

VARIACION ESTACIONAL DE LA POSICION DEL FRENTE ECUATORIAL Y SU EFECTO SOBRE LA FERTILIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES ECUATORIANAS

Por:

TAIZO OKUDA (1)

ROCIO TREJOS DE SUESCUM (2)

MANUEL VALENCIA (2)

ANA RODRIGUEZ (2)

RESUMEN

La presencia del Frente Ecuatorial es una característica oceanográfica en las aguas cercanas al Ecuador. El Frente Ecuatorial es la zona transicional de encuentro entre las aguas tropicales superficiales y las aguas de la Corriente Costera Peruana y se extiende desde el Sur del Ecuador hacia las Islas Galápagos. A partir de las distribuciones de temperatura y salinidad basadas en los datos recolectados en los Cruceros Oceanográficos efectuados por el Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador durante los años 1973–1980, se observa una variación considerable de la ubicación y la orientación del Frente siendo el desplazamiento hacia el Norte en el verano. En general, las gradientes fronteras más acentuadas se presentan oscilando 0,05–0,09°C por milla en temperatura y 0,02–0,04‰ por milla en salinidad, respectivamente.

Debido a la insuficiente frecuencia de los cruceros oceanográficos realizados en distintas épocas en las aguas costeras frente al Ecuador, no hemos logrado una posible correlación entre la variación de la posición del Frente y la intensidad y dirección de los vientos observados en las cuatro estaciones costeras del INOCAR, ubicadas a lo largo de la costa ecuatoriana. Las aguas cálidas con bajas salinidades (0–10 m) en la zona Norte del Frente, muestran elevada producción aparente de oxígeno, AOP, (negativo de AOU) y bajas concentraciones de nutrientes, (0,26–0,75 ug-at/l de fosfato y 0,28–1,26 ug-at/l de nitrato). Por otro lado, las aguas frías surgidas de la Corriente Costera Peruana en la zona Sur del Frente, presentan altas concentraciones (0,5–1,25 ug-at/l de fosfato y 5,1–12,3 ug-at/l de nitrato) y no se detecta producción aparente de oxígeno. La mezcla de ambas masas de agua, (Aguas Tropicales Superficiales y Aguas Costeras Peruanas), a lo largo del Frente Ecuatorial es un rol importante para la fertilidad de las aguas costeras ecuatorianas.

ABSTRACT

The presence of the Equatorial Front is an Oceanographic characteristic in ecuadorian waters. The Equatorial Front is the transitional meeting zone between the surface tropical waters and the waters from the peruvian coastal current and its extended from the south of Ecuador to Galapagos Islands. From the distributions of salinity and temperature based on the data collected from the Oceanographical cruises performed by the Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador during the years 1973 to 1980, it has observed a considerable variation of the orientation and location of the Front, being the displacement to the north on summer. In general, the prominent frontier gradients fluctuate from 0,05–0,09°C per mile in temperature and 0,02–0,04‰ in salinity, respectively.

Because of the insufficient frequency of the cruises performed on different times in coastal waters

(1) Instituto Oceanográfico Univ. de Oriente, Cumaná - Venezuela.

(2) Instituto Oceanográfico de la Armada, Guayaquil - Ecuador.

in front of Ecuador, we have not obtained a possible correlation between the variation of the position of the Front and the intensity and permanency of the observed winds on the four coastal stations of INOCAR, placed along the ecuatorial coast. The warm waters with low salinity (0–10 m) on the north zone of the Front, show high oxygen apparent production (OAP), (the opposite of OAU) and low concentration of nutrients, (0,26–0,75 ug-at/l of fosfate and 0,28–1,26 ug-at/l of nitrate). In addition to this, the cold waters from the Peruvian Coastal Current in the south area of the Front, show high concentrations (0,5–1,25 ug-at/l of phosphate and 5,1–12,3 ug-at/l of nitrate) and they don't show oxygen apparent production. The mixing of both water masses, (Surface Tropical Waters and Peruvian Coastal Waters), along the Equatorial Front is an important role on the fertility of Ecuadorian coastal waters.

INTRODUCCION

A través de las observaciones realizadas por varios investigadores sobre el fenómeno "El Niño", se ha revelado que la causa inmediata de este evento parece ser el debilitamiento de la circulación de los Vientos Alisios del hemisferio Sur, conjuntamente con la reducción de la intensidad de la surgencia costera y el desplazamiento de las aguas ecuatoriales de alta temperatura y baja salinidad hacia el Sur a lo largo de la costa de Sudamérica.

De acuerdo con las informaciones estudiadas en relación con los eventos durante y anteriores al comienzo de "El Niño" de 1972–73, Enfield (1975), concluyó, que un debilitamiento de los Alisios del Noroeste junto a la aceleración de la Contracorriente Ecuatorial y un aumento de la precipitación en la Zona de Convergencia Intertropical ocurrieron primero y, subsecuentemente un debilitamiento de los Vientos Alisios Sureste, un relajamiento de la Subcorriente Ecuatorial y un calentamiento Subsuperficial a lo largo del Ecuador. Estas observaciones concuerdan con la idea propuesta por J. Bjerknes (1961). Para obtener mejor entendimiento y predicción eventual de "El Niño", Wooster y Guillén (1974), sugirieron el establecimiento de un monitoreo de las condiciones Oceanográficas y atmosféricas a lo largo del Ecuador y sobre las Aguas Costeras frente al Ecuador y Perú.

Mientras tanto Wyrtki, et al., (1976), expresaron sus ideas sobre la causa del fenómeno "El Niño" de la manera siguiente: Durante un período de los Vientos Alisios SE excesivamente fuertes, la circulación subtropical del Pacífico Sur se intensifica, particularmente la corriente Ecuatorial Sur, provocando una elevación del declive E–W del nivel del mar y una acumulación de aguas en el Océano Pacífico Occidental. Luego que la intensidad de los Vientos Alisios SE se relajan, las aguas acumuladas en el Pacífico Occidental tienden a volver hacia el Este, provocando una intensificación de las corrientes que fluyen en tal sentido, tales como las Contracorrientes Ecuatoriales Sur y Norte y la Corriente Subsuperficial Ecuatorial y se debilita la Corriente Ecuatorial Sur que fluye hacia el Oeste. Así, estos autores proponen una teoría; Que el comienzo de "El Niño" es la reacción de la circulación de las Aguas en el Océano Pacífico Ecuatorial al relajamiento de los Vientos Alisios Sureste, después de un período prolongado (más de un año) de vientos excesivamente fuertes causando una acumulación de las aguas cálidas en el área frente al Ecuador y Perú. De esta manera ellos refutan la opinión aceptada comunmente de que "El Niño" es debido a debilitamiento de vientos locales.

Además de la ocurrencia ocasional del fenómeno "El Niño", una de las características de las condiciones oceanográficas en la región costera del Ecuador, es la existencia permanente del Frente Ecuatorial, que es una zona de transición bien definida del encuentro de dos masas de agua; las aguas de la Corriente de Humboldt (Peruana) con relativamente bajas temperaturas, (15–19°C) y salinidades cerca de 35‰ y las Aguas Superficiales Tropicales cálidas (> de 25°C) y baja salinidad (< de 33,5‰). En general el Frente Ecuatorial se extiende entre las Islas Galápagos y la Costa Norte del Perú. El Frente presenta una marcada variación estacional, desplazándose hacia el Norte en la época de verano y hacia el Sur en la época de invierno. Podemos decir que el fenómeno "El Niño", corresponde al desplazamiento extenso del Frente Ecuatorial hacia el Sur. El desplazamiento del Frente hacia el Norte sería grandemente beneficioso para la fauna costera del Ecuador, debido a que la aparición de las aguas surgidas con nutrientes abundantes po-

drían fertilizar las aguas superficiales. De acuerdo con esta observación, sería importante estudiar las variaciones estacionales de la posición del Frente Ecuatorial en relación con las condiciones meteorológicas del área. Moreano (1981) analizó las diferentes situaciones del mar ecuatoriano y dedujo que el clima de la región costera del Ecuador está fuertemente relacionado con las condiciones oceanográficas frente al país.

El Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (INOCAR) estableció cinco estaciones costeras en el año 1975, a lo largo de la costa ecuatoriana, para realizar las observaciones meteorológicas y las mediciones de la temperatura y salinidad de las aguas superficiales.

En este trabajo se analiza una posible correlación entre las condiciones meteorológicas y los patrones oceanográficos en las aguas costeras ecuatorianas, especialmente en relación con la ubicación del Frente Ecuatorial.

FUENTE DE DATOS Y METODOS DE ANALISIS

Las muestras de agua para el presente estudio fueron tomadas en 10 cruceros de investigación Oceanográfica (1973 – 1980), en diferentes niveles de profundidad y según estaciones indicadas en la (Fig. 1). Las muestras para el análisis de los diferentes parámetros se recolectaron con botellas muestreadoras NISKIN y NANSSEN, con termómetros de inversión y se conservaron en botellas de polietileno; esto en lo que se refiere a salinidad y elementos nutritivos; para oxígeno disuelto se utilizaron botellas de vidrio de 300 ml. Los métodos utilizados en los análisis fueron: Salinidad, por conductividad eléctrica usando salinómetros Beckman y Khalsico, oxígeno disuelto, por el método de Winkler. Los nutrientes fueron analizados siguiendo las técnicas descritas por Strickland y Parsons, (1972); es decir: Nitrito por el método de Bendscheider y Robinson; Nitrato, se determinó reduciéndolo por medio de las columnas Cu–Cd, utilizando cloruro de amonio y luego determinando colorimétricamente como nitrito; Fosfato se analizó, por el método Murphy y Riley.

Los datos meteorológicos utilizados en el presente trabajo corresponden a cinco estaciones costeras Fijas del INOCAR ubicadas a lo largo de la costa ecuatoriana y localizadas de la siguiente manera:(Fig.1).

Esmeraldas, (00°, 59,7'N); Manta, (00°, 56,3'S); Salinas, (02° 12,0'S); Puerto Bolívar, (03° 16,1'S) y San Cristóbal–Islas Galápagos, (00° 54,0'S–089° 36,1'W).

Para lograr los objetivos del presente trabajo se han tomado los datos de temperatura del aire, temperatura y salinidad superficiales del mar, vientos, (fuerza y dirección) y precipitación, correspondiente a los años 1975 a 1980.

BOSQUEJO DE LAS CONDICIONES METEOROLOGICAS

Para analizar las condiciones oceanográficas costeras, es importante conocer las condiciones meteorológicas del área; Naturalmente los datos meteorológicos a lo largo de la costa no son siempre representativos de las condiciones de las áreas de alta mar donde se efectuaron los cruceros oceanográficos, pero probablemente estos nos pueden dar una guía de las mismas. También debido a que los datos expresados en este trabajo, están influenciados de alguna manera por las condiciones topográficas en que se sitúan las estaciones costeras, debemos tomar en consideración este factor para la interpretación de dichos datos.

Se conoce que el clima de la región costera del Ecuador presenta dos épocas bien diferentes durante el año, es decir, la época de lluvia entre Enero y Abril, con abundantes precipitaciones, elevada temperatura del aire y relativamente menor fuerza de los vientos; y la época seca, entre Mayo y Diciembre con características inversas a la época anterior.

TEMPERATURA DEL AIRE Y DEL MAR SUPERFICIAL

Se observan las fluctuaciones estacionales bien marcadas de la temperatura del aire con excepción

de la estación de Esmeraldas donde no se presenta el mismo patrón como en otras estaciones (Fig. 2A), es decir la diferencia anual varía solamente entre 0.7 y 2.4°C (tabla 1). En general las temperaturas máximas del aire se encuentran en los meses de Febrero a Abril y las mínimas en los meses de Julio a Septiembre (ocasionalmente en el mes de Octubre). En la estación de Manta, (Fig. 2B), se presentan frecuentemente las máximas temperaturas del aire hasta los meses de Mayo o Julio, tal como se observa en los años de 1976, 1978, 1979 y 1980.

Las diferencias anuales entre las máximas y mínimas temperaturas del aire, muestran una mayor magnitud en la estación de San Cristóbal, luego en las estaciones de Salinas y Puerto Bolívar (Fig. 2C-2D). Mientras que la estación de Manta presenta bastante menos apreciable esta diferencia. Es interesante anotar que las mínimas temperaturas del aire de cada año en la estación de San Cristóbal (Fig. 2E), se alcanzan aproximadamente uno o dos meses después que en la estación de Salinas. Esto se debe, probablemente al afecto de la circulación anticiclónica. También es notable que la diferencia mensual entre las máximas y las mínimas temperaturas del aire en la estación de Salinas es muy pequeña en comparación con otras estaciones.

Las temperaturas del mar superficial (media mensual) fluctúan estacionalmente en una forma similar acompañando a las temperaturas del aire (media mensual). En las estaciones de Esmeraldas y Puerto Bolívar, las temperaturas del mar superficial se presentan más elevadas que las temperaturas medias del aire, mostrando, ocasionalmente una diferencia mayor de 3°C durante el año. Mientras tanto, en las otras tres estaciones costeras, en general, las temperaturas del aire y del mar varían estacionalmente con muy poca diferencia, con algunas excepciones; es decir, en los meses de Julio a Octubre (ocasionalmente hasta el mes de Noviembre), cuando las temperaturas del mar superficial fueron considerablemente más altas que las temperaturas del aire, en cambio, los primeros meses del año muestran la temperatura del aire mayor que la del mar superficial (Fig. 3). También es interesante anotar que los valores máximos de la temperatura del mar en la estación de Salinas se muestran siempre inferiores a los de la temperatura del aire, a pesar de que otras estaciones poseen una relación inversa y/o casi ambos valores similares como se observa en la estación de Manta.

La diferencia anual entre los máximos y mínimos de la temperatura media mensual, tanto para el aire como para el mar superficial varía considerablemente entre las estaciones, presentando mayor diferencia en las estaciones de San Cristóbal y Salinas y menor en la de Esmeraldas (Tabla 1). Durante los años de 1975 a 1980, las mínimas temperaturas del aire y del mar se encontraron en la estación de Salinas y las máximas en la estación de Puerto Bolívar. En la figura 4A, las temperaturas medias del aire presentan poca diferencia entre las estaciones en los meses de Enero a Abril, correspondientes a época de alta temperatura; mientras que en los meses de Julio a Septiembre, (época de baja temperatura) se encuentra una diferencia notable entre las estaciones, presentándose las más bajas en las estaciones de Salinas y San Cristóbal, siguiendo luego las de Puerto Bolívar y Manta. En la variación estacional de las temperaturas medias mensuales del mar (Fig. 4B), se observa una tendencia similar con la temperatura del aire, a pesar de ser algo menos apreciable. Esta muy poca diferencia de la temperatura encontrada entre las estaciones durante los meses de Enero a Abril, es probablemente debida a que las Aguas Tropicales Superficiales están ocupando casi toda el área costera frente al Ecuador en ésta época. Se observa una apreciable diferencia de las temperaturas mínimas del aire y del mar entre los años 1975 – 1980, siendo temperaturas más bajas en los años de 1975 y 1978 y menos desarrollo de baja temperatura en el año 1976. Esta marcada diferencia en las mínimas temperaturas registradas del aire y del mar, tanto entre las estaciones como entre los años, está reflejada por la variada advección por parte de las aguas frías de la Corriente Costera Peruana acompañando al desplazamiento del Frente Ecuatorial hacia el Norte o hacia el Sur.

SALINIDAD SUPERFICIAL

Las variaciones mensuales de salinidad superficial en las estaciones de San Cristóbal (Galápagos), Manta y Salinas se presentan relativamente muy escasas en comparación con las de Esmeraldas y Puerto Bolívar (Fig. 4C). La última estación muestra una fluctuación muy marcada variando entre 18 y 34‰, aproximadamente, debido a que, está localizada en la desembocadura del río Guayas (Golfo de Gua-

yaquil). En general, las variaciones estacionales de salinidad presentan una forma inversa de altibajos con las temperaturas del aire y del mar superficial, y se observan bajas salinidades en los meses de Febrero a Abril correspondientes a la época de lluvia con altas temperaturas. Las bajas salinidades observadas fueron posiblemente debido a la intensa lluvia local y por el desplazamiento de las Aguas Tropicales Superficiales hacia el Sur en dicha época.

