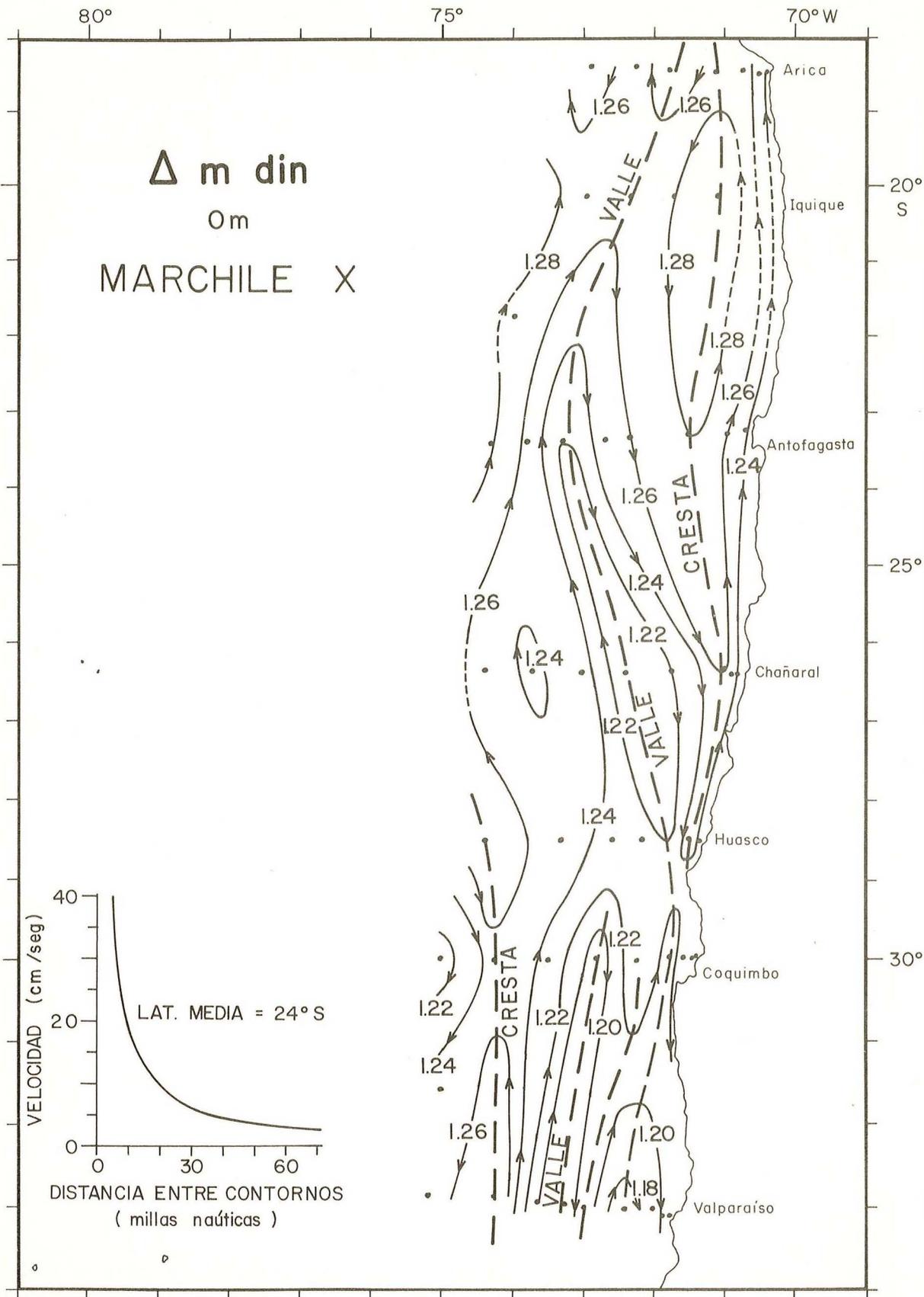


Figura 15.- Topografía dinámica ( $\Delta m \text{ din}$ ) de la superficie del mar referida a 1000 decibares.

