

INSTITUTO DEL MAR DEL PERU



ISSN 0378-7702

# INFORME

Nº 123

Abril, 1997

**Crucero de evaluación de la biomasa  
desovante de anchoveta.  
BIC Humboldt 9608-09**



*Con apoyo del Programa de  
Cooperación Técnica para la Pesca  
CEE-VECEP ALA 92/43*

**Callao, Perú**

# CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS FRENTE A LA COSTA NORTE-CENTRO DEL PERÚ DURANTE EL INVIERNO 1996. CRUCERO BIC HUMBOLDT 9608-09.

Luis Pizarro<sup>1</sup> Georgina Flores<sup>2</sup> Juana Solís<sup>2</sup>

## RESUMEN

PIZARRO, L., G. FLORES y J. SOLÍS. 1997. Condiciones oceanográficas frente a la costa norte-centro del Perú durante el invierno 1996. Crucero BIC Humboldt 9608-09. Inf. Inst. Mar Perú. 123: 47-66.

Los registros se efectuaron del 12 agosto al 22 setiembre de 1996, durante el Cr. BIC Humboldt 9608-09 de Evaluación de la Biomasa Desovante de anchoveta desde Tambo de Mora hasta Paita y desde la costa hasta las 120 mn en promedio.

Las características térmicas superficiales se presentaron frías para la época (14,5 °C a 18,1 °C). La anomalías térmicas tuvieron una variación de -2,0 °C en la zona costera entre Chimbote y Salaverry a +0,1 °C en la zona costera frente a Pucusana. Toda el área prospectada presentó anomalías térmicas negativas.

La salinidad superficial del mar tuvo valores que oscilaron de 35,2 ‰ (propio de las aguas oceánicas) a 34,95 ‰ (propio de las aguas costeras frías). La estructura vertical de salinidad mostró un mayor predominio de las aguas costeras frías desde la costa hasta las 60 mn y hasta una profundidad de 50 m.

En la superficie del mar el oxígeno fluctuó entre 1,61 a 6,02 ml/L; los valores de 5,5 ml/l indicaron la presencia de las ASS y se ubicaron a 120 mn.

Estas características anómalas negativas en temperatura del agua de mar y en bajo contenido de salinidad, con una gran cobertura de las aguas costeras frías, nos permite clasificar a las condiciones oceanográficas frente al mar peruano de agosto y setiembre de 1996 como propias de un evento frío o "Anti-Niño".

PALABRAS CLAVE: temperaturas, salinidad, invierno 1996, Anti-Niño, mar peruano.

## ABSTRACT

PIZARRO, L., G. FLORES y J. SOLÍS. 1997. Oceanographical conditions in front of northern central Peruvian coast during Winter 1996. Cruise RV Humboldt 9608-09. Inf. Inst. Mar Perú. 123: 47-66.

Data were recorded during August 12<sup>th</sup> to September 22<sup>th</sup> 1996, during the Cruise RV Humboldt 9608-09 from Tambo de Mora to Paita, and from sea shore until an average of 120 nautical miles.

The surface temperature was cold during that period of time (14,5 °C to 18,1 °C). Thermal anomalies varied from -2,0 °C, along Chimbote and Salaverry, to +0,1 °C in front of Pucusana. Total prospected area had negative anomalies.

Superficial salinity varied from 35,2 ‰, typical of to oceanic waters, to 34,95 ‰, proper of cold coastal waters. Vertically, salinity showed predominance of cold coastal waters from sea shore until 60 nautical miles and a profoundness of 50 m.

In surface waters, oxygen varied from 1,61 to 6,02 ml/L. Presence of SSW was detected because oxygen 5,5 ml/L.

The anomalous negative characteristics, low salinity and extensive presence of cold coastal waters, permit us to classify the Peruvian oceanographic conditions during August and September 1996, as proper of a cold event or "Anti-Niño".

KEY WORDS: temperature, salinity, Winter 1996, anti-Niño, Peruvian sea.

1. Dirección de Oceanografía Física. DGIO. IMARPE.  
2. Área de Hidroquímica y Producción. DOQ. DGIO. IMARPE.

## INTRODUCCIÓN

Las condiciones oceanográficas frente a la costa peruana durante el otoño e inicio del invierno de 1996 se presentaron de normales a ligeramente frías, con una tendencia a mantenerse en los próximos meses (GRADOS *et al.* 1996). A macroescala en el Océano Pacífico tropical y ecuatorial las condiciones oceanográficas de agosto y setiembre de 1996, mostraron características típicas de un período frío de intensidad moderada, con anomalías negativas de temperatura superficial del mar (TSM) del orden de 1,0 °C, un índice de oscilación del sur (IOS) de 0,6 y vientos alisios ligeramente más intensos que lo normal en todo el Pacífico ecuatorial. La mayoría de los modelos estadísticos y numéricos indican la continuación de la disminución de las anomalías negativas de intensidad débil en el Pacífico ecuatorial central y occidental (BAC 71,72; Climatic Diagnostic Bulletin 96/8, 96/9).

Dentro de este cuadro ambiental de condiciones oceanográficas frías o "Anti-Niño", se realizó el crucero de Evaluación de la Biomasa Desovante de Anchoqueta y Sardina, Crucero BIC Humboldt 9608-09, del 11 de Agosto al 27 de setiembre de 1996 y cubrió las áreas marítimas desde Tambo de Mora (13°27'S) hasta Paita (05°12'S).

El presente informe reúne las características de las condiciones oceanográficas, tanto físicas como químicas, observadas en la superficie y subsuperficie durante el Cr. BIC Humboldt 9608-09 de agosto y setiembre de 1996 y se dan perspectivas del comportamiento del ambiente para los próximos meses.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el crucero se realizaron 1 166 estaciones oceanográficas, de las cuales 22 fueron hidrográficas hasta 500 metros de profundidad frente al Callao, Chimbote y Punta Falsa. Además se ejecutaron 136 lanzamientos de CTD hasta una profundidad máxima de 500 m, tanto en las 3 secciones hidrográficas como en las secciones frente a Asia, Chancay, Supe, Huarney, Casma, Punta Chao, Salaverry, Punta Malabrigo, Punta Pacasmayo, Punta Chérrepe, Pimentel, Lobos de Tierra y Paita. También se hicieron lanzamientos de CTD en 24 lances de la red de pesca (Fig. 1).

En todas las estaciones se tomaron datos de temperatura superficial del mar y en estacio-

nes seleccionadas se tomaron muestras de agua para los análisis de salinidad, nutrientes, oxígeno disuelto y clorofila "a", además se registraron datos meteorológicos de temperatura y humedad del aire, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento, y observaciones del estado del mar, visibilidad, tiempo presente, tipo y cantidad de nubes.

En total se realizaron 16 secciones verticales de temperatura y salinidad haciendo uso del CTD, hasta una profundidad máxima de 500 m y 120 mn de la costa. Estas secciones estuvieron frente a Paita, Punta Falsa, Lobos de Tierra, Pimentel, Punta Chérrepe, Punta Pacasmayo, Punta Malabrigo, Salaverry, Punta Chao, Chimbote, Casma, Huarney, Supe, Chancay, Callao, y Asia.

El procesamiento de la información de CTD se realizó a bordo haciendo uso de una computadora PC 286, así como la digitación de la tabla de resumen de datos.