PRECIPITACION

La mayor precipitación se encuentra en los primeros meses de cada año (Enero a Abril) con excepción de la estación de Esmeraldas en el año 1979, cuando se registró precipitación apreciable en todos los meses (Fig. 5). Como se observa en la Tabla 2, la precipitación anual varía marcadamente tanto entre las estaciones como entre los años, encontrándose la máxima en la estación de Esmeraldas, 2.982 mm en 1979 y la mínima en la de Salinas, 8.2 mm en 1980. La diferencia entre los años se presenta mayor en la estación de Esmeraldas (2.428 mm) y menor en la de Salinas, (389 mm). Es interesante anotar que en la estación de Salinas se registró la precipitación anual solamente menos que 35 mm por año durante los años 1977 a 1980.

VIENTOS

En cuanto a la dirección de los vientos, se observa una marcada diferencia entre las estaciones (Fig. 6). En la estación de San Cristóbal, la dirección Sureste (SE) predomina casi todo el tiempo y se ha encontrado solamente en tres ocasiones (Marzo de 1976, Marzo y Abril de 1977) con la dirección Norte. Los vientos con la dirección W (algunas veces con NW y SW) fueron registrados en su mayoría en la estación de Esmeraldas. La dirección de los vientos observados en las otras tres estaciones costeras son más variable, pero podemos encontrar una forma común entre estas estaciones en el período comprendido entre el mes de Junio y el fin del año, es decir, se presenta predominantemente la dirección SW y en algunos casos en W y NW. Sin embargo, en el lapso comprendido entre los meses de Enero a Mayo, se observa una diferencia notable de la dirección predominante de los vientos entre las estaciones y entre los años (aún en la misma estación). En la estación de Salinas se encuentra la dirección más frecuente hacia el W, con pocas ocasiones hacia el SW. La dirección predominante de los vientos en la estación de Manta fue el W en los años 1975 a 1980, y el NW en los años 1976 y 1977. Por otro lado, la situación más variada se encuentra en la estación de Puerto Bolívar, es decir, con la dirección W en 1975, NW, en 1976 -1978 y SW en 1979 y 1980.

En relación con la intensidad de los vientos, se observa una diferencia marcada entre las estaciones costeras y entre los años (Fig. 6). En general, la baja intensidad de los vientos se encuentra en los meses de Febrero y Abril y se inicia una intensificación a partir del mes de Mayo o Junio. En la estación de Manta, se presentó una irregularidad en el año 1980 mostrando una elevada intensidad de los vientos en el período comprendido entre los meses de Enero a Julio. En el año 1980, se registraron muy altos valores en la velocidad de los vientos en las estaciones de Salinas y Manta, es decir, los valores promedio mensuales de este parámetro, en la primera estación fueron de 7,5 a 8,8 m/s en los meses de Octubre a Diciembre y de 7,1 y 7,2 m/s en los meses de Junio y Julio para la segunda estación. Se aprecia que los valores de la velocidad de los vientos registrados en las estaciones de Salinas y Esmeraldas se presentan relativamente más elevados que los de otras estaciones, con la excepción de los datos del año 1979 de la estación de Esmeraldas; Mientras que los valores observados de este parámetro, en la estación de Puerto Bolívar fueron siempre inferiores.

FRENTE ECUATORIAL

Varios investigadores (Knauss, 1957 y 1963; Wyrski, 1965; Wooster, 1969; Zuta y Guillén, 1970 describieron la presencia del Frente Ecuatorial y su característica oceanográfica. Además, Stevenson y Taft (1971) encontraron la existencia de un núcleo de alta salinidad subsuperficial situado por debajo de la zona Sur del Frente Ecuatorial lo cual está asociado con el flujo de la Subcorriente Ecuatorial. Pak y Zeneveld (1974) también consideraron que el principal origen de las aguas frías del Frente Ecuatorial en el área

Este de las Galápagos sería la Corriente Costera Peruana y la surgencia asociada con la Subcorriente Ecuatorial.

En base de los datos de temperatura y salinidad superficiales obtenidos a través de varios cruceros oceanográficos realizados por el INOCAR, se determinó la ubicación del Frente Ecuatorial en cada crucero.

En la figura 7, se observa una variación apreciable en la posición del Frente entre los cruceros. Durante los cruceros CO - I - 75 (Marzo) y CO - I - 80 (Marzo) no se encontró el Frente. Ambos cruceros fueron realizados en una sola sección de Norte a Sur, aproximadamente a lo largo de 82° de longitud W en el CO - I - 75 y $82^{\circ} 30'$ longitud W en el CO - I - 80. En el primer crucero, dicha área fue ocupada por Aguas Tropicales Superficiales con temperaturas de $26,43 - 28,18^{\circ}\text{C}$ y salinidades de $31,7^{\circ}/\text{oo} - 33,6^{\circ}/\text{oo}$ respectivamente. Probablemente, en esta ocasión el Frente Ecuatorial estaba en un lugar más al Sur y/o más al Oeste. En el Crucero CO - I - 80, se encontraron las aguas Ecuatoriales Superficiales con temperaturas de $22,9 - 25,42^{\circ}\text{C}$ y salinidades de $34,63 - 34,88^{\circ}/\text{oo}$. En general, el Frente Ecuatorial se extiende desde la parte Sur del Ecuador (alrededor de 81° - long. W) hacia el Noroeste. Se observa que el Frente Ecuatorial se mueve hacia el Norte en el verano con una marcada apreciación de ésta tendencia en el área más alejada de la costa. También en los cruceros CO - II - 76 y CO - II - 80 se nota que el Frente presenta una distribución zonal hasta la costa entre 0° y 1° Sur con el borde Norte paralelo al Ecuador. Mientras que en el área más cercana a la costa desde aproximadamente 83° de long. W, el Frente se aprecia con una orientación meridional.

Durante los cruceros 1973 a 1980, el Frente Ecuatorial se localiza aproximadamente desde el ecuador hasta $03^{\circ} 30'$ latitud S, mostrando una amplia variación estacional en lo referente a su posición. Estos cambios de las posiciones del Frente Ecuatorial están asociadas con las variaciones de los vientos superficiales, del flujo de la corriente de Humboldt (Perú) y de la intensidad de la surgencia en la costa peruana.

De acuerdo con la variación mensual de la fuerza y la mayor frecuencia de la dirección de los vientos (Fig. 6), en las estaciones costeras se encuentran generalmente altas intensidades de vientos en el período a partir de Mayo hasta el fin del año con la dirección predominante de los vientos SW y W. Este período coincide con la aparición de intenso desarrollo del Frente Ecuatorial, sin embargo, no podemos analizar detalladamente la relación entre los vientos costeros y la formación del Frente debido a su insuficiencia de datos referentes al mismo.

Las figuras 8 y 9 muestran el corte vertical de los parámetros hidroquímicos en diversos cruceros para indicar las posiciones del Frente Ecuatorial y una variada fluctuación de su intensidad, además presentan algunos ejemplos en los que no se presentó el Frente.

Es interesante anotar que en el crucero CO - I - 76, se presentó el Frente con el fenómeno inverso de lo que ocurre ordinariamente, en el sentido de la ubicación de las dos masas de agua, es decir, la zona Norte del Frente está ocupada por las aguas menos cálidas con mayor salinidad y por el contrario, la zona Sur con las aguas cálidas y de menor salinidad. En el Frente convergen las dos masas de agua con temperaturas de $24,75 - 26,51^{\circ}\text{C}$ y salinidades de $33,92 - 34,45^{\circ}/\text{oo}$ y otras de $27,46 - 28,95^{\circ}\text{C}$ de temperatura y $33,52 - 33,90^{\circ}/\text{oo}$ de salinidad.

De acuerdo con estas características de las aguas de ambas zonas, podemos considerar que las aguas de la zona Norte corresponden, a las Aguas Ecuatoriales Superficiales y las de la zona Sur, a las Aguas Tropicales Superficiales. Este fenómeno anormal probablemente ocurrió por la intrusión parcial y temporal de las Aguas Ecuatoriales Superficiales al Norte de las Aguas Tropicales Superficiales, mientras que la última masa de agua se desplaza hacia el Sur. Por lo tanto el Frente Ecuatorial ordinario debería estar presente en la zona más al Sur del área de este crucero.

La Tabla 3, presenta los intervalos aproximados de las gradientes de temperatura y salinidad del Frente Ecuatorial de los cruceros 1973-1980.

La mayor gradiente de temperatura fue encontrada en el CO. — III — 73 (Septiembre) con $0,18^{\circ}\text{C}$ por milla, presentando una diferencia marcada con el próximo valor máximo ($0,094^{\circ}\text{C}$ por milla), mientras que la mayor gradiente de salinidad fue $0,046^{\circ}/\text{oo}$ por milla en el crucero CO — IV — 74. En general, podemos decir resumiendo lo expresado en la tabla 3, que el Frente Ecuatorial se presenta en el área Ecuatorial con una gradiente mayor en la temperatura y salinidad oscilando entre $0,05 - 0,09^{\circ}\text{C}$ por milla y $0,2 - 0,04^{\circ}/\text{oo}$ por milla, respectivamente.

COMPARACION DE LAS CONCENTRACIONES DE LOS NUTRIENTES SUPERFICIALES ENTRE DOS ZONAS DEL FRENTE ECUATORIAL

Como se observa en la distribución horizontal de fosfato y nitrato (Figs. 10 y 11), los valores más elevados de estos nutrientes se presentan en las aguas con baja temperatura y relativamente alta salinidad del Frente Ecuatorial, en comparación con las más bajas concentraciones de éstos en la zona de aguas cálidas y de baja salinidad. Especialmente se aprecia marcada diferencia en el contenido de nitrato entre ambas zonas, mostrando casi agotamiento de este ión en la zona de las aguas cálidas. Las bajas concentraciones de fosfato y nitrato se extienden desde la superficie hasta por encima de termoclina bien desarrollada en las zonas de las aguas cálidas. Esta capa de bajo contenido de nutrientes se presenta aproximadamente entre la superficie y los 20 ó 25 m de profundidad. En la figura 12, se da un ejemplo del corte vertical de parámetros hidroquímicos en el caso en el que no se aprecia el Frente Ecuatorial en las aguas frente al Ecuador, mostrando bajas concentraciones de nutrientes en toda la capa superficial de la sección a lo largo de 82°W extendiéndose desde $1^{\circ}30'\text{N}$ a 3°S , aproximadamente.

La figura 13 ilustra una comparación de las concentraciones medias de fosfato, nitrato, nitrito y silicato, y la AOU de dos zonas separadas por el Frente Ecuatorial. En diversos cruceros se observa que los indicados parámetros en la zona de las aguas originadas en la Corriente Costera Peruana muestran valores más elevados que los de la zona de las aguas cálidas. Es interesante observar que los valores de AOU, en la zona de las aguas cálidas se presentan ocasionalmente negativos indicando una activa producción de oxígeno a través de los procesos fotosintéticos en la antes citada zona. Este valor negativo de AOU está denominado como la Producción Aparente de Oxígeno, AOP. En la figura 14, se presentan las distribuciones horizontales de AOU en las aguas superficiales y las secciones verticales del mismo parámetro en relación con la posición del Frente Ecuatorial.

Se observa que en ciertas partes del área de estudio se presentan los valores negativos de AOU, especialmente, en el crucero CO — I — 78 una amplia área está ocupada por AOU negativo, es decir por AOP. A pesar de que no hemos presentado gráficamente, los valores de AOU de las aguas superficiales en el Crucero CO — I — 76 fueron totalmente negativos y en esta ocasión no se presentó el Frente Ecuatorial en forma normal, siendo ocupada el área frente al Ecuador por las Aguas Tropicales Superficiales. Suponemos que el Frente se ubicó en la parte Sur del Ecuador como consecuencia del fenómeno "El Niño". En la figura 14, se observa generalmente que los valores negativos de AOU se presentan dentro del Frente Ecuatorial y/o en la zona de las Aguas Cálidas. Como se ve en la sección vertical de AOU, los valores negativos de esta se encuentran en las capas superficiales entre la superficie y los 10 a 20 m de profundidad, los que corresponden a las capas superficiales de la termoclina. Es interesante anotar que a las aguas con relativamente baja temperatura situadas en la zona Sur del Frente Ecuatorial, corresponden los valores positivos aunque se encuentren en la capa superficial.

De acuerdo con la comparación de los valores de AOU entre dos zonas separadas por el Frente Ecuatorial, podemos ver que la zona de las aguas cálidas posee aparentemente más alta producción primaria que las aguas frías surgidas, las cuales tienen elevada concentración de nutrientes. Sin embargo, el bajo contenido de nutrientes, especialmente el casi agotamiento de nitrato en las aguas cálidas implica, probablemente, menor productividad primaria (potenciabilidad) en estas aguas, en comparación con las aguas frías surgidas, ya que las últimas posiblemente no presentaron la alta actividad fotosintética, a pesar de tener suficiente fuente nutritiva, debido a que estas aguas surgidas no tienen abundantes productores primarios que generan la fotosíntesis; por lo tanto, si hubiera un suficiente suministro de fitoplancton, presentarían una

elevada producción primaria. En tal sentido la mezcla de ambas masas de agua es un factor importante para enriquecer las aguas frente al Ecuador.

Jiménez y Bonilla (1980) observaron las mayores concentraciones celulares del fitoplancton en la zona al Sur del Frente Ecuatorial en el Crucero CO — III — 74 (Septiembre). Sin embargo, nuestros datos de AOU en la mayor parte de la misma zona presentan valores positivos indicando, aparentemente, que la tasa de producción de oxígeno por fotosíntesis fue menor que la tasa de consumo de oxígeno por la descomposición orgánica. Las masas de agua que se encuentran en la zona Sur del Frente Ecuatorial, son las Aguas Costeras Peruanas que fueron surgidas de las capas subsuperficiales con relativamente bajas concentraciones de oxígeno (sobresaturación). Debido a esto, probablemente se sugiere, transcurso de un cierto tiempo hasta alcanzar el aumento del contenido de oxígeno al nivel superior de la saturación, aunque las actividades fotosintéticas sí presentan un intensivo desarrollo en dicha zona.

AGRADECIMIENTO

Los autores dejan constancia de su agradecimiento a los Señores Directores del Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador, cuyo decidido apoyo hizo posible la realización del presente trabajo.

Al Sr. Francisco Arce, Dibujante Técnico del INOCAR, por su valiosa colaboración en la elaboración de los diversos mapas y gráficos.

BIBLIOGRAFIA

- Bjerknes, J. 1961.** El niño study based on analysis of ocean surface temperature, 1935-57. Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. 5 (3), 219 - 303.
- Enfield, D. B., 1975.** Oceanografía de la región norte del Frente Ecuatorial: Aspectos físicos. Reunión de trabajo sobre el fenómeno conocido como "El Niño", Guayaquil - Ecuador, 4 - 12 de Diciembre de 1975.
- Jiménez, R. y Bonilla, D. 1980.** Composición y distribución de la biomasa del plancton en el Frente Ecuatorial. Acta Oceanogr. del Pacífico, 1 (1), 19 - 64.
- Knauss, J. A. 1957.** An observation of an Ocean Front, Tellus 9, 234 - 236.
- Knauss, J. A. 1966.** Further measurement and observation on the Cromwell current. J. Mar. Res.; 24 (2), 204 - 240.
- Moreano, H., 1981.** Interacción Oceano-atmósfera sobre la Región Costera del Ecuador. Sem. Ordenación y desarrollo integral zonas costeras. Guayaquil- Ecuador, 1981.
- Pak, H. and J. R. Zanevold, 1974.** Equatorial Front in the Eastern Pacific Ocean. J. Phys. Oceanogr., 4, 570 - 578.
- Sterenson, M. and B. Taft, 1971.** New evidence of the Equatorial Undercurrent East of the Galapagos Islands Jour. Mar. Res., 29 (2), 103 - 115.
- Strickland, J. D. H., and T. R. Parsons, 1972.** A practical handbook of seawater analysis. Bull. Fisheries Res. Board Can., 167 - 310 p.
- Wooster, W. S., 1969.** Equatorial front between Perú and Galápagos. Deep-sea Res. Suppl. 16, 407 - 419.
- Wooster, W. S. y O. Guillén, 1974.** Characteristics of El Niño in 1972. J. Mar. Res., 32, 387 - 404.
- Wyrtki, K., 1965.** Surface currents of the eastern tropical Pacific Ocean. Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., 9 (5), 271 - 304.
- Wyrtki, K., E. Stroup, W. Patzert, R. Williams and W. Quinn, 1976.** Predicting and observing El Niño. Science, 191 (4225), 343 - 346.
- Zuta, S., y O. Guillén, 1970.** Oceanografía de las Aguas del Perú. Bol. Inst. Mar. Perú, 2 (5), 157 - 324.