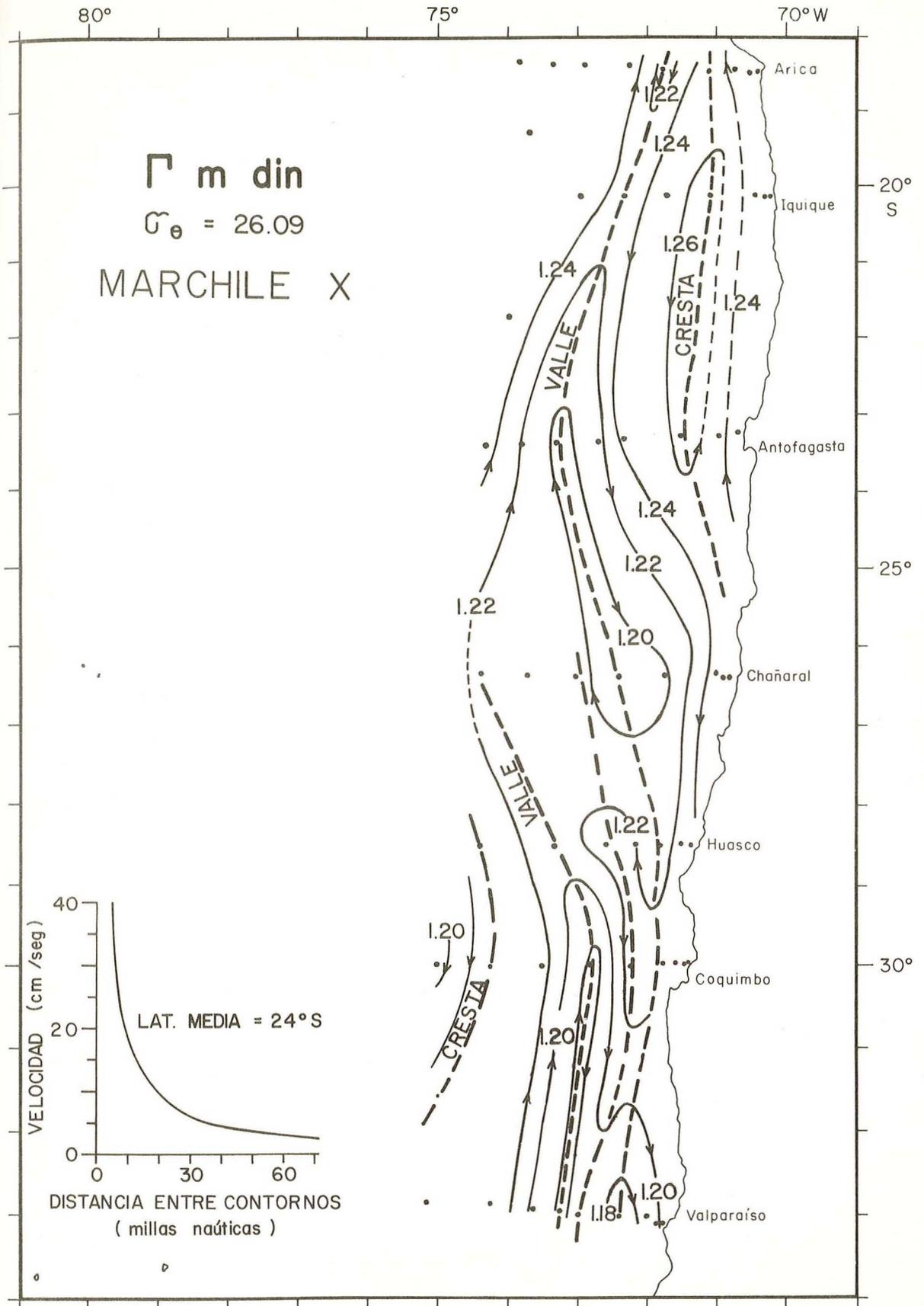


Figura 16.- Aceleración potencial ( $\Gamma$  m din) en la superficie de densidad potencial  $\sigma_{\theta} = 26,09$ .