En las estaciones hidrográficas se hicieron lanzamientos de botellas Niskin hasta las profundidades de 500 m. Se colectaron muestras de agua para análisis de salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes, clorofila "a" y fitoplancton en las profundidades estándar de 0, 10, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400 y 500 m.

Los análisis de salinidad se realizaron a bordo utilizando un salinómetro de inducción Kahlisico modelo RS-10. Los valores obtenidos se calibraron de acuerdo a la metodología dada en UNESCO (1981) y LEWIS (1972). Para caracterizar e identificar las masas de agua se utilizaron las clasificaciones dadas por ZUTA y GUILLÉN (1972) y WYRTKI (1967).

Las muestras de oxígeno fueron analizadas a bordo por el método de WINKLER modificado por CARRIT y CARPENTER (1966).

Las muestras de clorofila "a" fueron filtradas a bordo con filtros Whatman GF/F, tratados con carbonato de magnesio y preservadas en refrigeración hasta su respectivo análisis en el Laboratorio Central. Para determinar la clorofila "a" se aplicó el método fluorométrico de YENTSH Y MENZEL (1965), HOLM-HANSEN *et al.* (1965), usando un equipo Turner Designs Modelo 10-005.

Para determinar los nutrientes, las muestras fueron almacenadas en congelamiento a -10 °C, de acuerdo a las técnicas descritas por STRICKLAND y PARSONS (1968). La medición se realizó utilizando el espectrofotómetro Beckman DU-62.

## RESULTADOS

### Condiciones oceanográficas superficiales

#### Temperatura

La temperatura superficial del mar TSM (°C), presentó una fluctuación de 14,5 °C a 18,1 °C, registrándose los valores más bajos en las zonas costeras al norte de Supe y sur de Salaverry, como producto del afloramiento costero en estas zonas.

Las aguas costeras frías se registraron dentro de las 30 mn y paralelas a la costa con temperaturas menores de 16 °C. La distribución de la isoterma fue paralela a la costa con meandros propios de la influencia del afloramiento costero (Fig. 2).

La distribución de las anomalías térmicas, obtenidas de los promedios patrones de Zuta y Urquiza (1972) y Reynolds (1982), mostraron una fluctuación de -2,0 °C en la zona costera entre Chimbote y Salaverry, a +0,1 °C en la zona costera frente a Pucusana. Toda el área prospectada por este crucero presentó anomalías térmicas negativas, indicadoras del grado de enfriamiento registrado durante el invierno de 1996 (Fig. 3).

#### Salinidad

La distribución de la salinidad superficial del mar mostró valores que fluctuaron de 35,2‰ (propio de las aguas oceánicas) a 34,95‰ (propio de las aguas costeras frías). Los valores más bajos se registraron en las zonas costeras entre Callao-Huarmey y entre Chimbote-Salaverry y los valores máximos, fuera de las 140 mn frente a Salaverry (Fig. 4).

En general, se aprecia una predominancia de las aguas de afloramiento hasta las 40 mn de la costa con salinidades menores de 35,0‰. Entre Casma y Chicama y fuera de los 60 mn se aprecia aguas de mezcla (no son aguas costeras frías ni aguas oceánicas), con salinidades de 35,1‰, con una tendencia de desplazamiento hacia el oeste.

#### Oxígeno disuelto (ml/L)

El rango de oxígeno disuelto en la superficie del mar fluctuó entre 1,61 ml/l a 6,02 ml/l.

Concentraciones de oxígeno menores de 3,0 ml/l, se presentaron cerca de la costa frente a Ancón, Supe-Casma, Chimbote-Chicama, Pimentel y Punta Falsa, estos bajos valores en oxígeno estuvie-

ron relacionados con la intensidad del afloramiento costero presente en esas áreas (Fig. 5).

Desde Callao hasta Paita la iso-oxígena de 5 ml/l, presentó una amplitud de 60 - 80 mn de la costa. La presencia de valores menores de 5,0 ml/l dentro de esta franja estuvo relacionada a la presencia de las aguas costeras frías (ACF).

#### Fosfatos

El rango de variación de los fosfatos en superficie fué de 0,13 a 3,13 ug-at/l. Los fosfatos presentaron tres núcleos con valores de 2,0 ug-at/l en Cerro Azul, Salaverry y en Paita con valores de 3,0 ug-at/l.

La isolínea de 1,0 ug-at/l de fosfatos dominaron a lo largo de la costa, la cual presentó una amplitud hasta las 100 mn. En la mayor parte del área se hallaron concentraciones < 1,0 ug-at/l de fosfatos dentro de las 60 mn. Esta disminución de fosfatos es debido posiblemente al consumo por organismos fitoplanctónicos.

Frente a Huarmey y a Punta Falsa se encontraron valores de 0,5 ug-at/l a 80 y 120 mn como efecto de la presencia de las Aguas Subtropicales Superficiales (Fig. 6).

#### Silicatos

Los silicatos variaron entre 3,32 a 38,13 ug-at/l, hallándose las concentraciones más altas (> 20 ug-at/l) en Supe, Casma, Salaverry-Chicama, Pimentel y Paita, concentraciones altas de silicatos generalmente se debieron al afloramiento costero.

En toda el área prospectada la isolínea de 15 ug-at/l se halló paralela a la costa desde el norte de Chancay hasta Paita alcanzando hasta las 30 mn.

La isolínea de 10 ug-at/l se encontró en Tambo de Mora hasta las 100 mn. En Chancay - Chicama y Pacasmayo - Punta Falsa (una bolsa) fluctuó entre 5 a 120 mn. Del Callao a Huarmey y a 120 mn el ingreso de las ASS se manifestó por el acercamiento de la isolínea de 5 ug-at/l (Fig. 7).

#### Nitratos

Los valores de nitratos estuvieron en el rango de 1,41 y 17,84 ug-at/l. De Pisco a Supe se hallaron concentraciones de 5 ug-at/l dentro de las 30 mn y en Salaverry se halló un pequeño núcleo. Estas concentraciones bajas de nitratos son debido al consumo por el fitoplancton; sin embargo, de Huarmey a

Pacasmayo las concentraciones fueron de 10 ug-at/l y tuvieron una amplitud de 5 a 100 mn.

Valores de 15 ug-at/l se encontraron en Pimentel y de Punta Falsa a Paita de 20 a 100 mn, las mismas que estuvieron relacionadas con el afloramiento costero. Frente a Cerro Azul a 120 mn se hallaron concentraciones < 5 ug-at/l por la presencia de las ASS (Fig. 8).

#### Nitritos

Los nitritos variaron entre 0,11 y 4,11 ug-at/l, distribuyéndose valores < 0,5 ug-at/l en la mayor parte del área de estudio y valores > 1,0 ug-at/l en el Callao, Huarmey- Casma y Chimbote-Pimentel (Fig. 9).

#### Clorofila "a"

Las concentraciones variaron de 0,38 a 17,20 ug/l. La isolínea de 1,0 ug/l se ubicó paralela a la costa a 110 mn, marcando el límite de las aguas costeras. Las áreas de afloramiento más intensas se ubicaron en el Callao, Chancay y Chicama, y tuvieron concentraciones > 10,0 ug/l de clorofila; otras áreas menos intensas se observaron en Cerro Azul, Supe-Salaverry y Pimentel con valores de 5,0 ug/l.