Tabla 1

RESUMEN DE LAS TEMPERATURAS DEL AIRE Y DEL MAR SUPERFICIAL
(BASADO EN LAS MEDIDAS MENSUALES DURANTE LOS AÑOS 1975 - 1980)

ESTACION	INTERVALO DE LA DIFERENCIA ANUAL			TEMPERATURAS EXTREMAS ENCONTRADAS				
SAN CRISTOBAL	3.2 - 6.0	4.2 - 5.7	26.9	20.0	6.9	27.3	21.4	5.9
ESMERALDAS	0.7 - 2.4	1.8 - 2.8	26.6	23.4	3.2	28.6	23.7	4.9
MANTA	2.4 - 4.0	0.8 - 3.8	26.3	21.7	4.6	26.9	22.4	4.5
SALINAS	4.8 - 6.7	3.1 - 5.0	26.9	19.8	7.1	26.4	20.8	5.6
PUERTO BOLIVAR	3.2 - 4.8	1.9 - 4.3	27.1	21.4	5.7	28.7	23.1	5.6

Tabla 2

PRECIPITACION ANUAL mm					
AÑO	GALAPAGOS	ESMERALDAS	MANTA	SALINAS	PUERTO BOLIVAR
1975	986.2	895.2	582	301.5	751.3
1976	956.5	1294.3	513.3	397.5	629.6
1977	272.2	820.4	177.4	17.2	427.4
1978	236.4	929.0	152.5	34.4	214.8
1979	212	2982.4	160	24.1	141.3
1980	150	554.2	79.5	8.2	459.3
Diferencia *	836.2	2428.2	502.5	389.3	610.0

*Diferencia entre máximas y mfnimas durante los años 1975 – 1980.

Tabla 3

GRADIENTES DE TEMPERATURA Y SALINIDAD EN EL FRENTE ECUATORIAL

CRUCERO	MES	GRADIENTE	
		TEMPERATURA °C POR MILLA	SALINIDAD ‰ POR MILLA
CO - III - 73	AGOSTO - SEPTIEMBRE MAYO OCTUBRE	0.18 - 0.078	0.040 - 0.019
CO - II - 73		0.098 - 0.040	0.033 - 0.010
CO - I - 73		0.055 - 0.012	0.030 - 0.015
CO - II - 74	JUNIO SEPTIEMBRE DICIEMBRE	0.047 - 0.010	0.017 - 0.011
CO - III - 74		0.053 - 0.010	0.025 - 0.021
CO - IV - 74		0.089 - 0.019	0.046 - 0.012
CO - I - 75	MARZO SEPTIEMBRE - OCTUBRE	NO SE PRESENTO FRENTE	
CO - II - 75		0.071 - 0.067	0.021 - 0.017
CO - I - 76	MARZO - ABRIL SEPTIEMBRE	0.079 - 0.033	0.011 - 0.007
CO - II - 76		0.084	0.022
CO - I - 78	JUNIO - JULIO	0.094 - 0.036	0.034 - 0.010
CO - I - 80	MARZO JULIO	NO SE PRESENTO FRENTE	
CO - II - 80		0.081 - 0.033	0.030 - 0.014

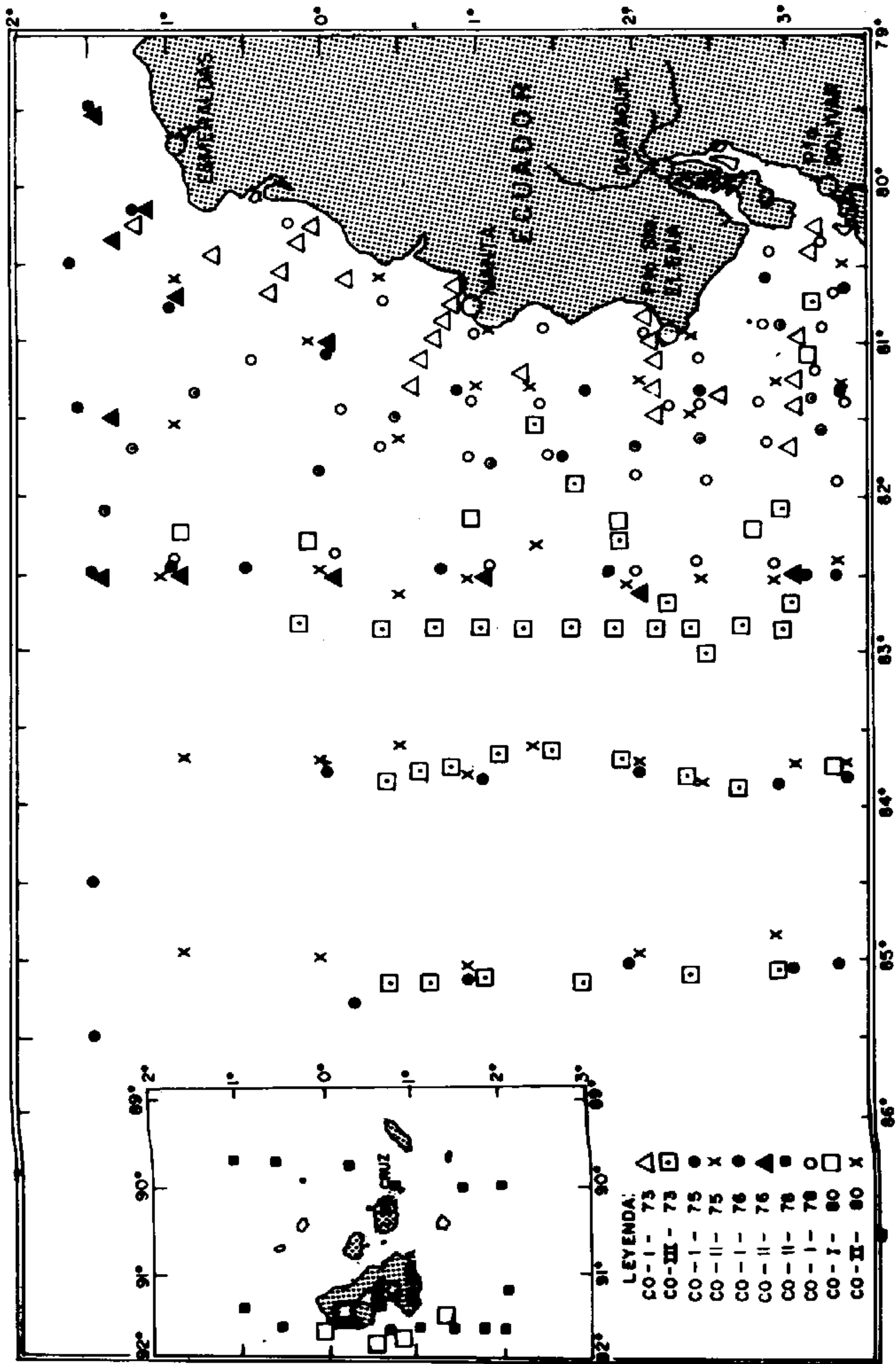


Fig. 1. Ubicación de las estaciones oceanográficas en diversos cruceros.

INSTITUTO OCEANOGRÁFICO
DE LA ARMADA DEL ECUADOR

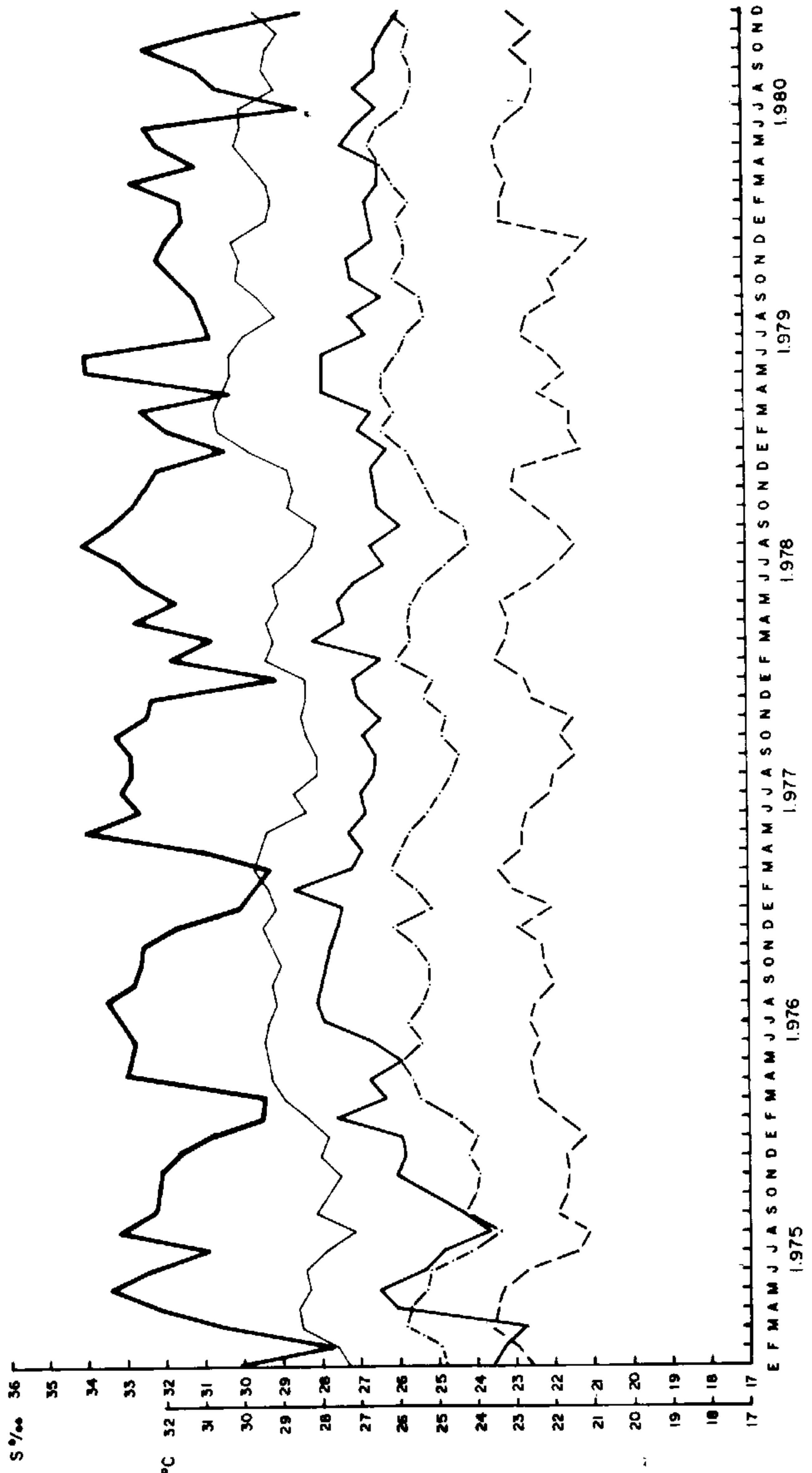
SECCIÓN: OCEANOGRAFÍA QUÍMICA

PROVINCIA ESMERALDAS
ESTACIÓN ESMERALDAS

00° 59.7' N
079° 58.7' W

LEYENDA

- TEMPERATURA DEL AIRE MÁXIMA °C
- TEMPERATURA DEL AIRE MÍNIMA °C
- TEMPERATURA DEL AIRE MEDIA °C
- TEMPERATURA DEL MAR MEDIA °C
- SALINIDAD MEDIA ‰



INSTITUTO OCEANOGRÁFICO
DE LA ARMADA DEL ECUADOR
SECCIÓN: OCEANOGRAFÍA QUÍMICA

PROVINCIA DE MANABÍ
ESTACIÓN MANTA 00° 56.3' S
080° 44.2' W

LEYENDA
TEMPERATURA DEL AIRE MÁXIMA °C
TEMPERATURA DEL AIRE MÍNIMA °C
TEMPERATURA DEL AIRE MEDIA °C
TEMPERATURA DEL MAR MEDIA °C
SALINIDAD MEDIA ‰

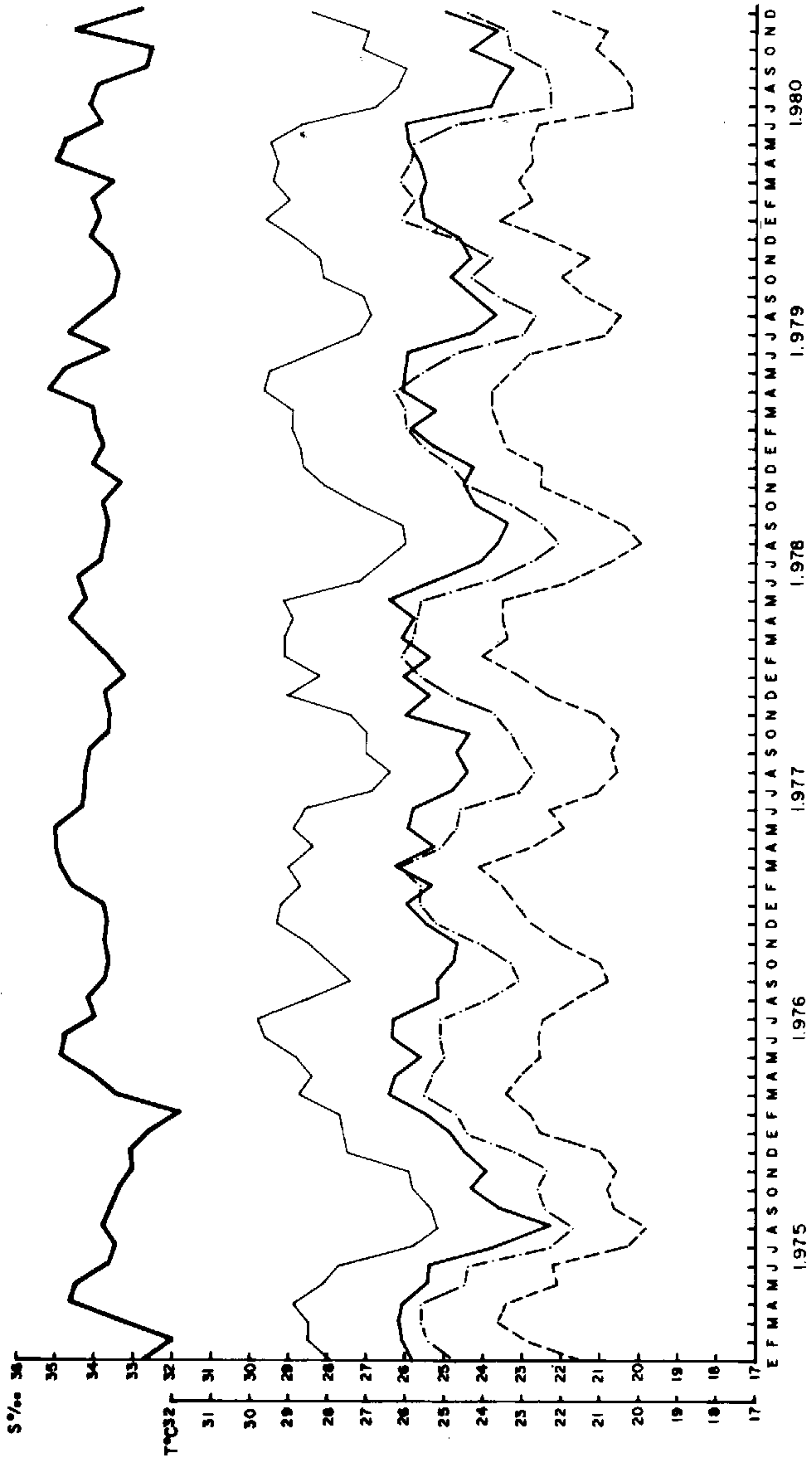


Fig. 2B. Variación mensual entre temperatura del aire, temperatura y salinidad superficiales del mar.