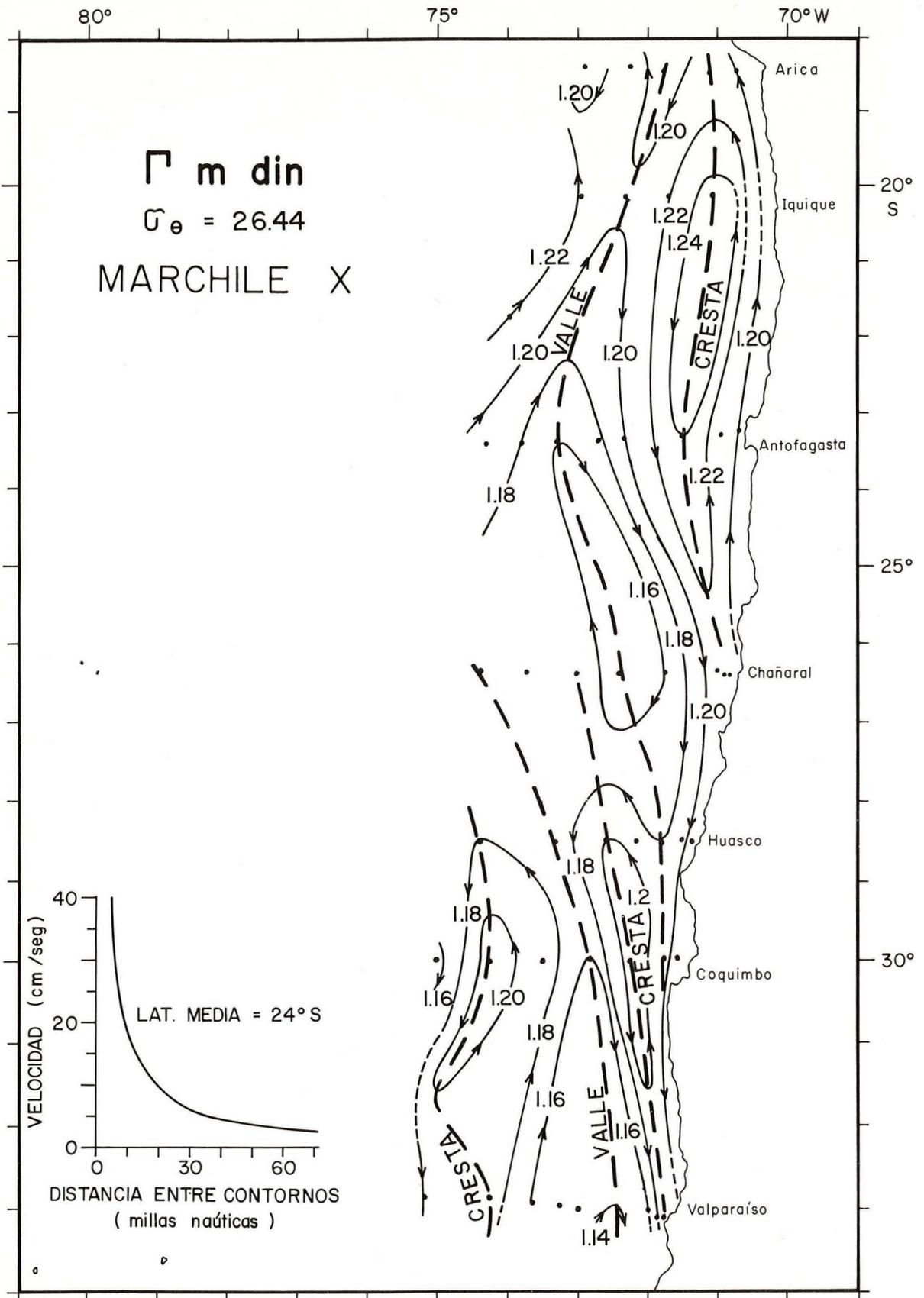


Figura 17.- Aceleración potencial ( $\Gamma$  m din) en la superficie de densidad potencial  $\sigma_{\theta} = 26,44$ .

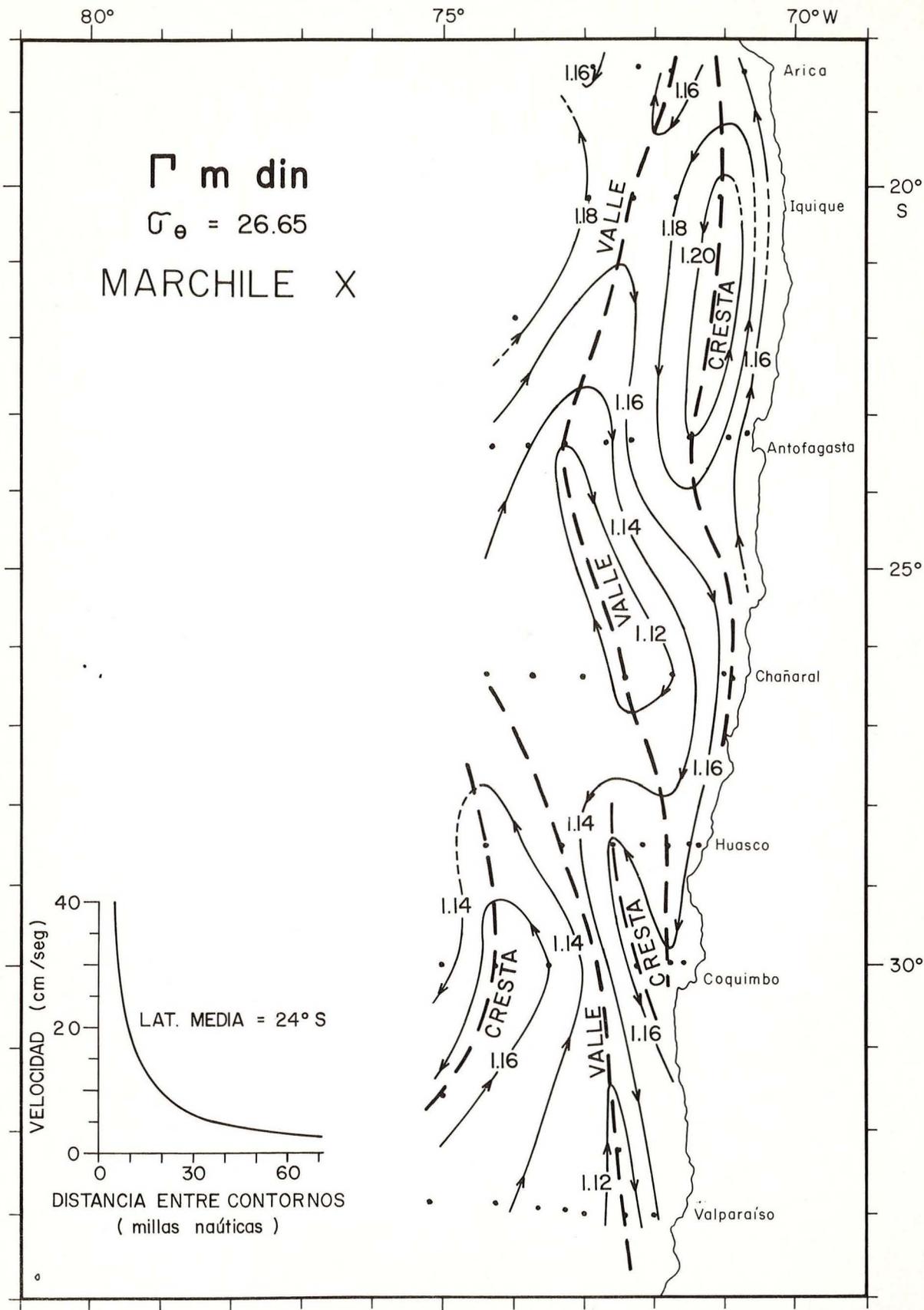


Figura 18.- Aceleración potencial ( $\Gamma$  m din) en la superficie de densidad potencial  $\sigma_{\theta} = 26,65$ .