Las concentraciones de clorofila > 5,0 ug/l estuvieron asociadas a temperaturas de 16 °C. Los valores de 0,5 ug/l se hallaron paralelos a la costa a 120 mn y estuvieron afectados por las ASS (Fig. 10).

#### Aspectos meteorológicos

##### Viento superficial (m/s)

El viento superficial medido a 10 m del nivel del mar, registró dirección predominante del sur este, con velocidades que fluctuaron de 21 m/s (a 20 mn frente a Ancón y Chancay) a 10,2 m/s (a 100 mn frente a Casma y frente al Callao).

En general, el viento en la superficie del mar se registró con velocidades altas y persistentes en las áreas alejadas de la costa; y con velocidades ligeramente bajas en las áreas costeras, favorecido por una intensificación del Anticiclón del Pacífico (Fig. 11).

##### Temperatura del aire. TA (°C)

La temperatura del aire durante agosto y setiembre de 1996 tuvo bajas que fluctuaron de 15,2 °C a 18,5 °C. Los valores más bajos se registraron en las

áreas costeras, como producto de la influencia del afloramiento costero. Fuera a las 80 mn, la TA se presentó en valores mayores de 18 °C (Fig. 12).

##### Humedad relativa. HR (%)

La humedad relativa para los meses de agosto y setiembre de 1996, no presentó una marcada variación, registrando valores que fluctuaron entre 90 y 100%. La distribución horizontal de este parámetro fue irregular debido a los procesos térmicos de interacción océano-atmósfera. Zonas con alta concentración de humedad (100%) se registraron fuera de las 60 mn. Estas características estuvieron ligadas a un permanente cielo cubierto por nubes estratos y estrato-cúmulos, lo que favoreció al afloramiento costero y la sensación de frío sentida durante el trayecto (Fig. 13).

##### Índice de turbulencia ( $m^3/s^3$ )

El índice de turbulencia es un parámetro que nos permite conocer el grado de energía mecánica que el viento proporciona al océano, para producir la mezcla turbulenta en la capa superior de agua. Este índice es directamente proporcional a la tercera potencia de la velocidad del viento (ELBERRY y GARWOOD 1978).

El índice de turbulencia promedio por cuadrado Marsden puede explicarse en la Fig. 14b, presentando un valor mínimo de 43  $m^3/s^3$  (frente a la Bahía de Sechura) y un máximo de 1 001  $m^3/s^3$  a 70 mn frente a Pisco. Las isopletras de turbulencia muestran una distribución paralela a la costa de sur a norte, siendo mayor la turbulencia al sur de los 12° S (Fig. 14a).

##### Transporte Ekman. E ( $kg/m*s$ )

Se denomina así al transporte de masa superficial del océano debido a la fuerza de arrastre del viento. El transporte total de masa es calculado de acuerdo a la teoría de EKMAN (1905) cuya expresión es:

$$E: \frac{\tau * k}{f}$$

Donde:

E: Transporte total de masa

$\tau$ : Esfuerzo del viento

f: Parámetro de coriolis

k: Vector unitario

De acuerdo a esta relación de transporte se aprecia que éste tiene una dirección de 90° a la izquierda del esfuerzo del viento en el hemisferio sur. El transporte Ekman promedio por cuadrado Marsden registrado durante el Crucero Bic Humboldt 9608-09 se aprecia en la Fig. 15. Las áreas con altas de transporte, se registraron fuera de las 60 mn en promedio alcanzando un máximo de 5124 kg/m/s (a 80 mn frente a Punta Falsa) y las zonas con bajo transporte de masa se registraron en la zona costera con un mínimo de 82 kg/m/s, frente a Pisco (Fig. 15b).

La distribución de las isolíneas de transporte muestra un núcleo de fuerte transporte fuera de las 60 mn entre Huacho a Chimbote y otro núcleo fuera de 50 mn frente a Paita, Punta Falsa y frente a Pisco (Fig. 15a).

Otro parámetro importante en el análisis de masas de agua es el transporte Ekman normal al perfil costero, utilizado para calcular el Índice de Afloramiento Costero, el cual es proporcional al esfuerzo del viento a lo largo de la costa y a la recíproca del parámetro de coriolis. Debido a que el comportamiento del viento es muy cambiante en relación con otros parámetros, es necesario obtener valores promedios por cuadrados Marsden con la finalidad de disminuir su gran variabilidad.

El análisis del transporte Ekman normal a la costa (Fig. 16a,b) registró valores que fluctuaron de -4 (frente al Callao) a -1052 (a 80 mn frente a Pisco) en general este índice muestra las zonas con moderado afloramiento costero se ubicaron frente a Pisco, Huacho, Chancay, Salaverry y Pacasmayo-Pimentel.

#### Capa Ekman (m)

La capa Ekman viene a ser la profundidad donde la influencia del viento se hace cero. Es a través de esta capa que se puede apreciar y evaluar los efectos friccionales y turbulenta producidas por el viento superficial.

La profundidad de la capa Ekman es función directa de la velocidad del viento y que de acuerdo a los valores de Neuman and Fiersen (1966) puede ser expresada por:

$$D = \frac{7.6 * W}{(\text{Sin } \phi)} \text{ (m/s) para vientos } > 6 \text{ m/s}$$

$$D = \frac{3.67 * W}{(\text{Sin } \phi)} \text{ (m/s) para vientos } < 6 \text{ m/s}$$

Donde

W: Velocidad del viento

Q: Latitud

Sin: Seno

La profundidad promedio de la capa Ekman, por cuadrados Marsden, se aprecia en la Fig. 17, en donde las capas con mayor profundidad en general se registran en zonas lejos de la costa, alcanzando un máximo de hasta 142 m a 40 mn de Paita. Los valores mínimos de este parámetro se han encontrado en las zonas costeras con valores de hasta 17 m de profundidad.

### Condiciones oceanográficas subsuperficiales

#### Temperatura

La distribución vertical de la temperatura en la Sección Callao presentó la termoclina ubicada entre 10 a 50 m de profundidad, definida por las isoterma de 15 °C y 16 °C, con una napa de 20 m de profundidad, localizada fuera de las 40 mn. La capa homo-térmica en esta sección se inicia a partir de los 40 m, profundizándose estas características conforme nos alejamos de la costa (Fig. 18a).

La estructura térmica vertical frente a Chimbote presentó la termoclina ubicada entre 20 a 40 m de profundidad, definida por las isoterma de 15 °C, 16 °C y 17 °C, con una napa de 20 m de profundidad. La capa homotérmica en esta sección se inició a partir de los 100 m, con la isoterma de 13 °C (Fig. 19a).

La estructura térmica vertical frente a Punta Falsa presentó la termoclina ubicada entre 10 a 40 m de profundidad, definida por las isoterma de 15°C, 16 °C y 17 °C, con una napa de 25 m de profundidad. La capa homotérmica en esta sección se inició a partir de los 100 m, con la isoterma de 13 °C (Fig. 20a).

La estructura térmica frente a Paita mostró una termoclina entre los 20 y 50 m de profundidad; con una capa de mezcla de 20 m de profundidad, se aprecia un débil afloramiento (Fig. 21a).

#### Salinidad

La estructura halina vertical en la sección Callao se caracterizó por estar cubierta de aguas de afloramiento con salinidades de 34,8‰ a 35,00 ‰, registrándose frente al Callao la presencia de aguas subtropicales superficiales entre los 60 a 90 mn y hasta una profundidad de 40 m (Fig. 18b).