LEYENDA

- TEMPERATURA DEL AIRE MAXIMA °C
- TEMPERATURA DEL AIRE MINIMA °C
- TEMPERATURA DEL AIRE MEDIA °C
- TEMPERATURA DEL MAR MEDIA °C
- SALINIDAD MEDIA ‰

PROVINCIA GUAYAS
ESTACION SALINAS 02° 12.0' S
080° 59.4' W

INSTITUTO OCEANOGRAFICO
DE LA ARMADA DEL ECUADOR
SECCION OCEANOGRAFIA QUIMICA

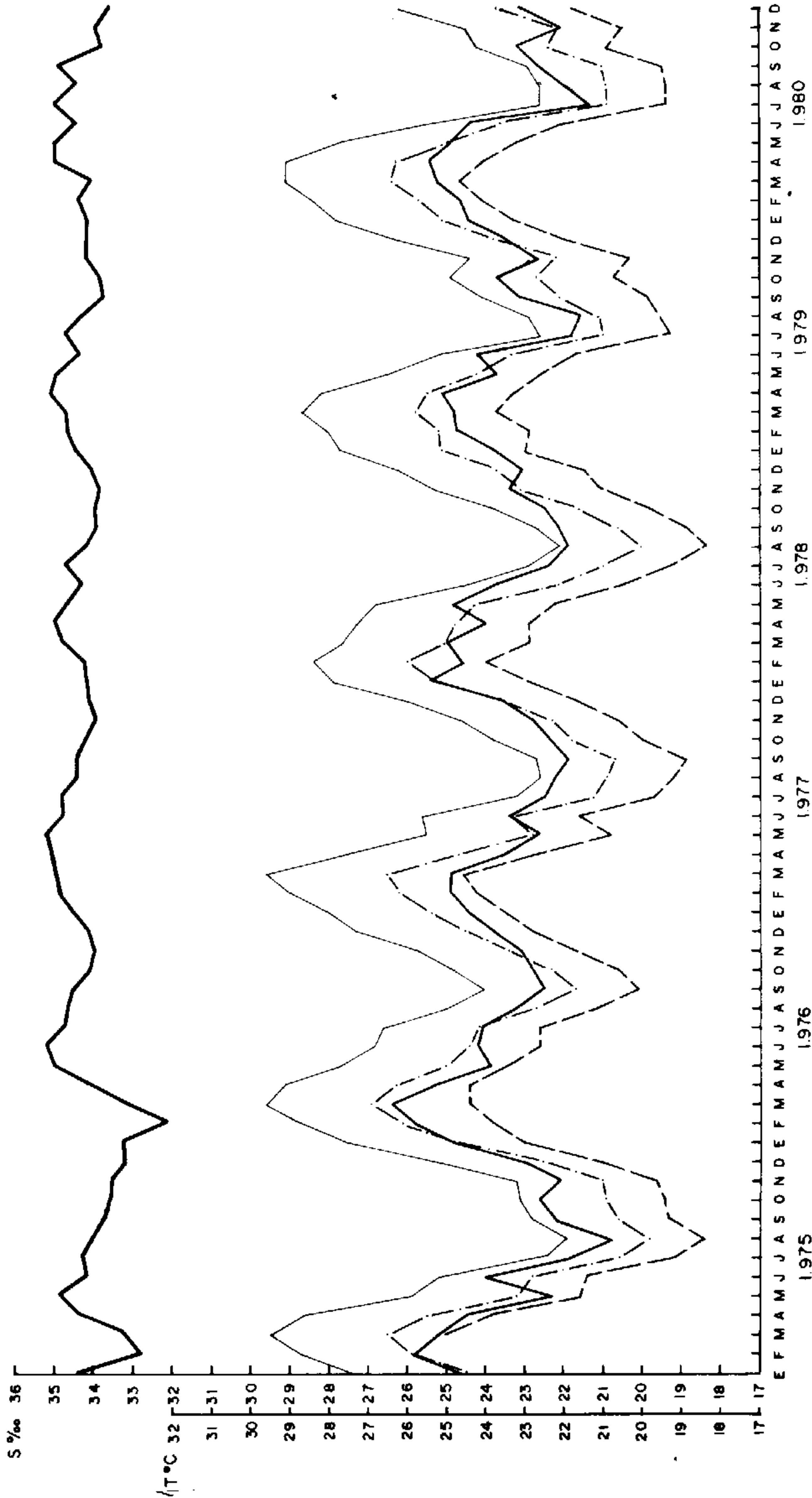


Fig. 2C. Variación mensual entre temperatura del aire, temperatura y salinidad superficiales del mar.

INSTITUTO OCEANOGRÁFICO
DE LA ARMADA DEL ECUADOR
SECCION: OCEANOGRAFIA QUIMICA

PROVINCIA EL ORO
ESTACION PUERTO BOLIVAR 03° 16.1' S
080° 00.1' W

LEYENDA

TEMPERATURA DEL AIRE MAXIMA	°C
TEMPERATURA DEL AIRE MINIMA	°C
TEMPERATURA DEL AIRE MEDIA	°C
TEMPERATURA DEL MAR MEDIA	°C
SALINIDAD MEDIA	‰

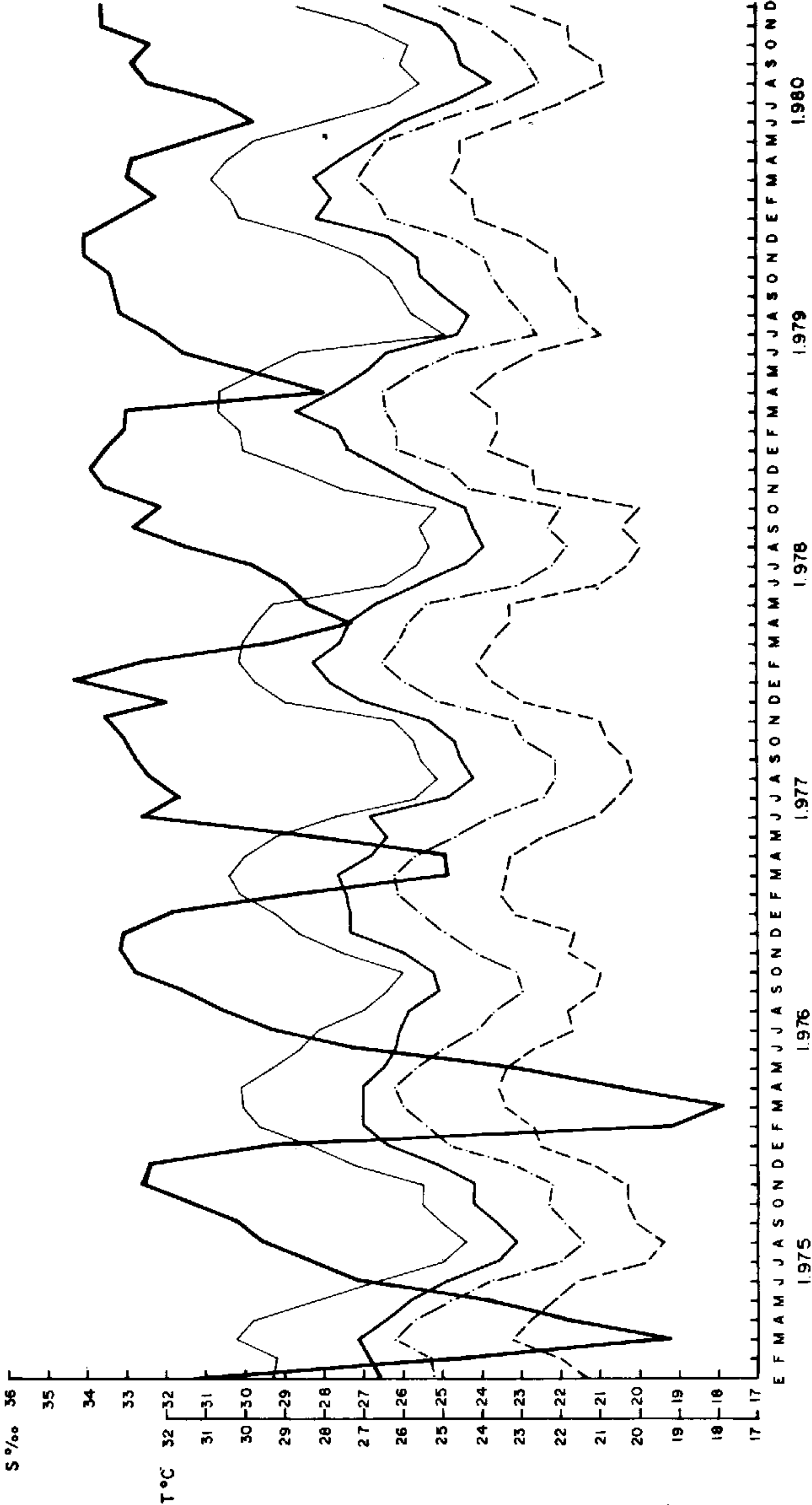


Fig. 2D. Variación mensual entre temperatura del aire, temperatura y salinidad superficiales del mar.

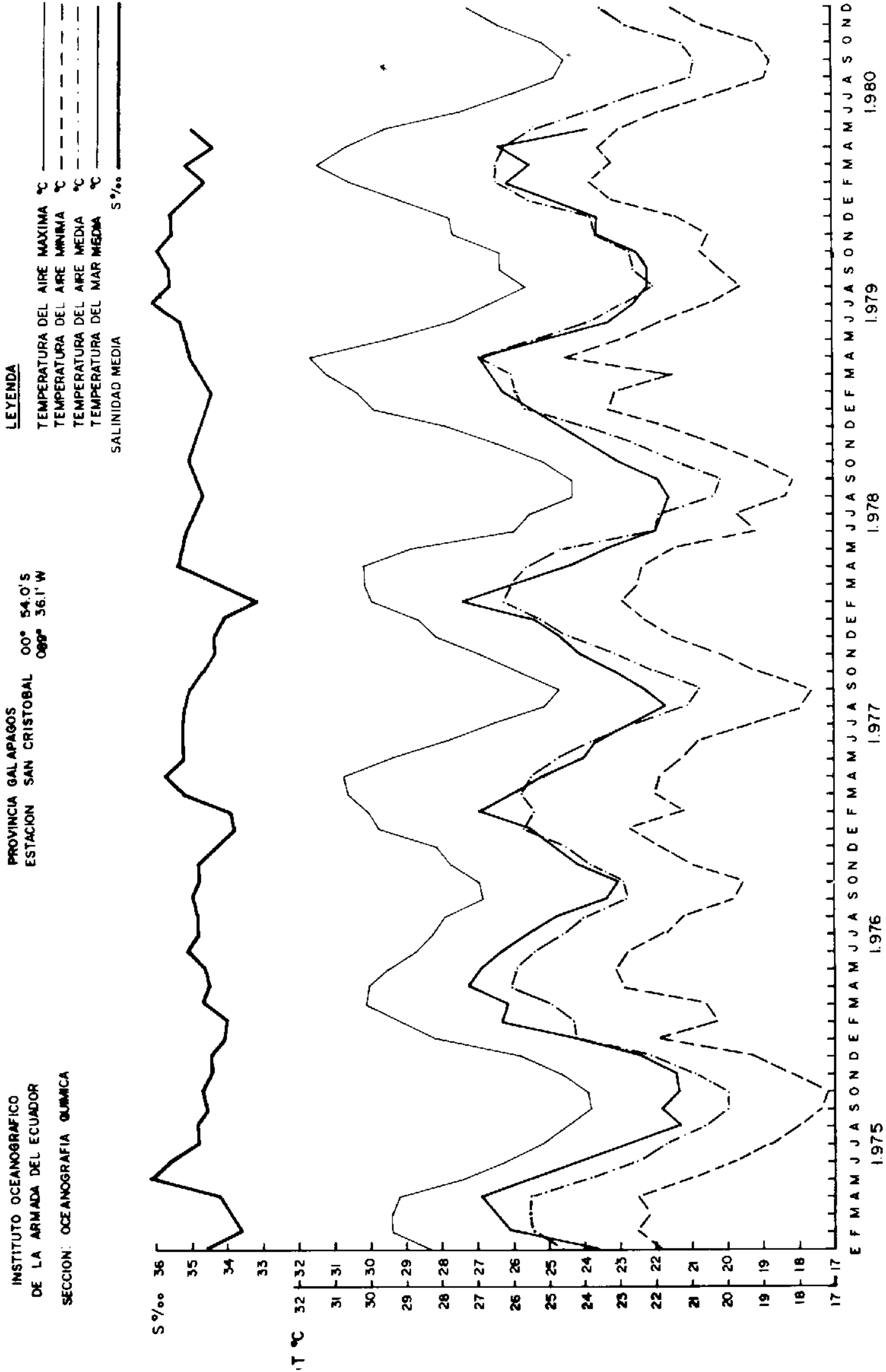


Fig. 2E. Variación mensual entre temperatura del aire, temperatura y salinidad superficiales del mar.

INSTITUTO OCEANOGRAFICO
DE LA ARMADA DEL ECUADOR
SECCION OCEANOGRAFIA QUIMICA

LEYENDA	
ESMERALDAS:	00° 59.7' N 079° 38.7' W
MANTA:	00° 56.3' S 080° 44.2' W
SALINAS	02° 12.0' S 080° 59.4' W
PTO. BOLIVAR	03° 16.1' S 080° 00.1' W
GALAPAGOS	00° 54.0' S 089° 36.1' W

VALORES DE 0 A + 3: DESVIACION POSITIVA (T°C AIRE > T°C AGUA)
VALORES DE 0 A - 4: DESVIACION NEGATIVA (T°C AIRE < T°C AGUA)

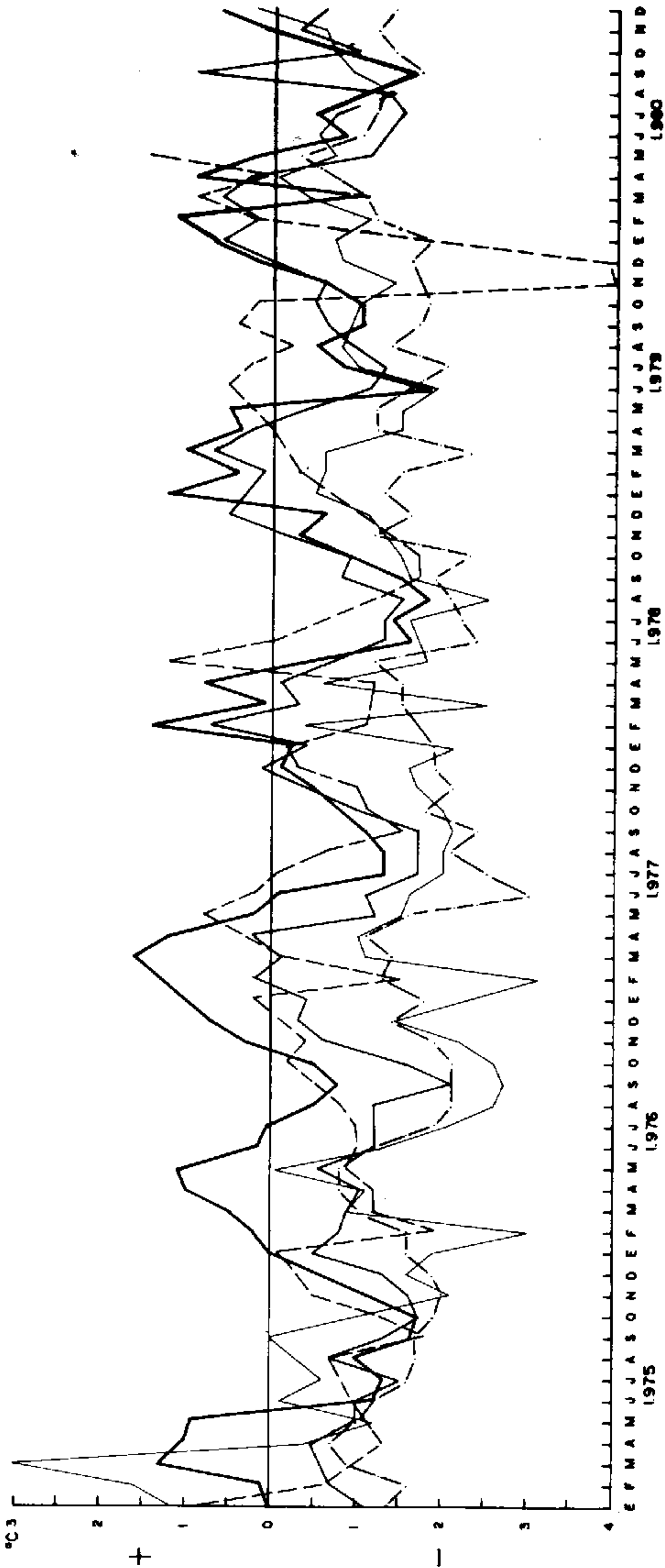


Fig. 3. Desviación mensual entre temperatura del aire y temperatura superficial del mar.