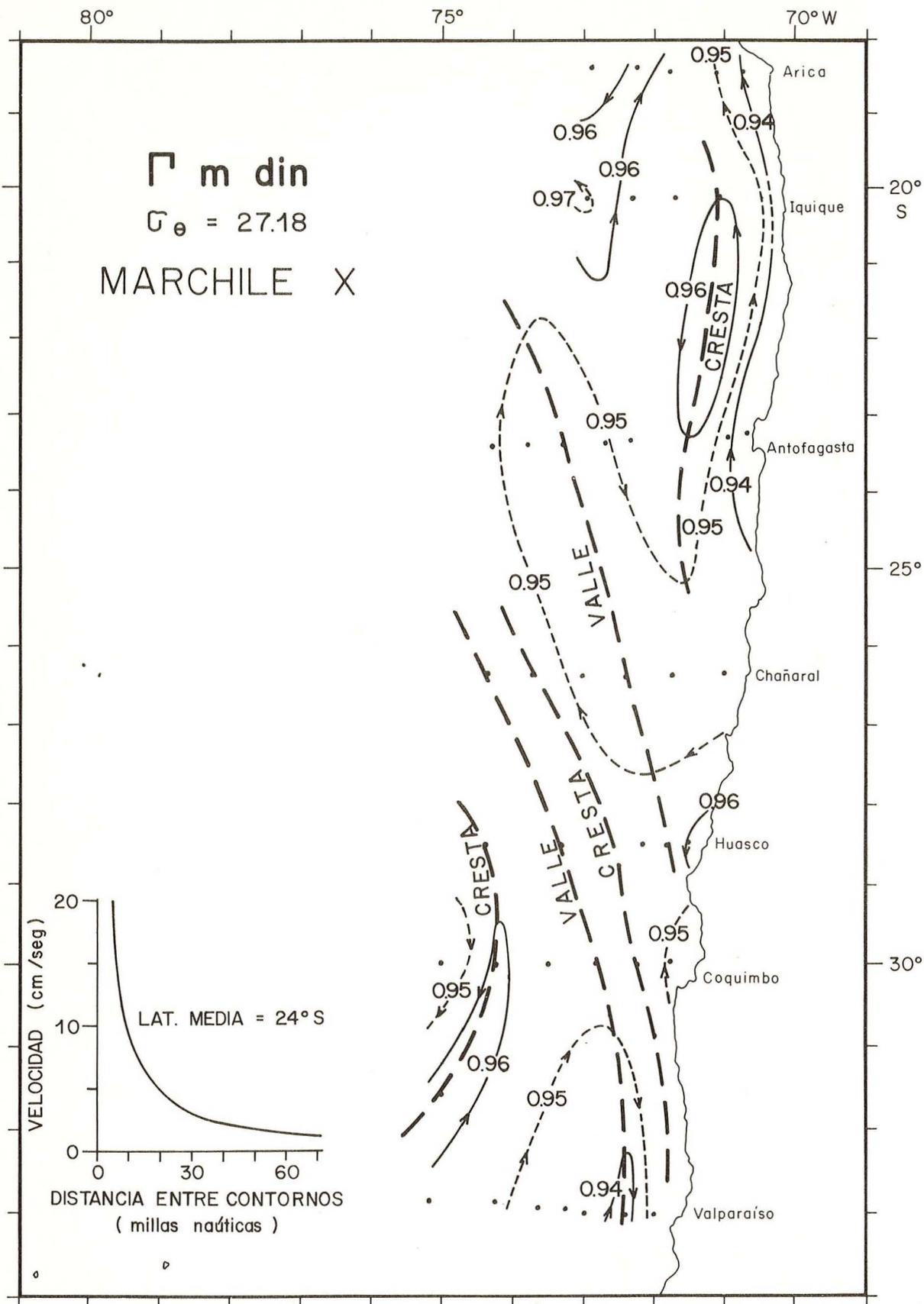


Figura 19.- Aceleración potencial ( $\Gamma$  m din) en la superficie de densidad potencial  $\sigma_{\theta} = 27,18$ .