La distribución vertical de salinidad frente a Chimbote registró la presencia de aguas costeras frías (ACF) hasta los 60 m de profundidad, donde las salinidades fueron menores de 35,0 ‰ (Fig. 19b).

La estructura halina vertical frente a Punta Falsa se caracteriza por la presencia de aguas costeras frías hasta las 120 mn, con una profundidad promedio de 60 m (Fig. 20b).

La distribución vertical de salinidad muestra un predominio de las aguas de afloramiento desde la superficie hasta los 100 m de profundidad (Fig. 21b).

#### *Topografía de la isoterma de 15 °C*

La distribución de las líneas topográficas de la isoterma de 15°C mostró un flujo predominante del sur y paralelo a la línea costera muy relacionado a las aguas costera frías (ACF), siendo relativamente intenso dentro de las 40 mn entre Pisco y Chimbote. Al norte de Salaverry los flujos se presentaron ligeramente débiles y el distanciamiento entre las líneas se hizo mayor.

La distribución del flujo de masas de agua en el nivel inferior de la termoclina, determinado a través de la topografía de la isoterma de 15°C, muestra un flujo predominante del sur, dentro de las 40 mn de costa propio de las aguas costeras frías. Asimismo fuera de las 60 mn se aprecia un flujo anticiclónico, propio de los procesos de mezcla registrado en estas zonas, los cuales estuvieron ligados a masas de agua con salinidades de 35,1 ‰ y temperaturas de 17 °C (Fig. 22).

#### *Oxígeno*

La distribución vertical de la concentración de oxígeno disuelto contenido en el agua de mar, presentó fluctuaciones a lo largo de la sección Callao (Fig. 22A), observándose una notoria profundización de las concentraciones de oxígeno de 5 ml/l a 60 mn de la costa hasta los 50 m de profundidad, mientras que, en las otras áreas esta concentración se observó por encima de los 25 m.

En las secciones de Chimbote y Punta Falsa se encontró a la iso-oxígeno de 5 ml/l en los 80 a 100 mn de la costa, profundizándose hasta los 25 m. Concentraciones menores de 5 ml/l se encontraron dentro de las 80 mn, observándose un fuerte afloramiento costero frente a Punta Falsa (Fig. 22B,C).

En la sección Callao la mínima de oxígeno (< 0,5 ml/l) se encontró cerca de la costa y a una pro-

fundidad de 40 m, esta misma variable se profundizó hasta 85-100 m entre los 90-130 mn de la costa. En las secciones Paita y Punta Falsa la mínima de oxígeno se halló entre los 50-200 m de profundidad.

#### *Silicatos*

La distribución vertical de silicatos en la sección Callao presentó dos núcleos con concentraciones de 5 ug-at/l hasta los 20 m y entre 60 - 80 m de profundidad y a 120 mn, estos pequeños núcleos es debido a los procesos de mezclas de aguas. Dentro de las 40 mn se halló concentraciones propias de aguas de afloramiento. Por debajo de los 40 m, la distribución de las concentraciones de silicatos fue homogénea, las mismas que se incrementaron con la profundidad (Fig. 24A).

La distribución vertical de los nutrientes frente a Chimbote presentó, en la capa de 0 - 40 m de profundidad, concentraciones >10 ug-at/l de silicatos dentro de las 20 mn. En la capa intermedia de gradiente más suave, que se extiende generalmente hasta los 500 m de profundidad, se halló valores de 30 ug-at/l a 300 m de profundidad (Fig. 25A).

En la sección Punta Falsa los silicatos en la capa de 0 a 50 m de profundidad presentaron valores < 15 ug-at/l los mismos que fueron más altos con respecto a la sección Callao y Chimbote. Concentraciones >15 ug-at/l se hallaron por debajo de los 50 m (Fig. 26A).

#### *Nitratos*

En la capa superficial se halló concentraciones < 5 ug-at/l de nitratos presentando características similares a los silicatos (Fig. 24B).

En la capa de 0 - 40 m los valores obtenidos de nitratos < 10 ug-at/l estuvieron asociados a los máximos de silicatos dentro de las 20 mn.

Por encima de los 500 m se halló valores de 25 ug-at/l asociados principalmente a las isotermas de 13 a 9 °C (Fig. 25B).

Los nitratos presentaron concentraciones > 10 ug-at/l. Estas concentraciones altas estuvieron relacionadas a temperaturas de 15 °C a 16 °C y salinidades de 34,95 ‰, en la capa de 0 - 40 m (Fig. 26B).

#### *Nitritos*

Los nitritos en la columna de agua presentaron dos máximos en la Est. 161 a 150 m y la otra en

la Est. 119, a 300 m con concentraciones de 5,0 ug-at/l (Fig. 24C).

El origen de dos ó mas máximos de nitritos en la columna de agua parece estar relación a la interacción de los flujos contrarios a través de un gran remolino ciclónico donde parece tener su centro en los 12°30' S.

Los nitritos presentaron dos máximos hallándose el primero cerca al zócalo a 50 m con valores de 3,0 ug-at/l; y el segundo máximo se halló como una bolsa con valores de 1,5 ug-at/l (Fig. 25C).

Los nitritos presentaron concentraciones de 0,5 ug-at/l en la capa subsuperficial. A los 280 m de profundidad se halló un núcleo con concentraciones de 3,0 ug-at/l de nitritos, lo cual es característico entre los 50 y 300 m Fig. 26C.

#### *Clorofila "a"*

La distribución vertical del contenido de clorofila "a" en el agua de mar mostró frente a Callao y Chimbote altas concentraciones con valores de 1,0-9,0 µg/l hasta los 80 m de profundidad y dentro de las 80 mn de la costa.

En general frente al Callao, Chimbote, y Punta Falsa, el contenido de clorofila "a" por debajo de los 50 m fue pobre, con valores menores de 0,5 µg/l (Fig. 24A,B,C).

## DISCUSION

### Condiciones térmicas y halinas superficiales

Las condiciones térmicas superficiales del mar peruano, registradas durante agosto y setiembre de 1996 a través del Crucero de Evaluación de la Biomasa Desovante de Anchoqueta BIC Humboldt 9608-09, muestran la continuación del proceso de enfriamiento observado durante los meses precedentes por PIZARRO y TELLO (1996), con un predominio de las anomalías térmicas negativas en toda el área prospectada, las que fueron más frías que las observadas durante el invierno de 1995 por el Cr. BIC Humboldt 9508-09 (PIZARRO 1996). Estas condiciones superficiales frías son similares a las reportados por GUILLÉN (1983), ZUTA *et al.* (1983), para los años de 1964, 1967-68, 1970-71, y 1974-75, período en los cuales las TSM tuvieron anomalías negativas mayores de -2 °C.

La distribución de la salinidad superficial mostró valores propios de las ACF en toda el área

prospectada, con salinidades que fluctuaron de 34,9 hasta 35,1‰, completamente diferente a lo registrado durante el Cr. BIC Humboldt 9508-09, en donde se apreció una penetración de las ASS hacia la zona costera (PIZARRO 1996). Tanto los períodos normales como fríos se caracterizan por presentar variaciones de una época a otra como lo sucedido con el invierno de 1996 y otros como los de 1967, 1970 y 1974.