INSTITUTO OCEANOGRÁFICO
DE LA ARMADA DEL ECUADOR
SECCIÓN OCEANOGRAFÍA QUÍMICA

LEYENDA:

GALAPAGOS	00° 54.0' S	089° 36.1' W
ESMERALDAS	00° 59.7' N	079° 38.7' W
MANTA	00° 56.3' S	080° 44.2' W
SALINAS	02° 12.0' S	080° 59.4' W
PTO. BOLIVAR	03° 16.1' S	080° 00.1' W

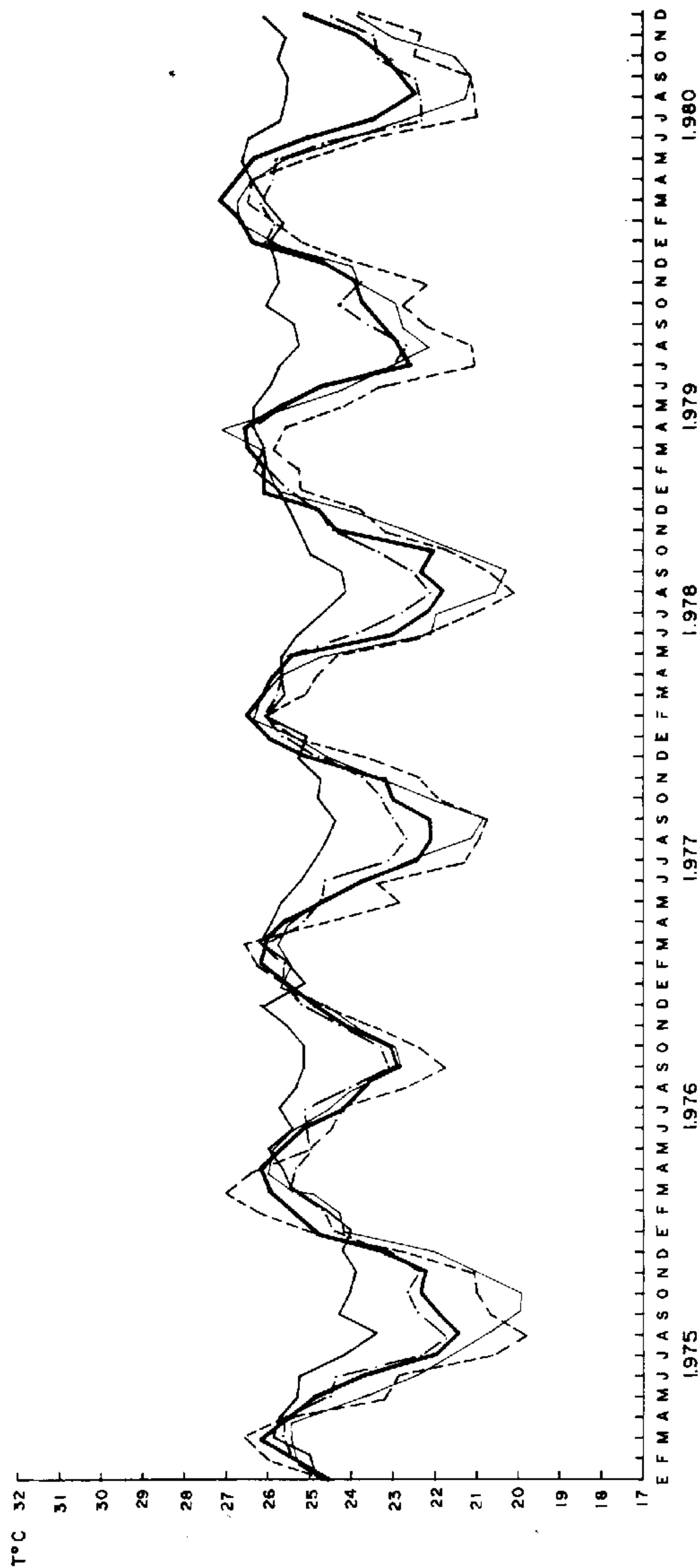


Fig. 4A. Variación mensual de temperatura media del aire en estaciones costeras.

INSTITUTO OCEANOGRAFICO
DE LA ARMADA DEL ECUADOR
SECCION: OCEANOGRAFIA QUIMICA

LEYENDA:	
GALAPAGOS	00° 54.0' S 089° 36.1' W
ESMERALDAS	00° 59.7' N 079° 38.7' W
MANTA	00° 56.3' S 080° 44.2' W
SALINAS	02° 12.0' S 080° 59.4' W
PTO. BOLIVAR	03° 16.1' S 080° 00.1' W

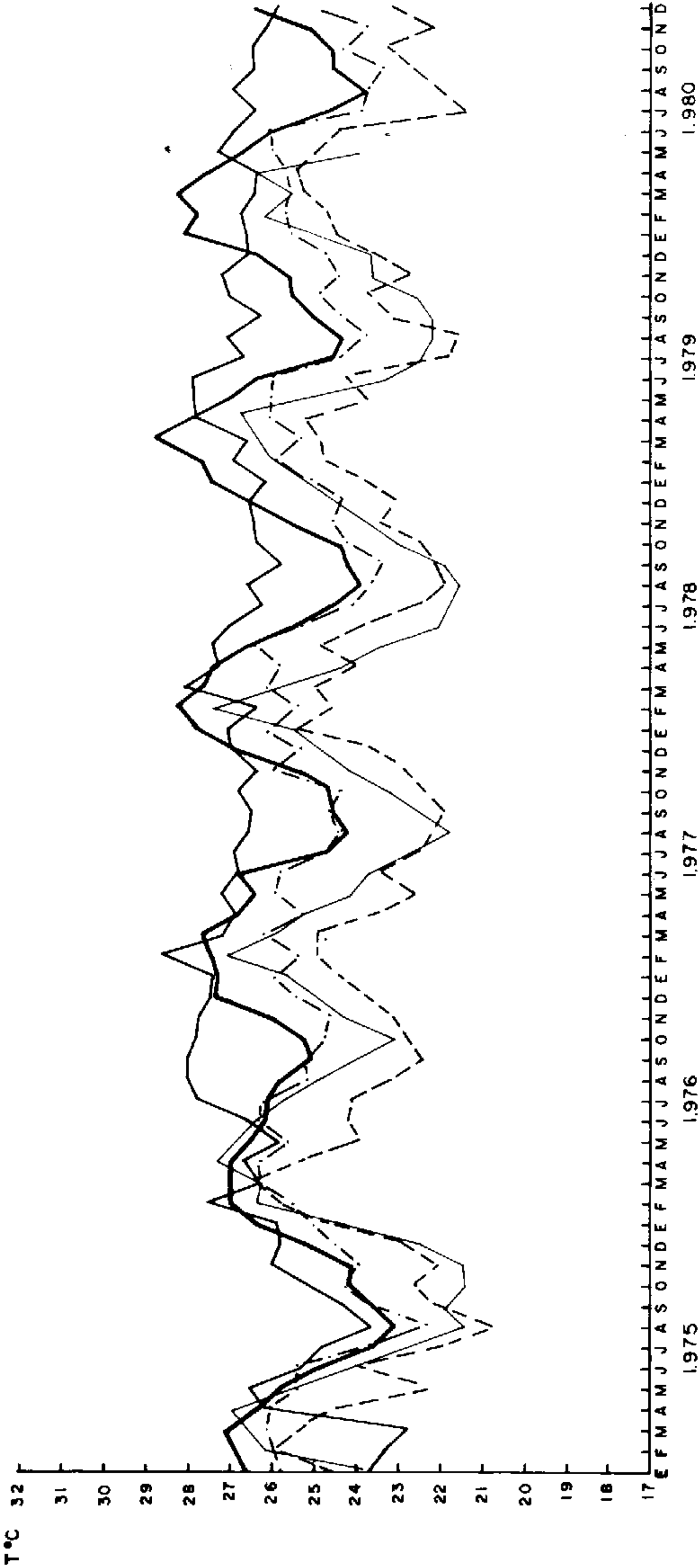


Fig. 4B. Variación mensual de temperatura media del mar en estaciones costeras.

INSTITUTO OCEANOGRÁFICO
DE LA ARMADA DEL ECUADOR
SECCION: OCEANOGRAFIA QUIMICA

LEYENDA

GALAPAGOS	00° 54.0' S
	089° 36.1' W
ESMERALDAS	00° 59.7' N
	079° 38.7' W
MANTA	00° 56.3' S
	080° 44.2' W
SALINAS	02° 12.0' S
	080° 59.4' W
PTO. BOLIVAR	03° 16.1' S
	080° 00.1' W

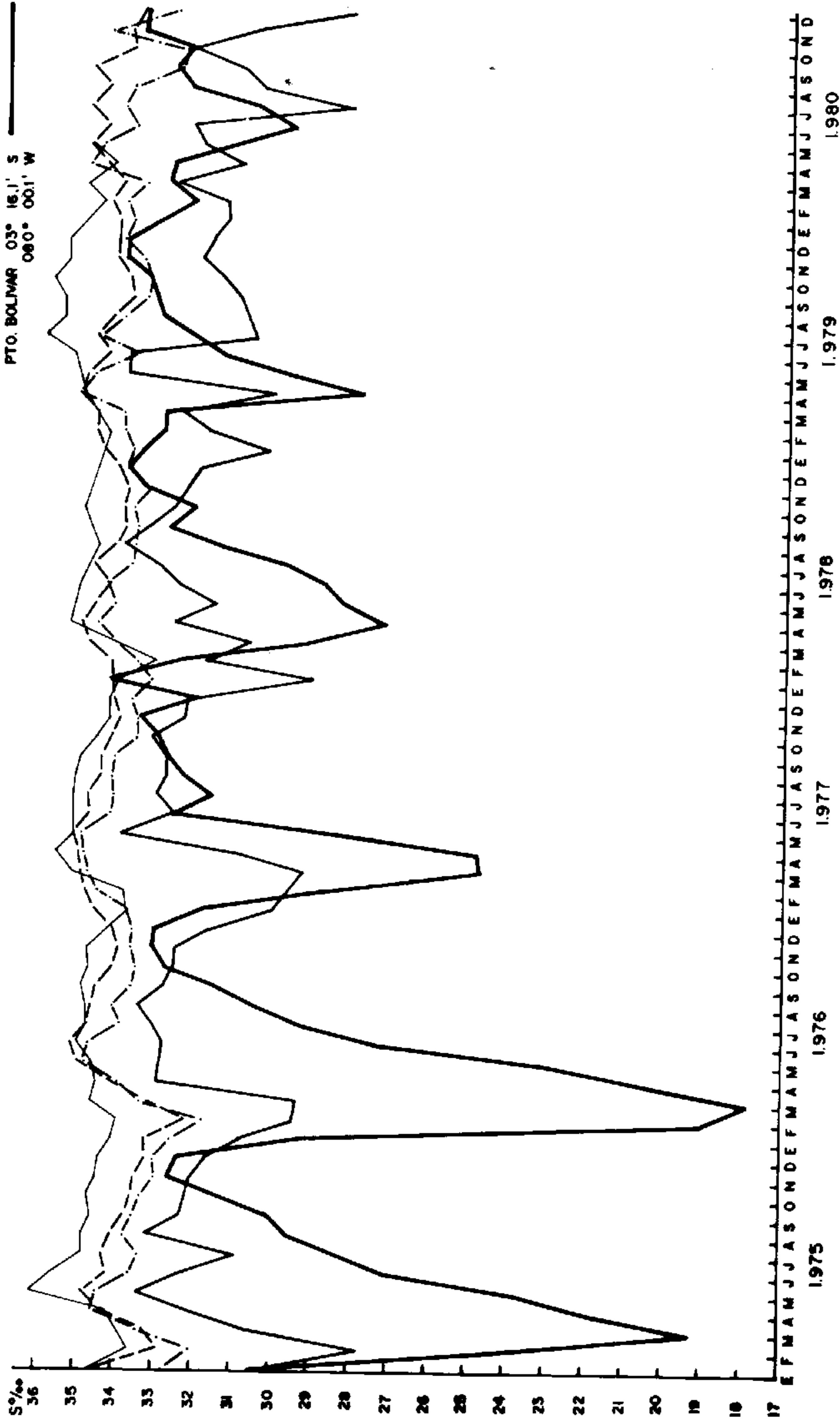


Fig. 4C. Variación mensual de salinidad superficial del mar en estaciones costeras.