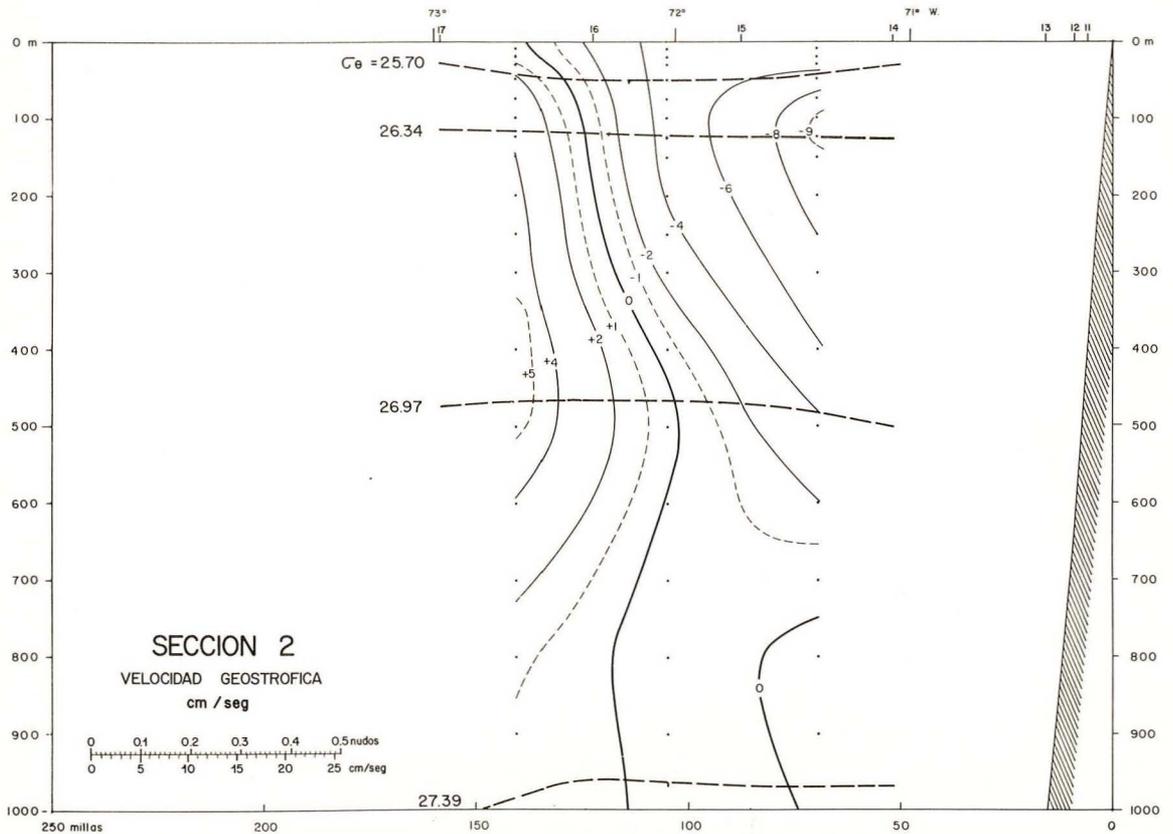
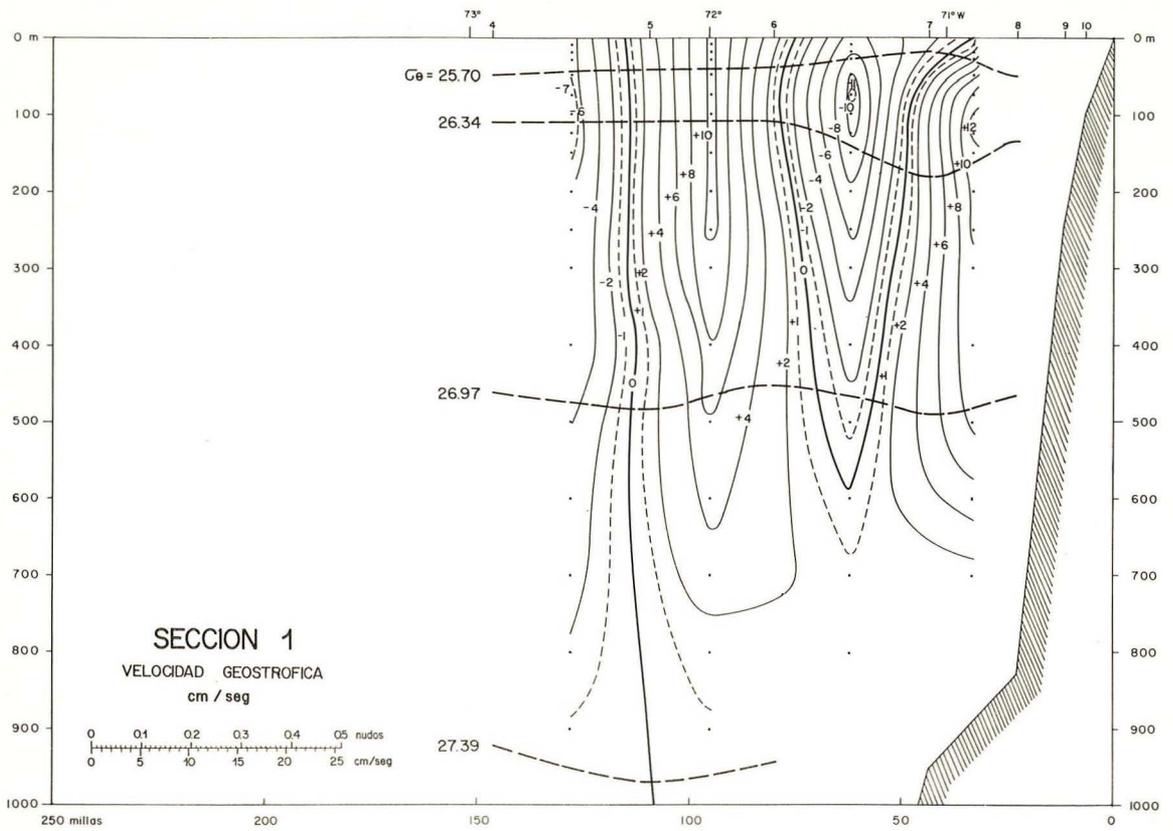


Figura 20.- Distribución vertical de velocidad geostrófica (cm/seg) en la Sección 1 (18° 28' S) y en la Sección 2 (20° 08' S). El signo positivo indica dirección norte y el negativo dirección sur.