Estas características anómalas negativas en temperatura y en bajo contenido de salinidad, con una gran cobertura de las ACF, nos permite clasificar a estas condiciones oceanográficas frente al mar peruano como propias de un evento frío o ANTI - NIÑO.

### Condiciones subsuperficiales

La estructura vertical, tanto térmica como halina, en las secciones hidrográficas realizadas muestran características propias de un período de invierno frío, en donde las temperaturas disminuyen notablemente por encima de los 100 m de profundidad, como consecuencia del enfriamiento estacional, quedado identificada la termoclina por las isoterms de 15 °C - 17 °C. En tanto, se presenta un mayor espesor en la capa de mezcla como consecuencia de una intensificación de los vientos invernales (alisios). En lo que respecta a salinidad, la estructura vertical casi no presenta una haloclina y la columna de agua es de una gradiente débil en salinidad.

### Aspectos hidroquímicos

Aunque la distribución de los nutrientes, en diferentes áreas y estaciones del año, en las capas superficiales es controlada por los procesos de mezcla y afloramiento; sin embargo, hay áreas en las que en ciertas estaciones del año ocurre temporalmente un agotamiento de las sales nutritivas, especialmente de los fosfatos y nitratos (GUILLÉN 1964).

Los resultados obtenidos en este crucero mostraron que las concentraciones de fosfatos y nitratos fueron bien marcadas. El contenido de fosfatos en la superficie del mar fue < 1,0 ug-at/l en la mayor parte del área en estudio, a excepción de los 3 núcleos con concentraciones >2,0 ug-at/l. Sin embargo, los nitratos también mostraron valores < 5 ug-at/l. Las bajas concentraciones de fosfatos en la superficie del mar y nitratos dentro de las 40 mn, se debieron probablemente al consumo de éstos por el fitoplancton principalmente las diatomeas y es donde se encontraron las mayores concentraciones de



clorofila "a" (15,0 ug/l). Sin embargo, los silicatos presentaron concentraciones altas (> 10 ug-at/l) debido a los procesos de afloramiento.

Los resultados obtenidos en este crucero no tuvieron concordancia con el patrón estacional de CALIENES *et al.* (1985), por ser un año muy anómalo, tanto en las condiciones físicas como en las químicas, aquí detalladas.

Comparando con el Cr. BIC Humboldt 9508-09 (SOLIS *et al.* 1996) se tiene que en Cr. BIC Humboldt 9608-09 las áreas de afloramiento fueron más amplias, hallándose en toda el área prospectada concentraciones < 5 ml/l dentro de las 80 mn. Las ASS caracterizadas por la isolinia de 5,5 ml/l se ubicó en las 120 mn.

En cuanto se refiere a clorofila "a" los valores alcanzaron hasta 15,0 ug/l en las áreas de afloramiento. Los valores < 0,5 ug/l se hallaron a 120 mn indicando concentraciones pobres de clorofila por influencia de las ASS mientras que en el invierno de 1995 las áreas de Chimbote a Chicama mostraron altas concentraciones de clorofila "a", con valores de hasta 50 ug/l, lo cual fué algo excepcional, porque no ocurrió en Cr. 9408 ni en 9608-09.

## CONCLUSIONES

1. Las características térmicas superficiales se presentaron ligeramente frías para la época, con valores entre 14,5 °C a 18,1 °C, registrándose los valores más bajos en la zona costera entre Callao y Chimbote como producto del fuerte afloramiento registrado en esas zonas, mientras que los valores más altos se registraron a 150 mn frente a Punta Falsa.

2. La distribución de las anomalías térmicas presentó una fluctuación de -2,0 °C en la zona costera entre Chimbote y Salaverry a +0,1 °C en la zona costera frente a Pucusana. Toda el área prospectada por este crucero se caracterizó por presentar anomalías térmicas negativas, un indicador del grado de enfriamiento registrado durante el invierno de 1996.

3. La distribución de la salinidad superficial del mar mostró valores que fluctuaron de 35,2‰ (propio de las aguas oceánicas) a 34,95‰ (propio de las aguas costeras frías). Los valores más bajos se registraron en las zonas costeras entre Callao-Huarmey y entre Chimbote-Salaverry y los valores máximos se registraron fuera de las 140 mn frente a Salaverry.

4. En general, se aprecia una predominancia de las aguas de afloramiento hasta las 40 mn de la costa con salinidades menores de 35,0‰. Entre Casma y

Chicama y fuera de los 60 mn se apreció la presencia de aguas de mezcla, con salinidades de 35,1‰.

5. En general, la estructura vertical tanto térmica como halina, mostraron características normales en las áreas cerca a la costa, con una termoclina ubicada entre los 10 - 40 m de profundidad.

6. La estructura vertical de salinidad mostró un mayor predominio de las aguas costeras frías desde la costa hasta las 60 mn y hasta una profundidad de 50 m, con salinidades menores de 35,0‰ y temperatura menores de 17 °C.

7. En la superficie del mar, el rango de oxígeno fluctuó entre 1,61 a 6,02 ml/l. Entre Chancay, Supe-Casma, Chimbote-Chicama y Pimentel se hallaron concentraciones bajas de oxígeno (3 ml/l) debido al afloramiento costero. Valores de 5,5 ml/l indicaron la presencia de las ASS a 120 mn. En la columna de agua la mínima de oxígeno se encontró entre 50 y 200 m de profundidad en las tres secciones verticales.

8. De acuerdo a las características hidroquímicas encontradas en la zona de estudio, las concentraciones de elementos nutritivos (fosfatos, silicatos y nitratos) presentaron características diferentes al patrón de CALIENES *et al.* (1985).

9. Los valores < 1,0 ug-at/l de fosfatos encontrados en la superficie del mar y de nitratos < 5 ug-at/l dentro de las 40 mn es debido probablemente por el consumo de estos por el fitoplancton.

10. Los silicatos presentaron concentraciones altas (> 20 ug-at/l) en las áreas de afloramiento. En la columna de agua los silicatos y nitratos por debajo de los 40 m tuvieron una distribución homogénea alcanzando el máximo de silicatos 35 ug-at/l y nitratos de 25 ug-at/l en la capa intermedia la misma que se encuentra ubicada por encima de los 500 m.

11. La sección Callao se caracterizó por presentar dos máximos de nitritos (5,0 ug-at/l); en la Est. 161, a 150 m; y en la Est. 119, a 300 m de profundidad debido a la relación y a la interacción de los flujos contrarios a través de un gran remolino ciclónico donde parece tener su centro en los 12° 30'S.

12. Dentro de las 40 mn se hallaron las concentraciones más altas de clorofila (> 5,0 ug/l) las mismas que estuvieron asociadas a oxígeno < 4 ml/l y temperaturas de < 16 °C. Fuera de las 100 mn se encontraron valores < 1,0 ug/l debido a la presencia de las ASS. En la columna de agua por debajo de los 50 m se encontraron valores < 0,5 ug/l.

13. Estas características anómalas negativas en temperatura y en bajo contenido de salinidad, con

una gran cobertura de las ACF, nos permite clasificar a estas condiciones oceanográficas frente al mar peruano como propias de un evento frío o ANTI-NIÑO para el invierno de 1996.