INSTITUTO OCEANOGRAFICO
DE LA ARMADA DEL ECUADOR
SECCION: OCEANOGRAFIA QUIMICA

LEYENDA

ESMERALDAS	00° 59.7' N
	079° 38.7' W
MANTA	00° 56.3' S
	080° 44.2' W
SALINAS	02° 12.0' S
	080° 59.4' W
PTO. BOLIVAR	03° 16.1' S
	080° 00.1' W
GALAPAGOS	00° 54.0' S
	089° 36.1' W

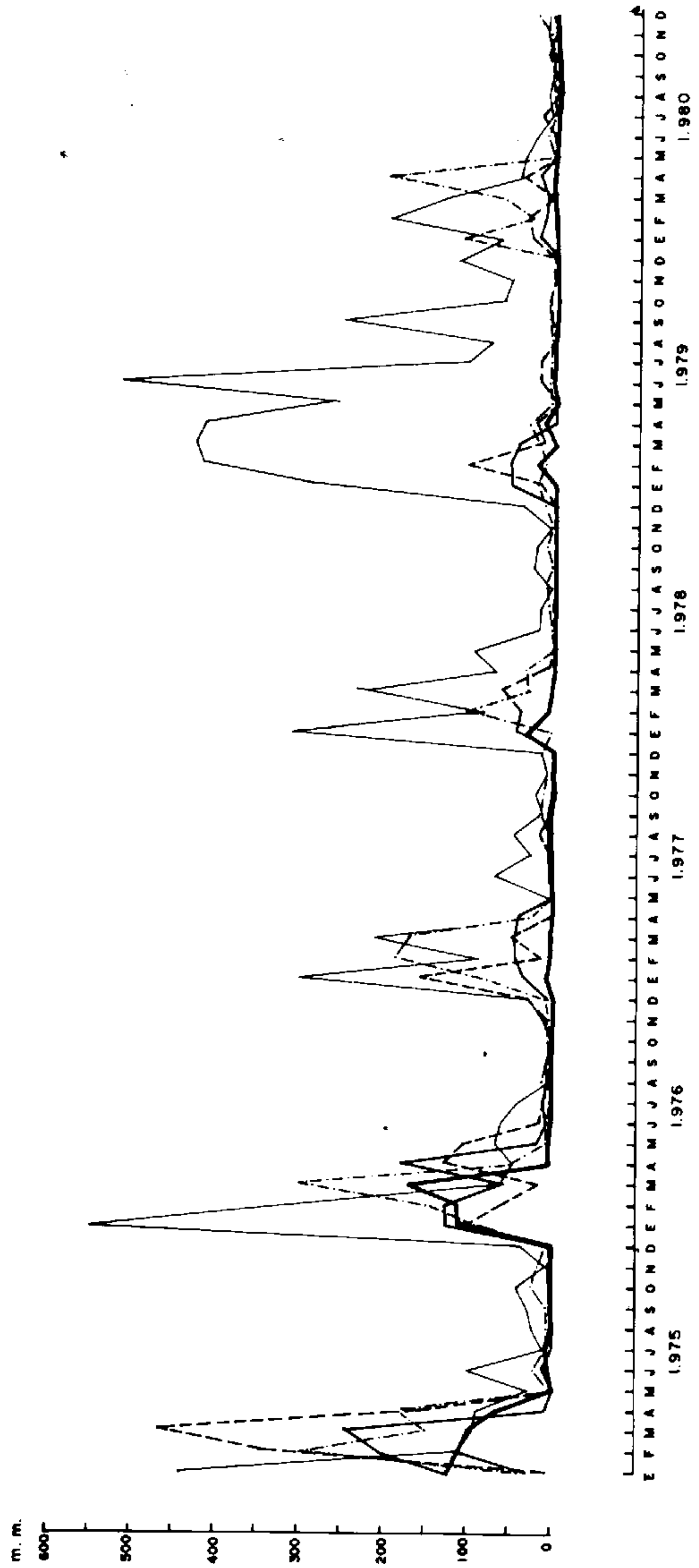


Fig. 5. Variación mensual de precipitación.

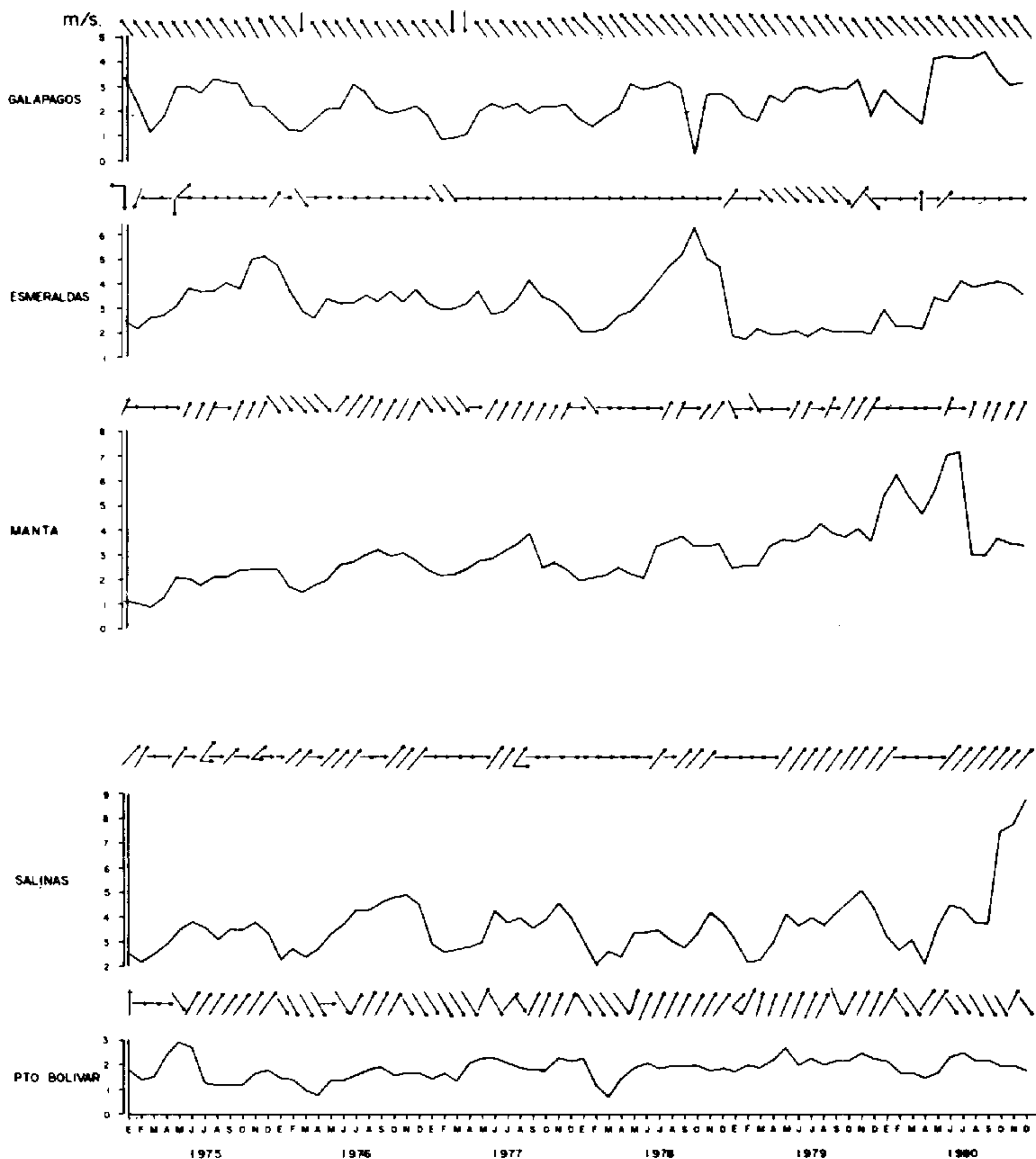


Fig. 6. Variación mensual de la velocidad y dirección de los vientos.

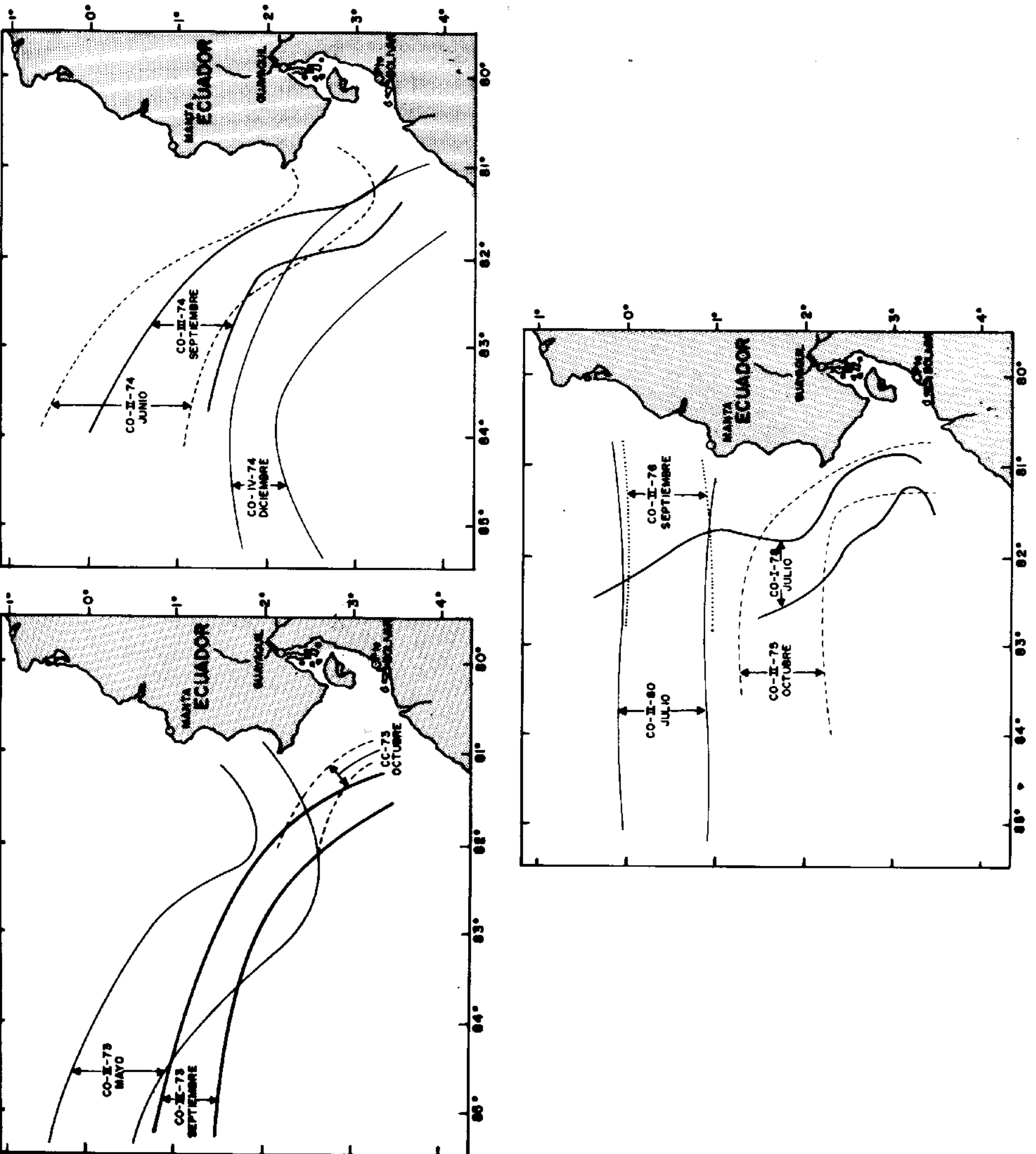


Fig. 7. Posiciones del Frente Ecuatorial encontradas en varios crueros Oceanográficos.

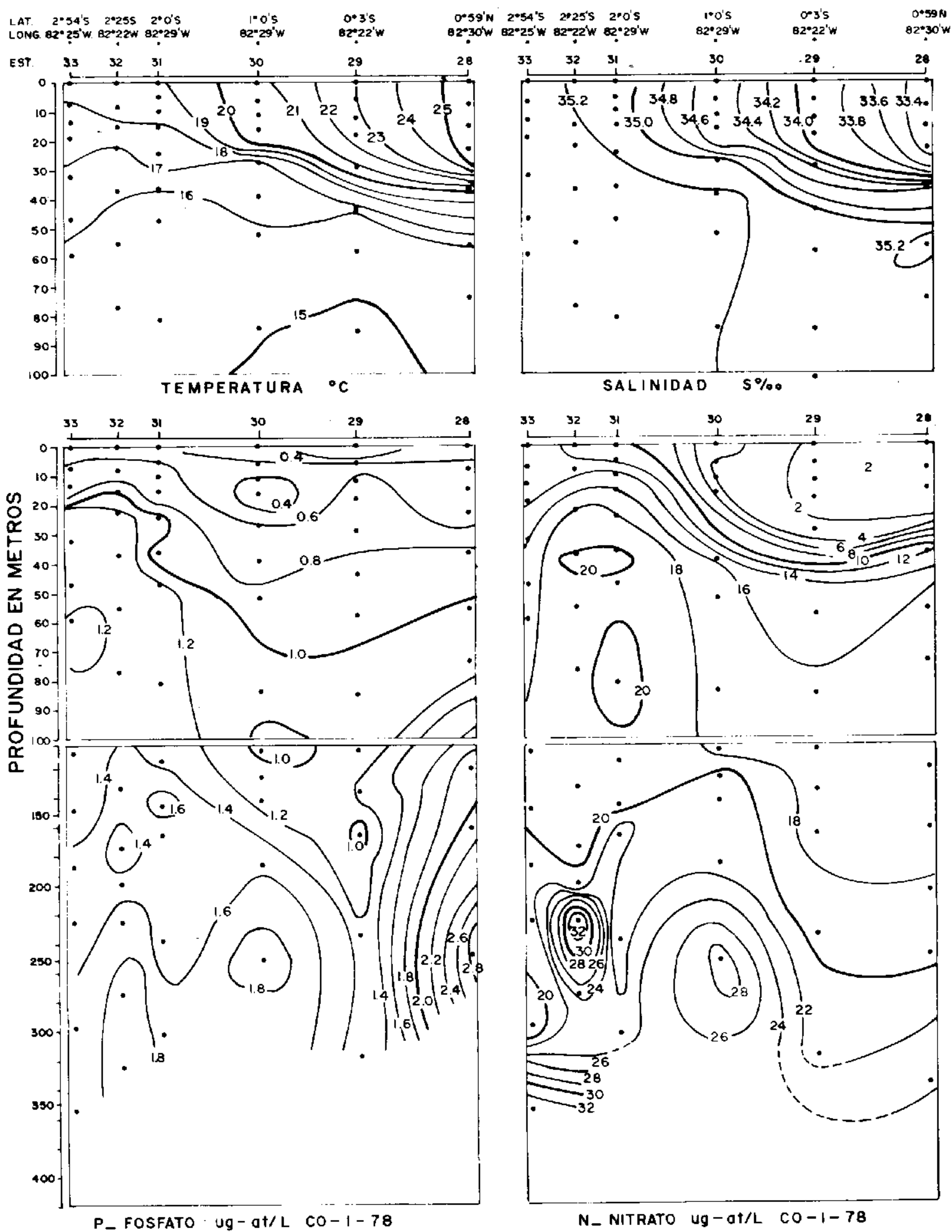


Fig. 8. Sección vertical latitudinal de los parámetros hidrográficos y químicos a lo largo de 82° - 30' W., en el crucero oceánico I - 78.

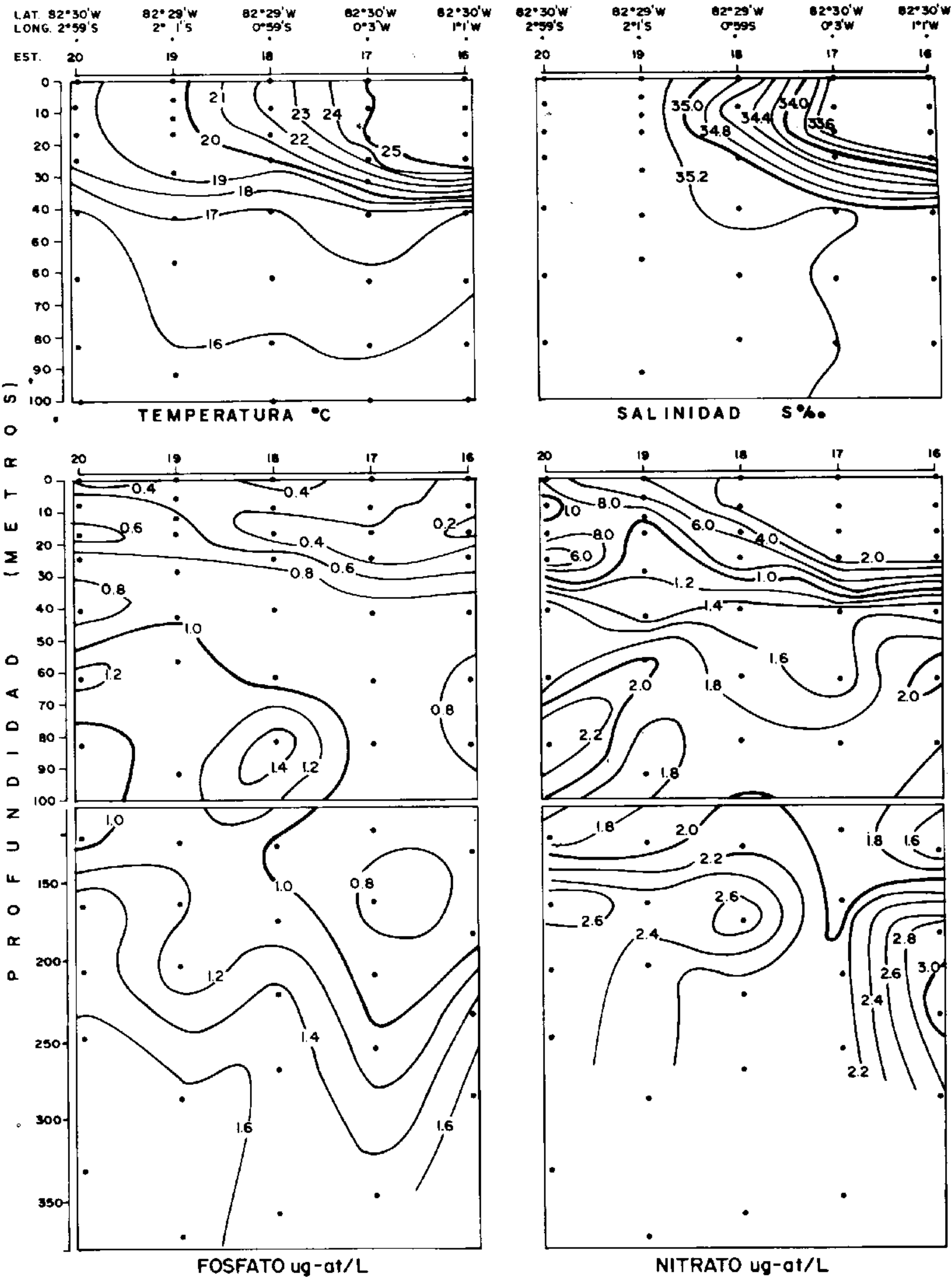


Fig. 9. Sección vertical latitudinal de los parámetros hidrográficos y químicos a lo largo de 83° W., en el crucero CO - II - 80.