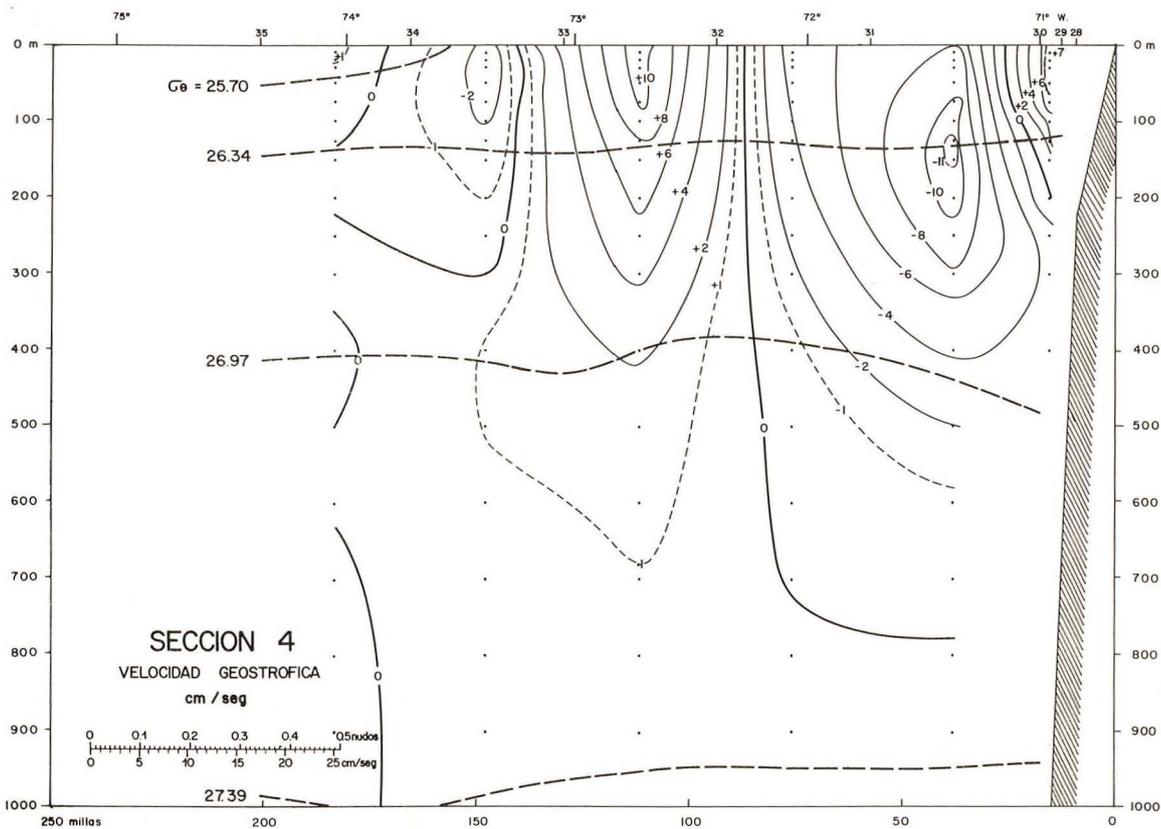
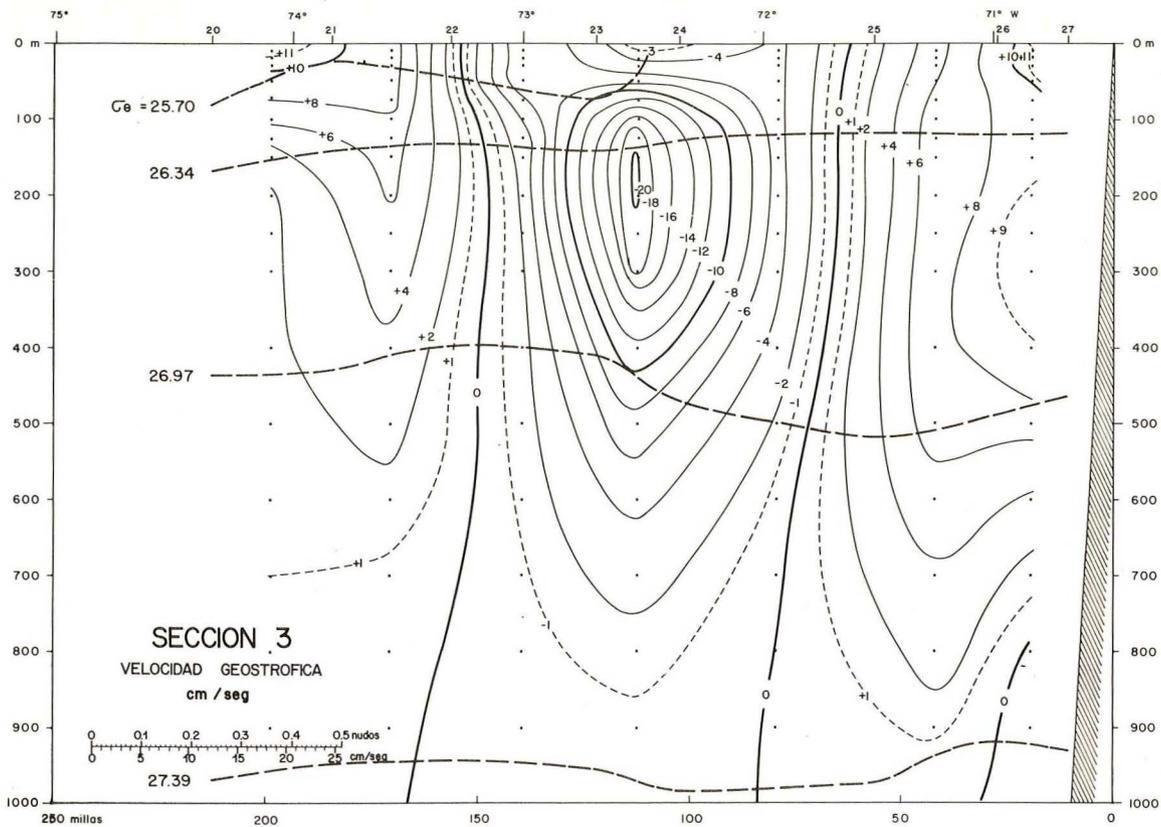