## Referencias

- BOLETÍN DE ALERTA CLIMÁTICO (BAC) 1996. Comisión Permanente del Pacífico Sur. CPPS. N° 71 (Agosto 1996), 72 (Setiembre 1996).
- CALIENES, R., O. GUILLÉN Y LOSTANAU. 1985. Variabilidad espacio-temporal de clorofila, producción primaria y nutrientes frente a la costa peruana. Bol. Inst. Mar Perú, 10 (1).
- CARRIT, D. Y J. CARPENTER. 1966. Comparison and evaluation of currently employed modification of the Winkler method for determining dissolved oxygen in sea water. J. Mar. Res., 24: 286-318.
- CLIMATE DIAGNOSTIC BULLETIN 1996. Climate Prediction Center. September 1996. N° 96/12. NOAA/NCEP/USA. Kousky V. (Editor).
- EKMAN V. W. 1905. On The Influence Of The Earth Relation On Ocean Currents. Ark. Mat. Astron. Fys 2(11):1-55
- ELSBERRY, R. L. Y R. W. GARWOOD JR. 1978. Sea surface temperature anomaly generation in relation to atmospheric storm. Bulletin American Meteorological Society 59:786-789.
- GUILLÉN, O. 1964. Distribución del contenido de fosfatos en la región de la Corriente del Perú. Inf. Inst. Invest. Recurs. Mar N° 28.
- GUILLÉN, O. 1983. Condiciones oceanográficas y sus fluctuaciones en el Pacífico Sur Oriental. Proceedings of the Expert Consultation to Examine Changes in Abundance and Species Composition of Neritic Fish Resources. San José, Costa Rica, 18-29 April 1983. FAO Fisheries Report N° 291 Volume 2.
- HOLM-HANSEN, A., C. LORENZEN, R. HOLMES Y J. STRICKLAND. 1965. Fluorometric determination of Chlorophyll. J. Cons. Perm. Explor. 30: 3-15.
- LEWIS, E. L. 1980. The practical salinity scale 1978 and its antecedents. IEEE Journal of Oceanic Engineering Vol. OE-5, N° 1, Jan. 1980 p. 7.
- NEUMAN G., W. PIERSON. 1966. Principles of Physical Oceanography. Englewood Cliffs, Prentice Hall, Inc., 1966.
- PIZARRO, L., E. TELLO. 1996. Condiciones oceanográficas del mar peruano durante el crucero de evaluación de los recursos pelágicos. BIC SNP-1 9602-04. Inf. Inst. Mar Perú, 122:47-56.
- PIZARRO, L. 1996. Condiciones físicas del mar peruano de Tambo de Mora a Paita, durante agosto y setiembre de 1995. Inf. Inst. Mar Perú, 119: 78-90.
- UNESCO. 1981. International Oceanographic Tables, UNESCO, Place de Fontenoy París e France.
- REYNOLDS, R. W. 1982. A monthly average climatology of sea surface temperature. Technical Report. NWS 31. National Meteorological Center, NOAA, Silver Spring MD. 1-35.
- STRICKLAND J., T. PARSON. 1965. Manual of sea water analysis. Bull. Fish. Res. Canada N° 125.
- WYRTKI, K. 1967. Circulation and water masses in the eastern equatorial Pacific Ocean. Inst. J. Oceanol. and Limnol. 1(2): 117-147.
- YENTSCH, C. Y D. MENZEL. 1963. A method for determination phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. Deep-Sea Res. 10: 221-231.
- ZUTA S. Y W. URQUIZO. 1972. Temperatura Promedio de las Superficie del Mar frente a la Costa Peruana, Período 1928-1969. Bol. Inst. Mar Perú, 8: 460 - 520.
- ZUTA S. Y O. GUILLÉN. 1972. Oceanografía de las aguas costeras peruanas. Bol. Inst. Mar Perú, Vol. 3, N° 5: 291 pp.
- ZUTA S., I. TSUKAYAMA, R. VILLANUEVA. 1983. El Ambiente Marino y las Fluctuaciones de las Principales Especies Pelágicas de la Costa Peruana. Proceedings of the Expert Consultation to Examine Changes in Abundance and Species Composition of Neritic Fish Resources. San José, Costa Rica, 18-29 April 1983. FAO Fisheries Report N° 291, Vol. 2.

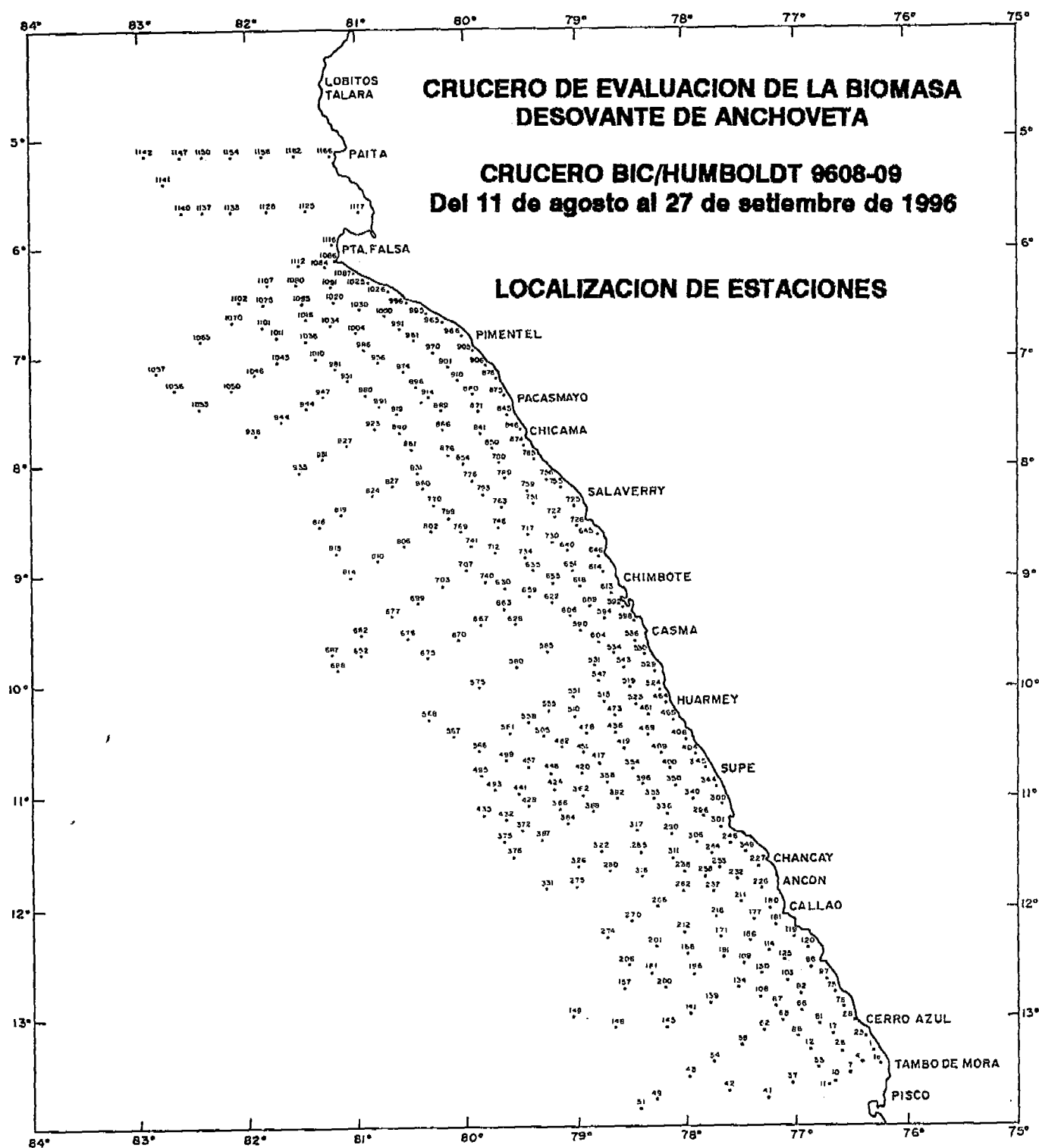


FIGURA 1. Localización de estaciones oceanográficas.