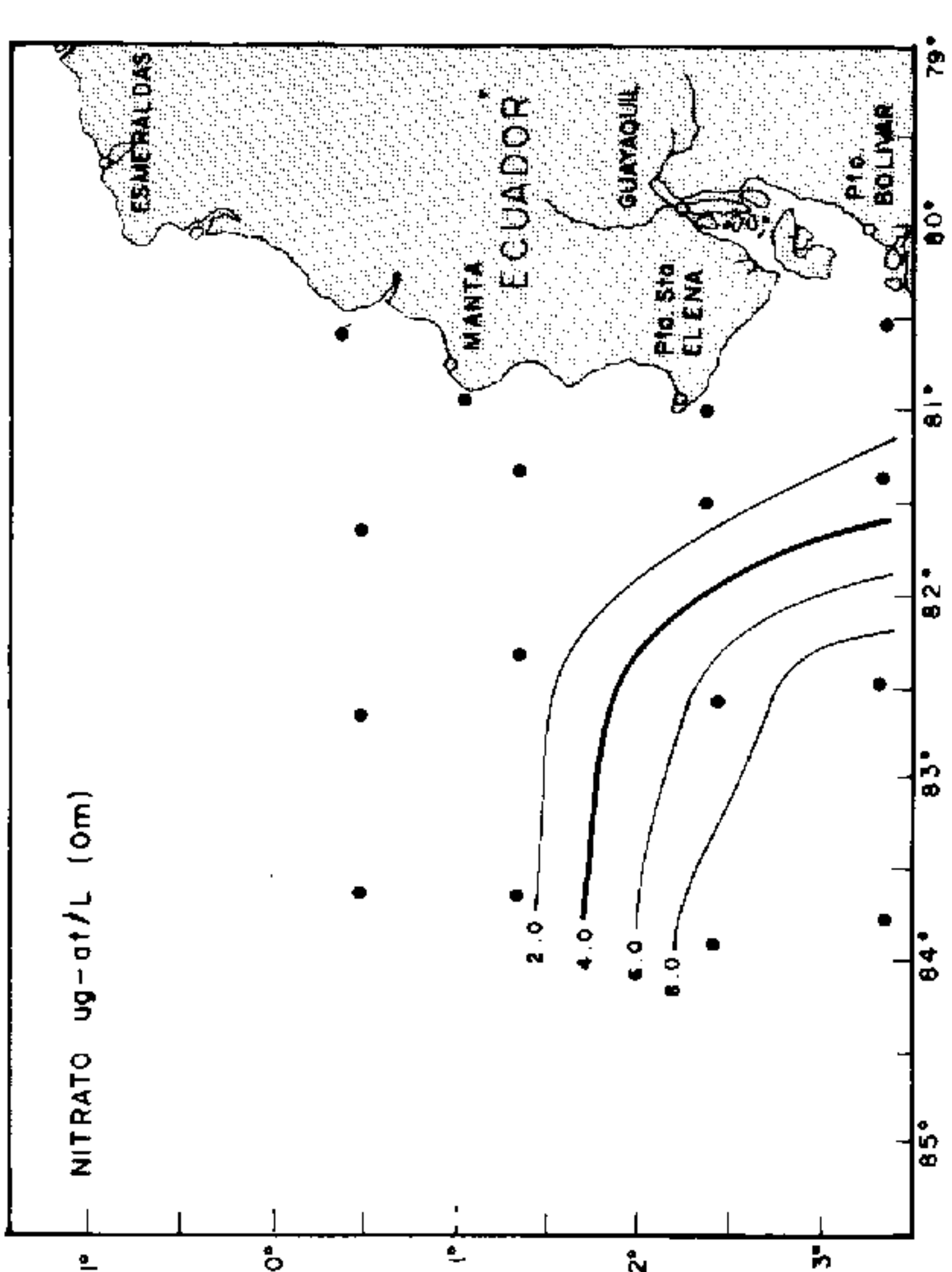
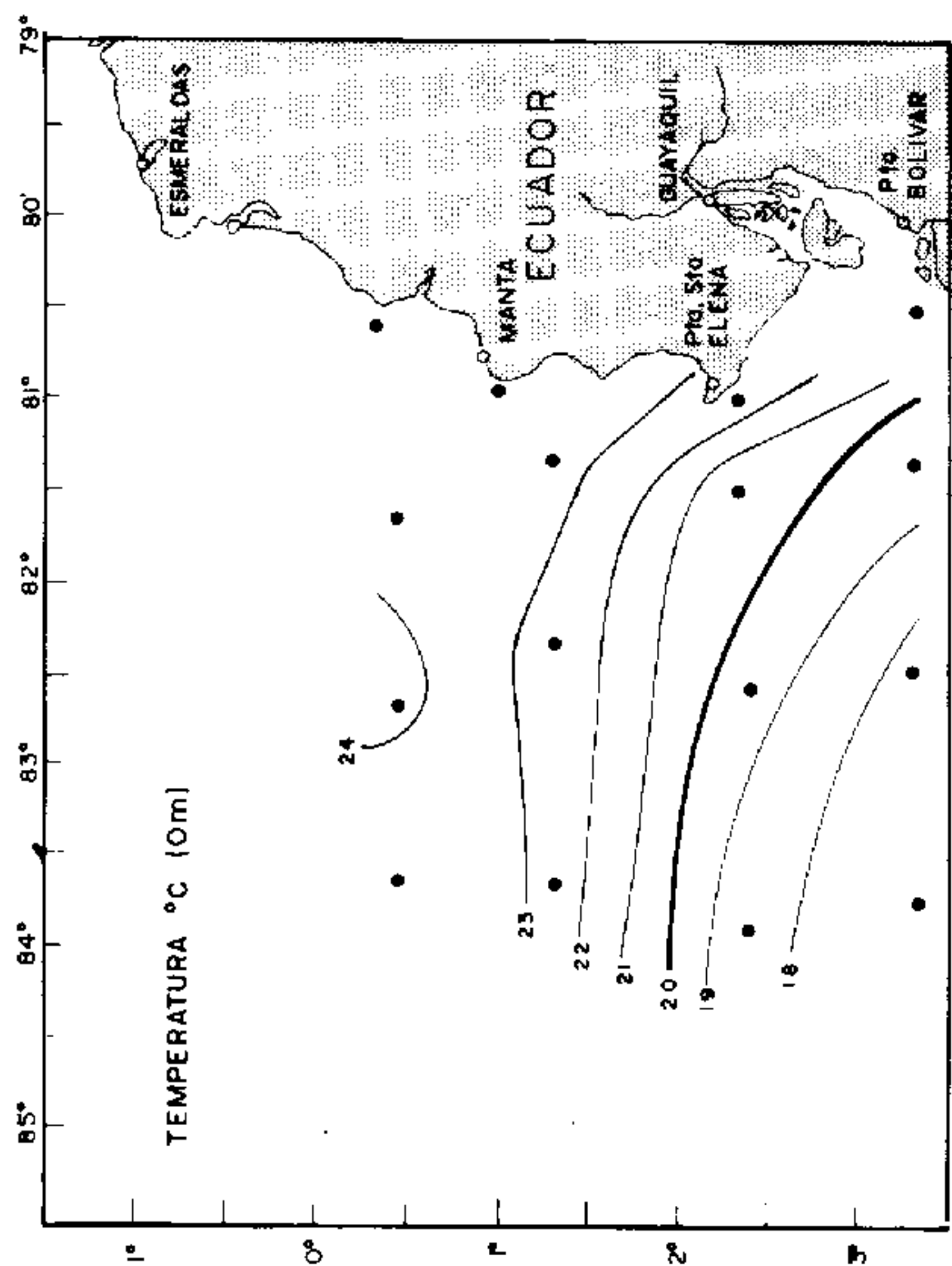
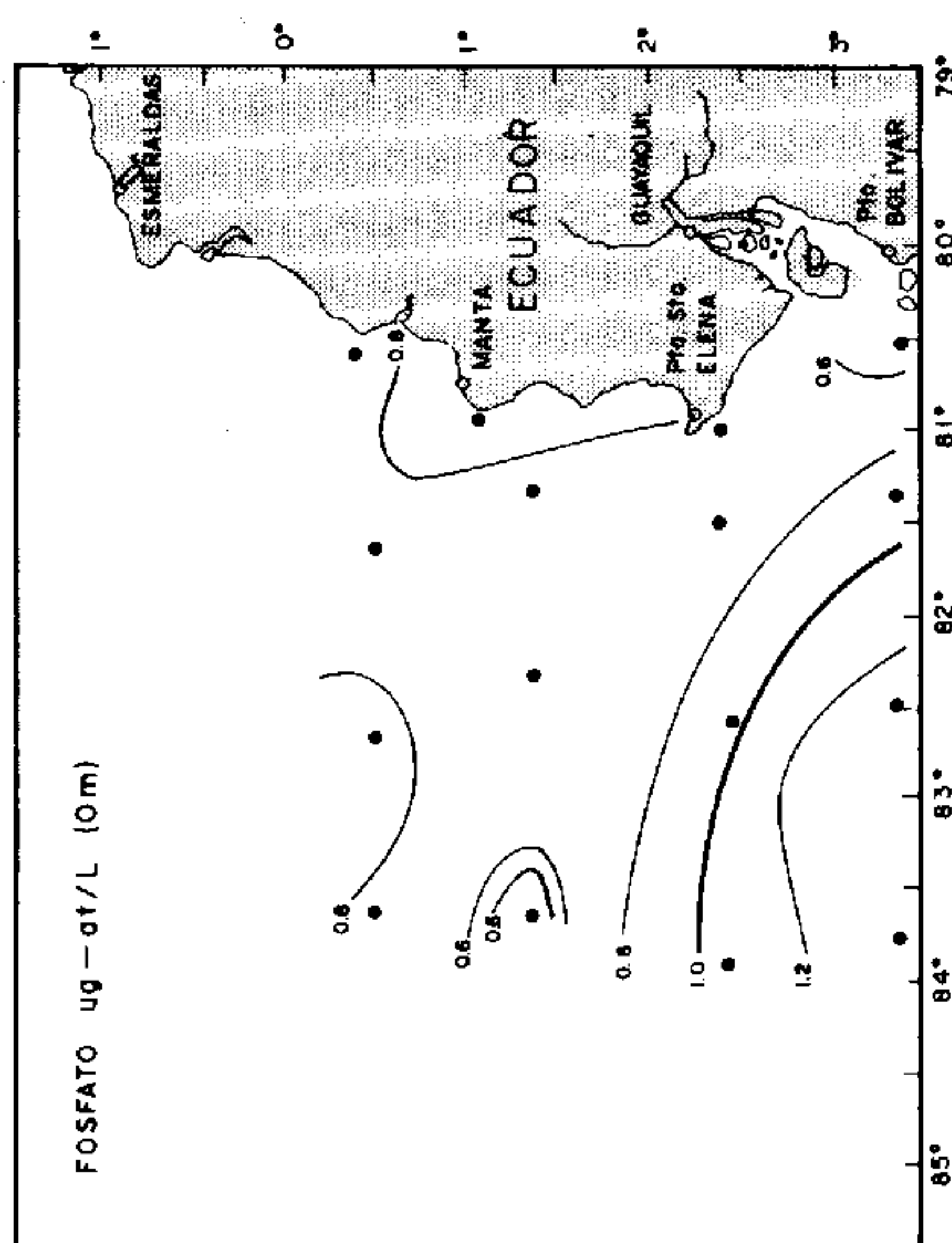
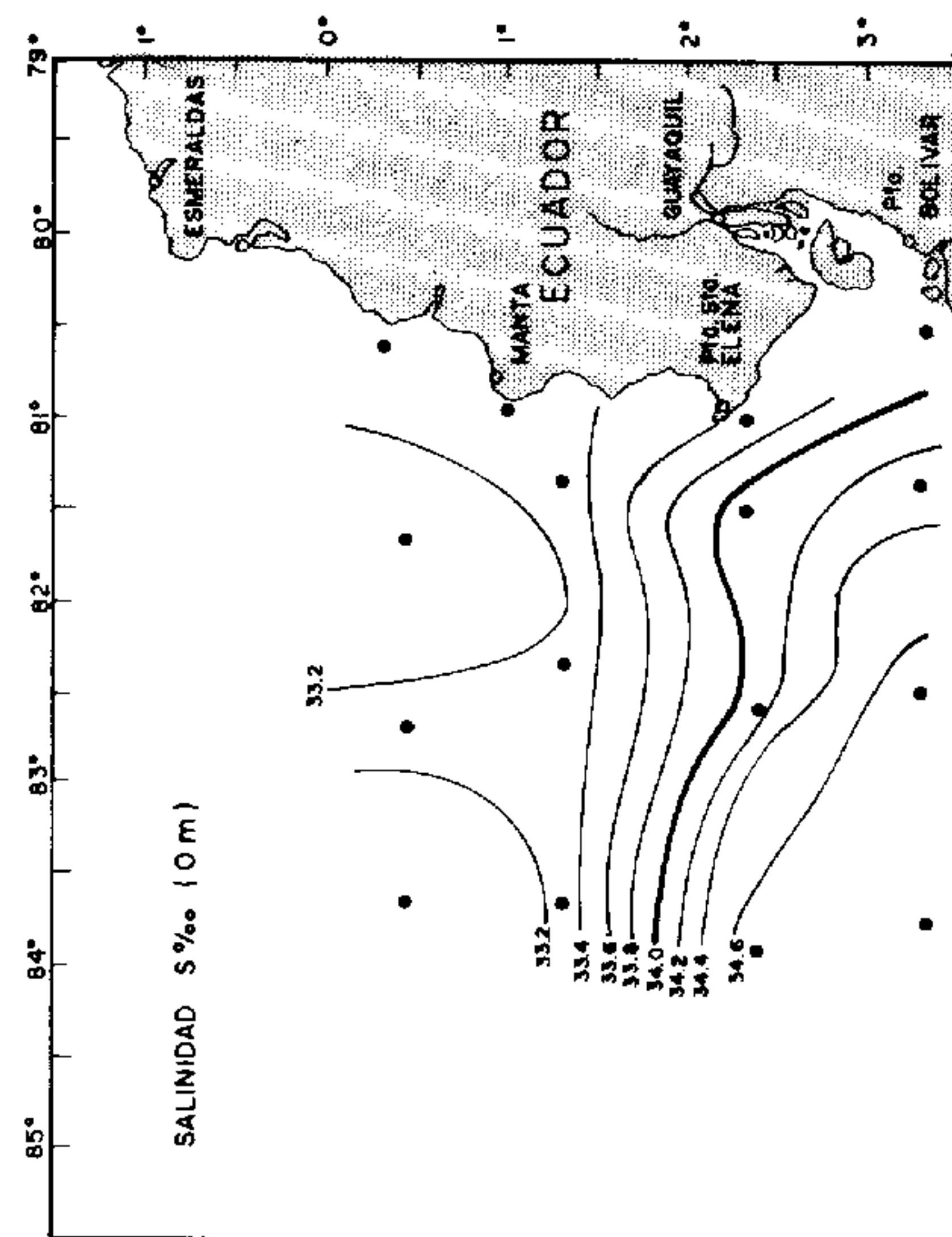


Fig. 10. Distribución horizontal de los parámetros hidrográficos y químicos en la capa superficial en CO - II - 75.