Figura 21.- Distribución vertical de velocidad geostrofica (cm/seg) en la Sección 3 (23° 21' S) y en la Sección 4 (26° 22' S). El signo positivo indica dirección norte y el negativo dirección sur.

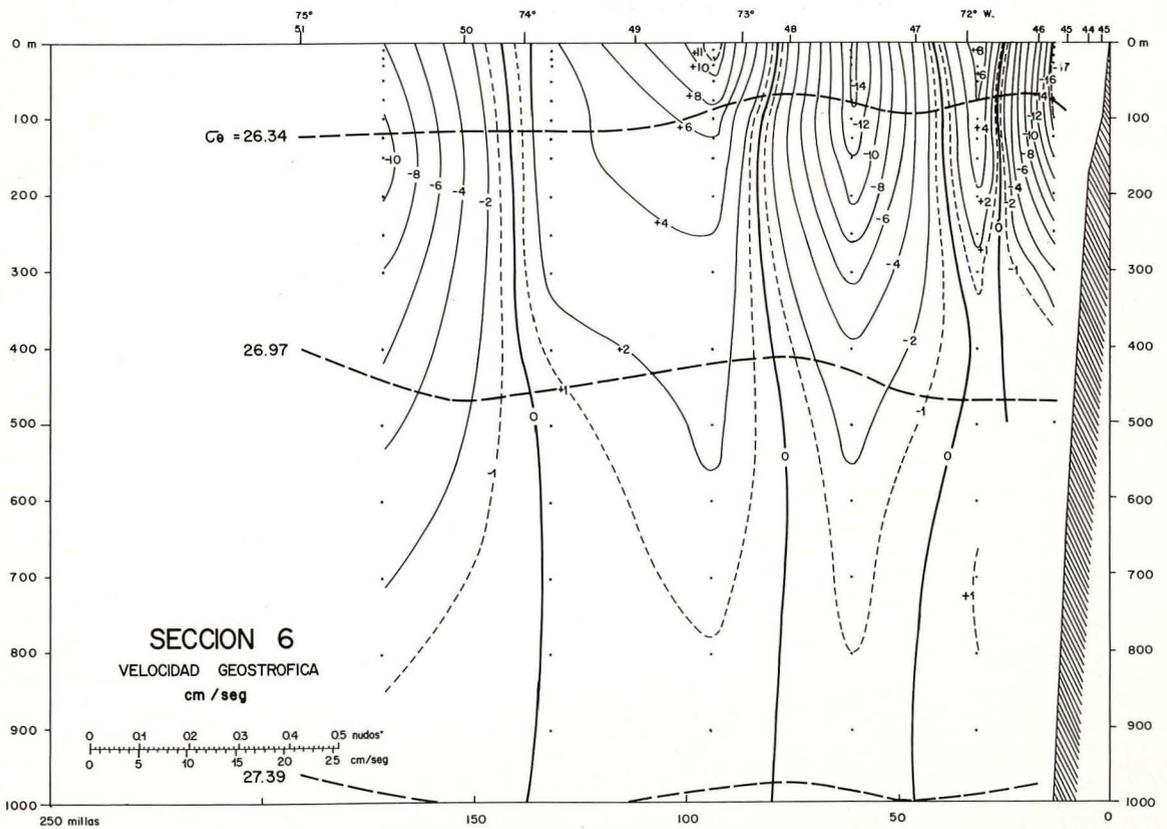
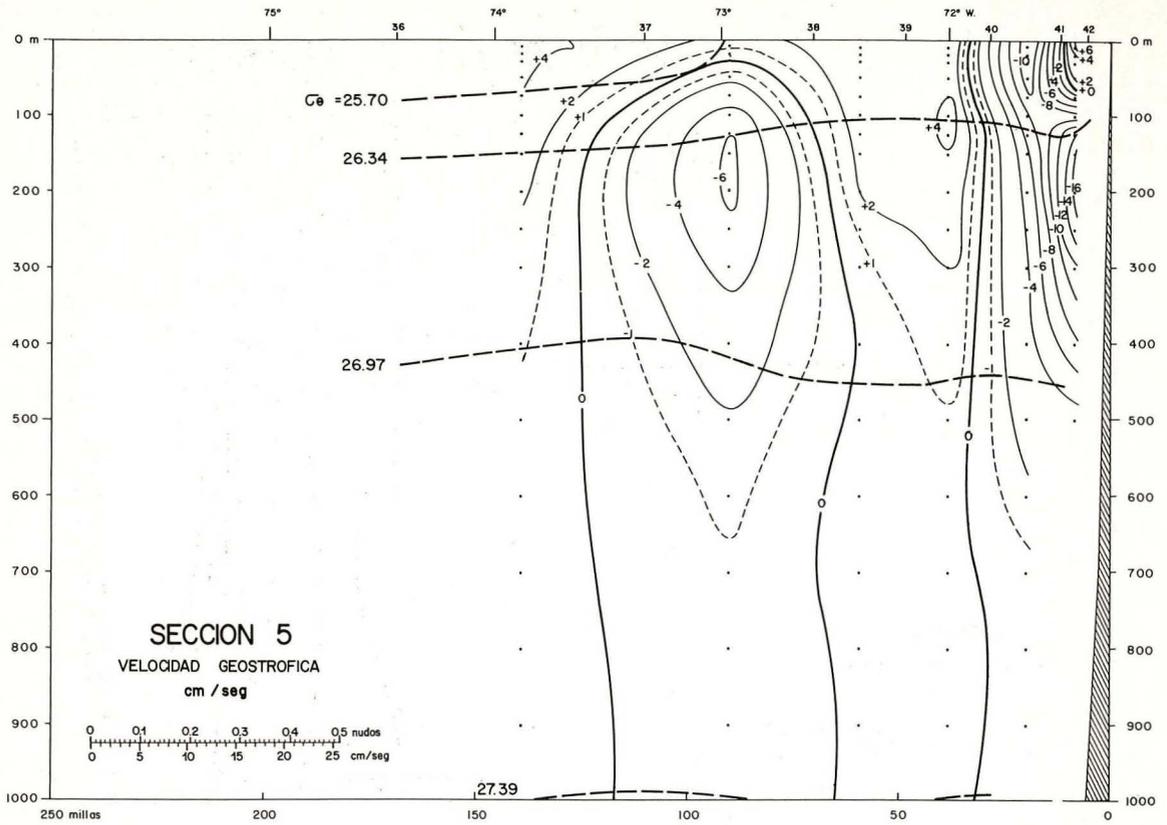