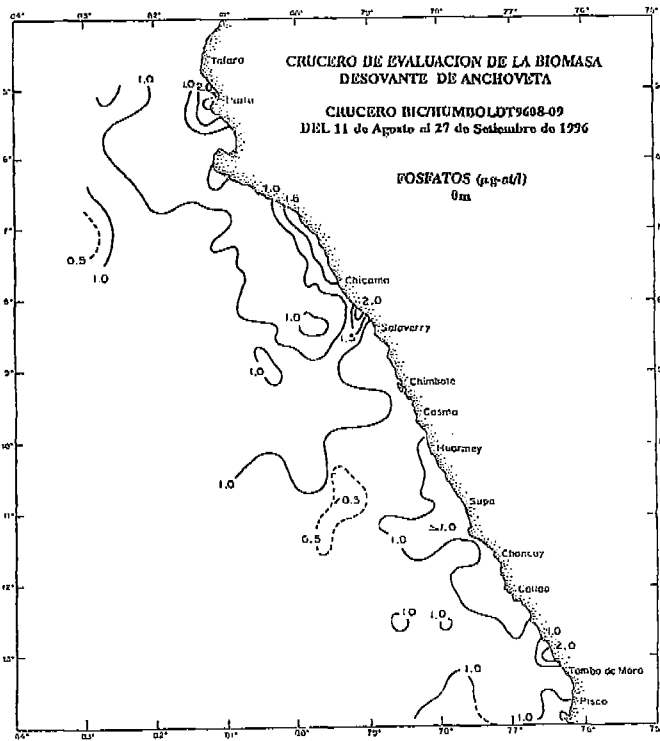


FIGURA 6. Distribución superficial de los fosfatos en agua de mar ( $\mu\text{g-at/l}$ ).

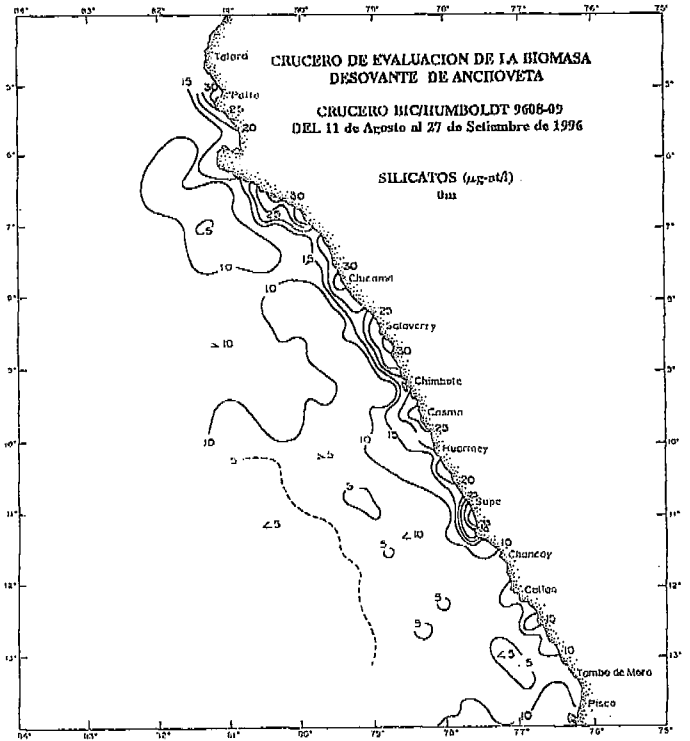


FIGURA 7. Distribución superficial de los silicatos en agua de mar ( $\mu\text{g-at/l}$ ).

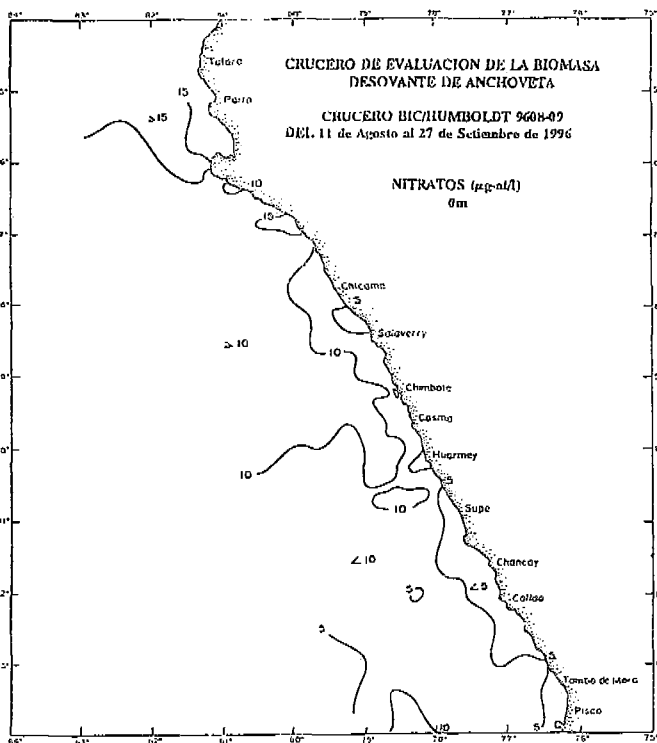


FIGURA 8. Distribución superficial de los Nitratos en agua de mar ( $\mu\text{g-at/l}$ ).

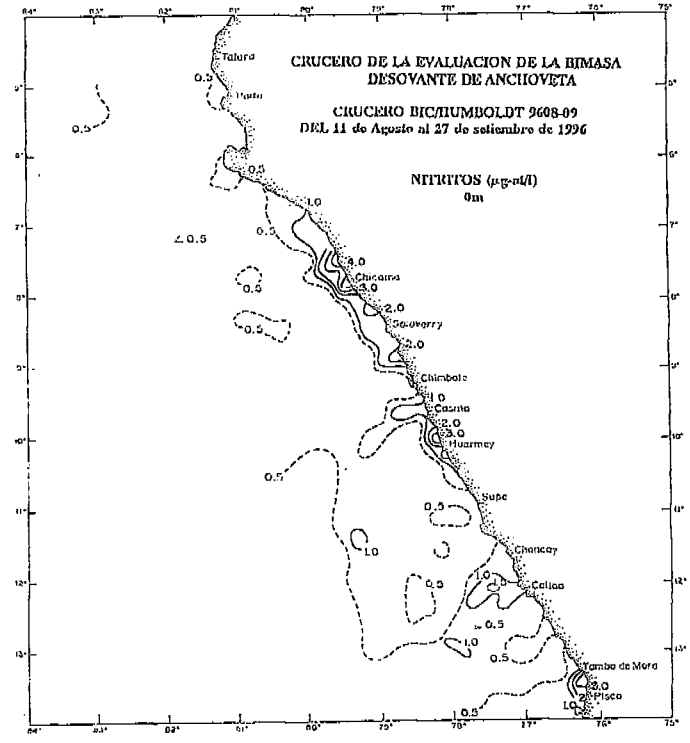


FIGURA 9. Distribución superficial de los nitritos en agua de mar ( $\mu\text{g-at/l}$ ).