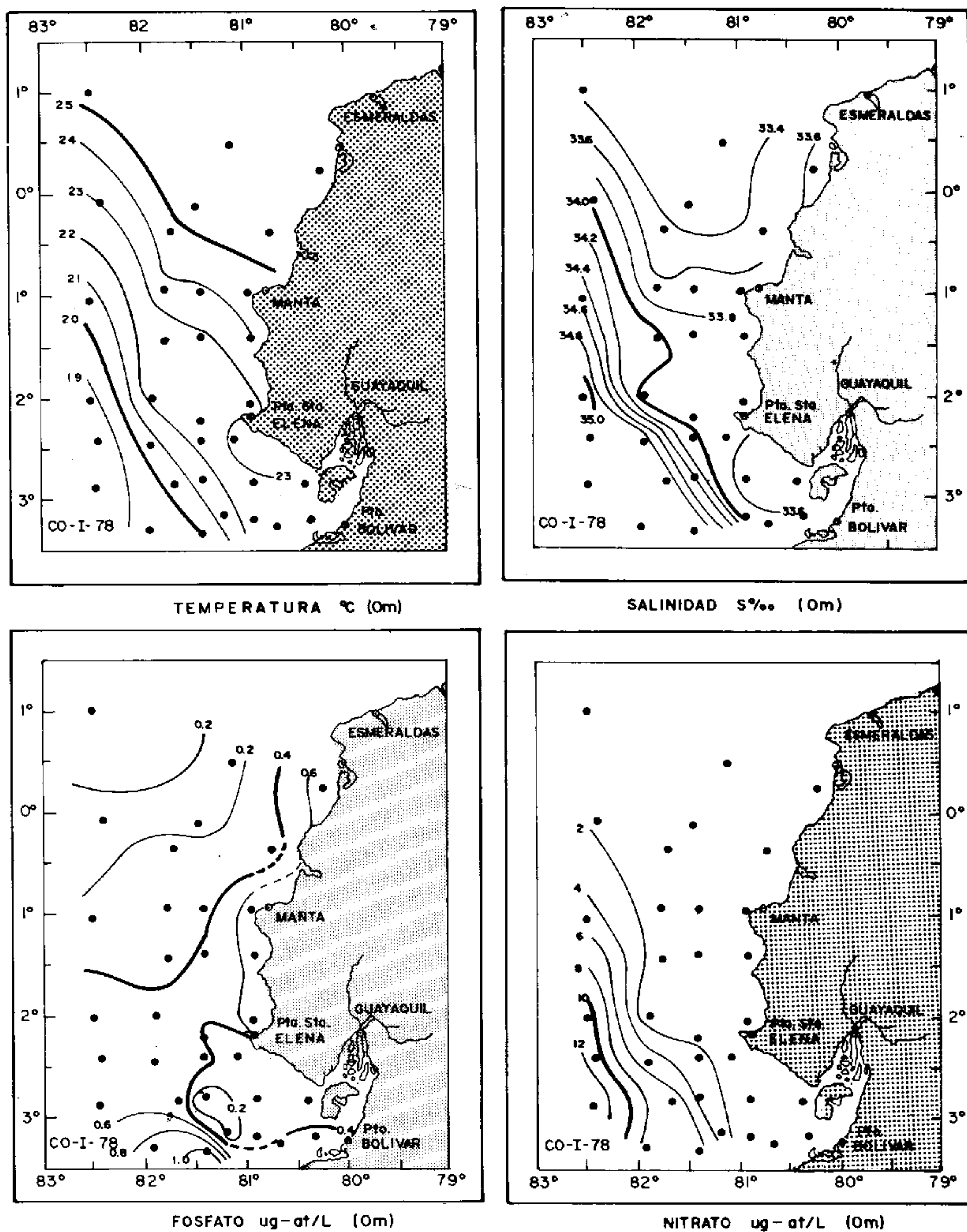


Fig. 11. Distribución horizontal de los parámetros hidrográficos y químicos en la capa superficial en el crucero oceánico I - 78.

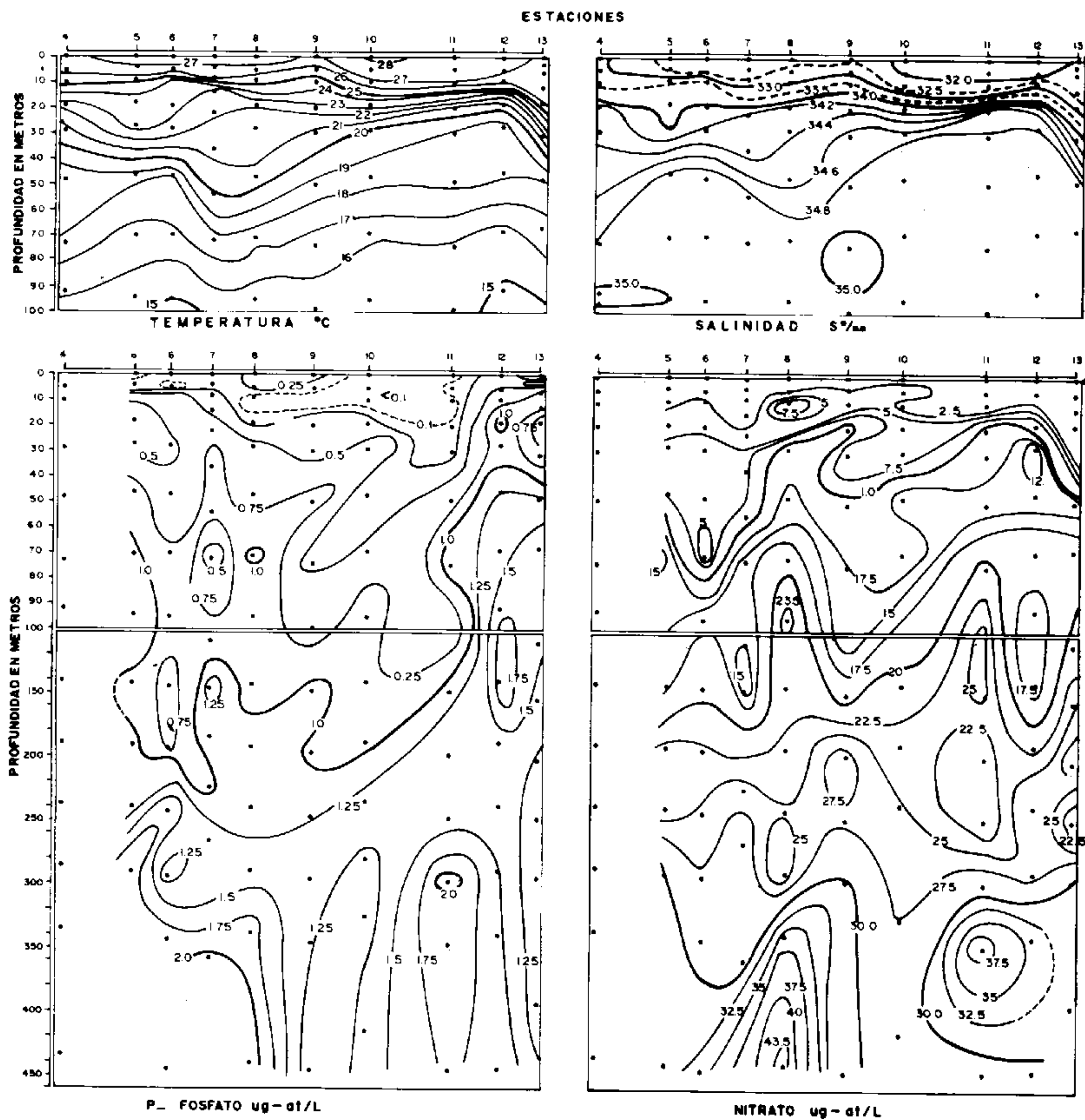


Fig. 12. Sección vertical latitudinal de los parámetros hidrográficos y químicos a lo largo de 82° W en el crucero CO - I - 75.

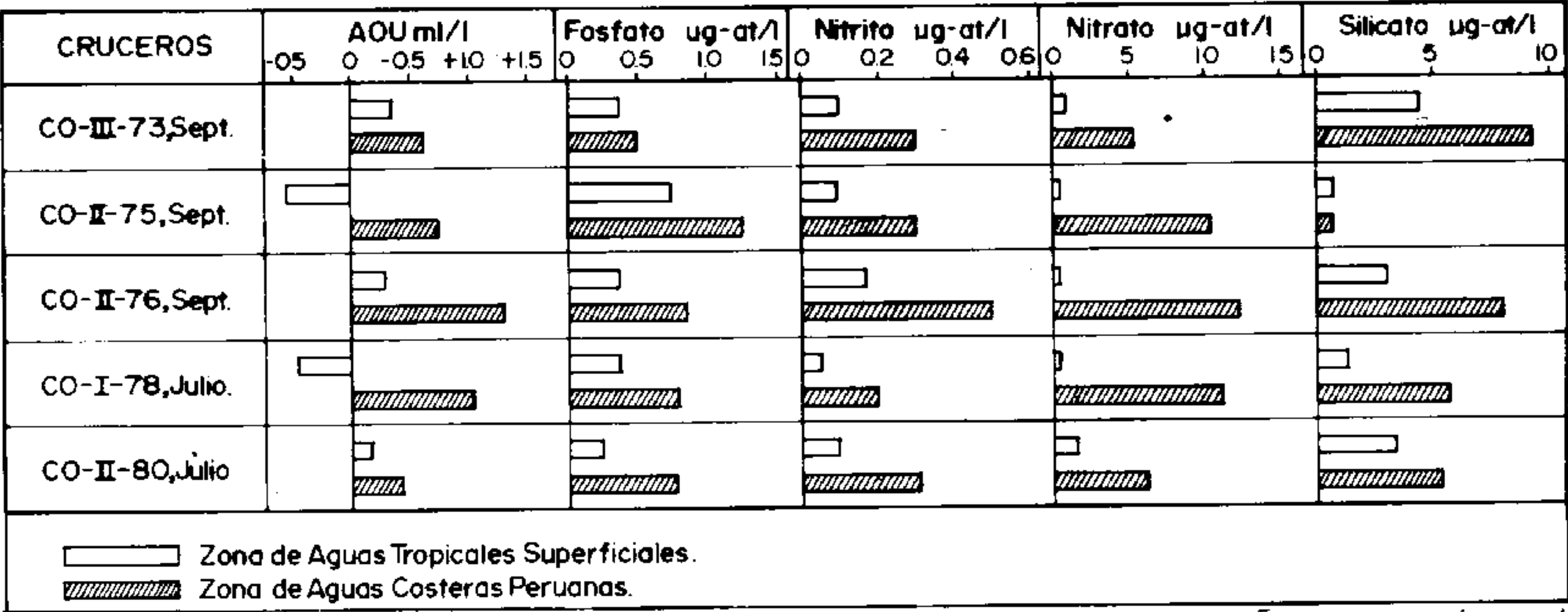


Fig. 13. Comparación de la utilización aparente de oxígeno (AOU) y nutrientes entre dos zonas separadas por el Frente Ecuatorial.

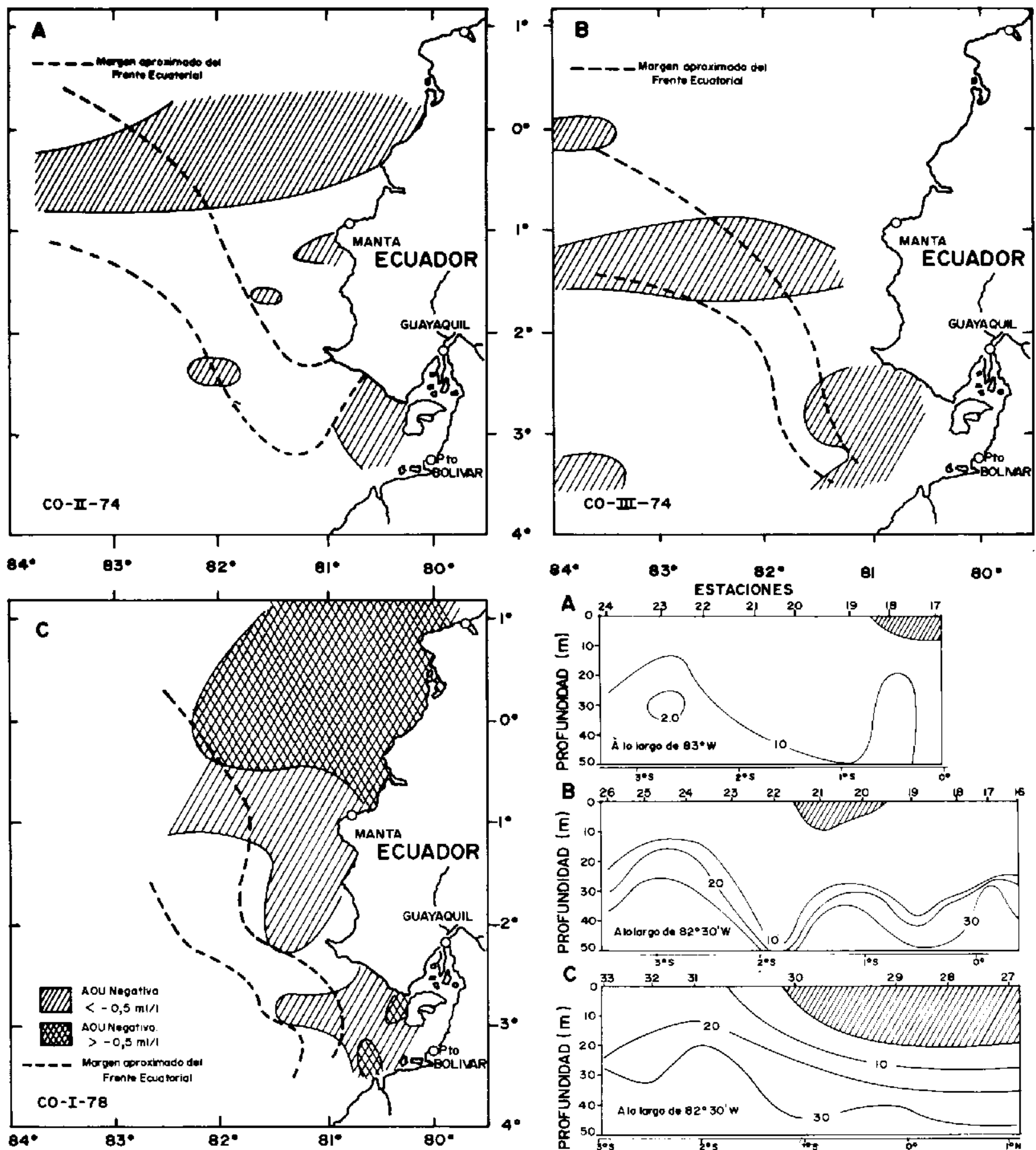


Fig. 14. Distribución horizontal y vertical de la utilización aparente de oxígeno (AOU).