Figura 22.- Distribución vertical de velocidad geostrofica (cm/seg) en la Sección 5 (28° 27' S) y en la Sección 6 (29° 59' S). El signo positivo indica dirección norte y el negativo dirección sur.

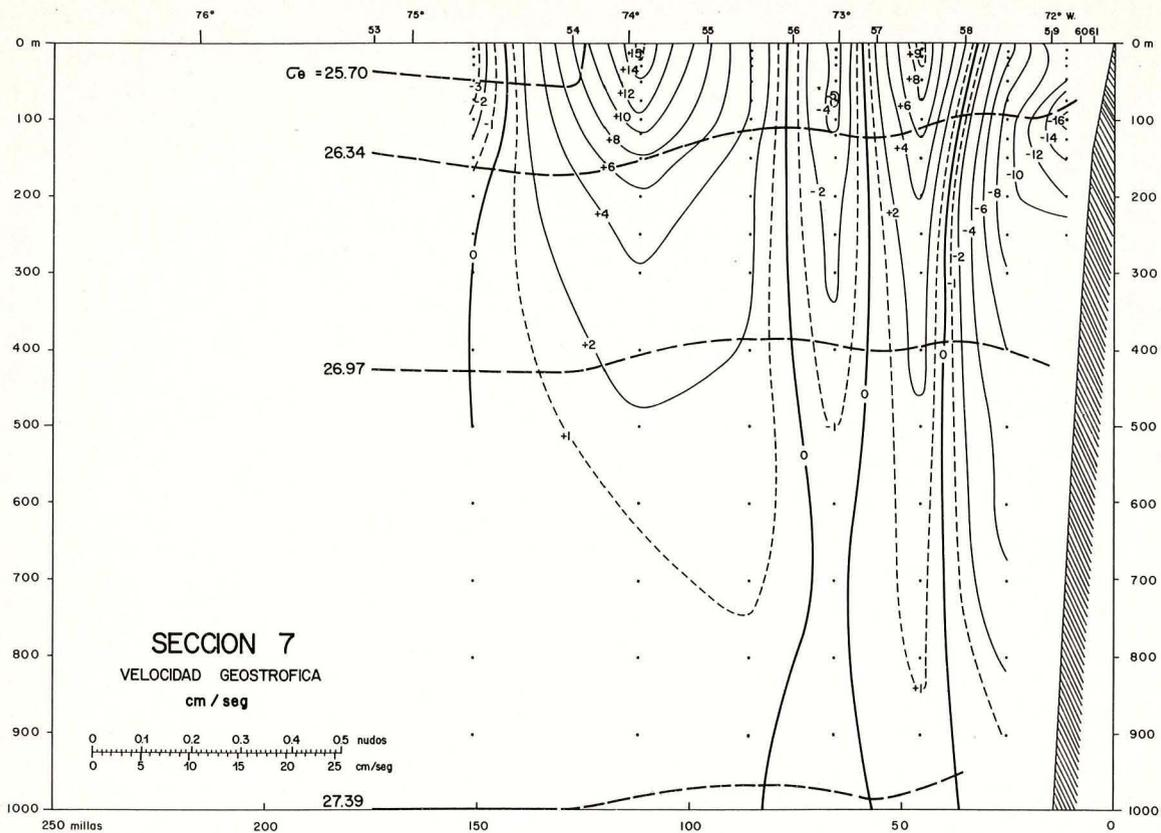


Figura 23.- Distribución vertical de velocidad geostrofica (cm/seg) en la Sección 7 (32° 59' S). El signo positivo indica dirección norte y el negativo dirección sur.