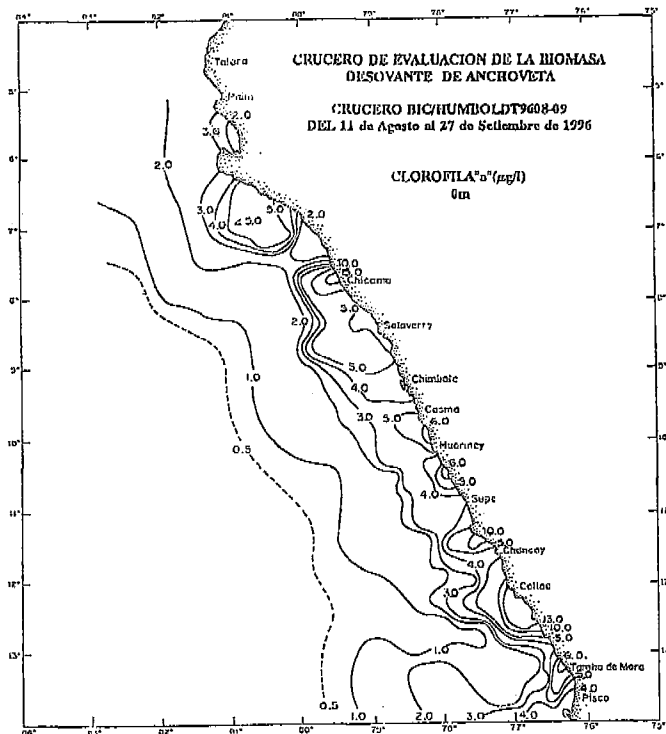


FIGURA 10. Distribución superficial de la clorofila "a" en agua de mar ( $\mu\text{g/l}$ ).

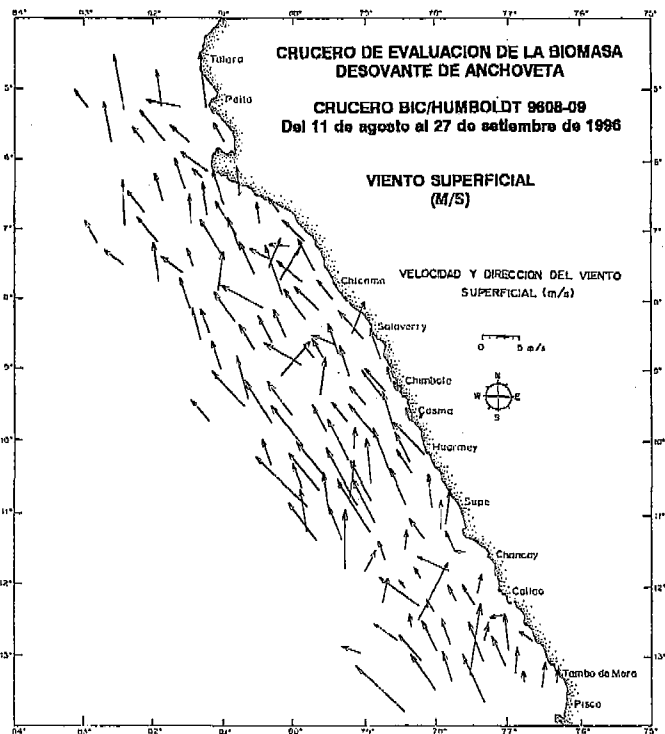


FIGURA 11. Distribución del viento superficial (m/s).

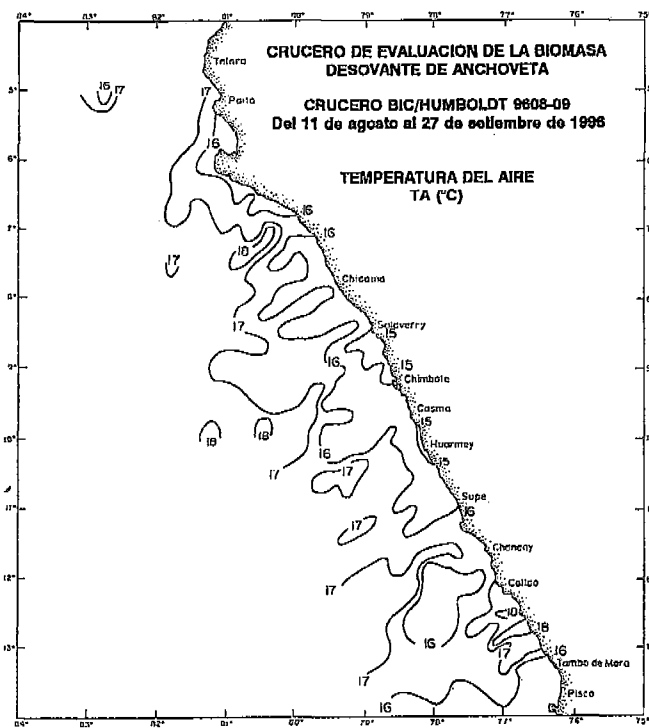


FIGURA 12. Distribución de la temperatura del Aire TA ( $^{\circ}\text{C}$ ).

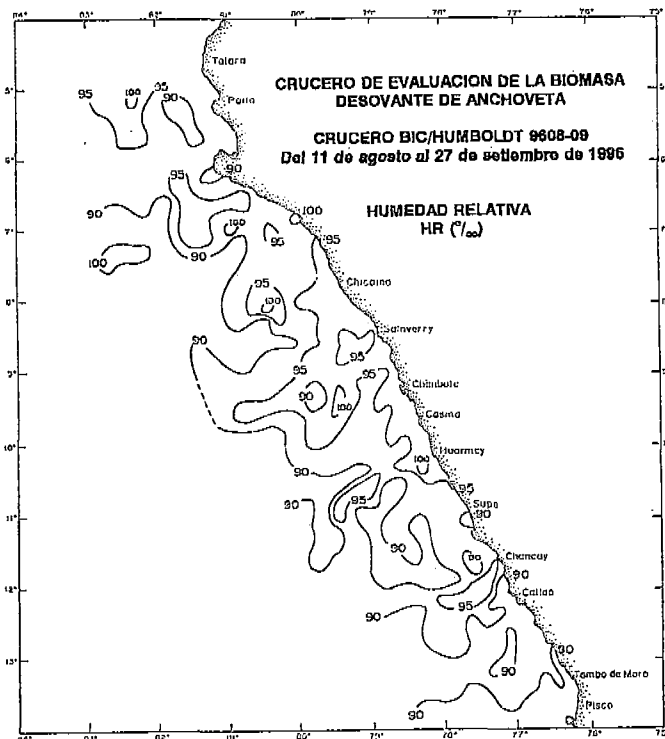


FIGURA 13. Distribución de la Humedad Relativa HR (%).

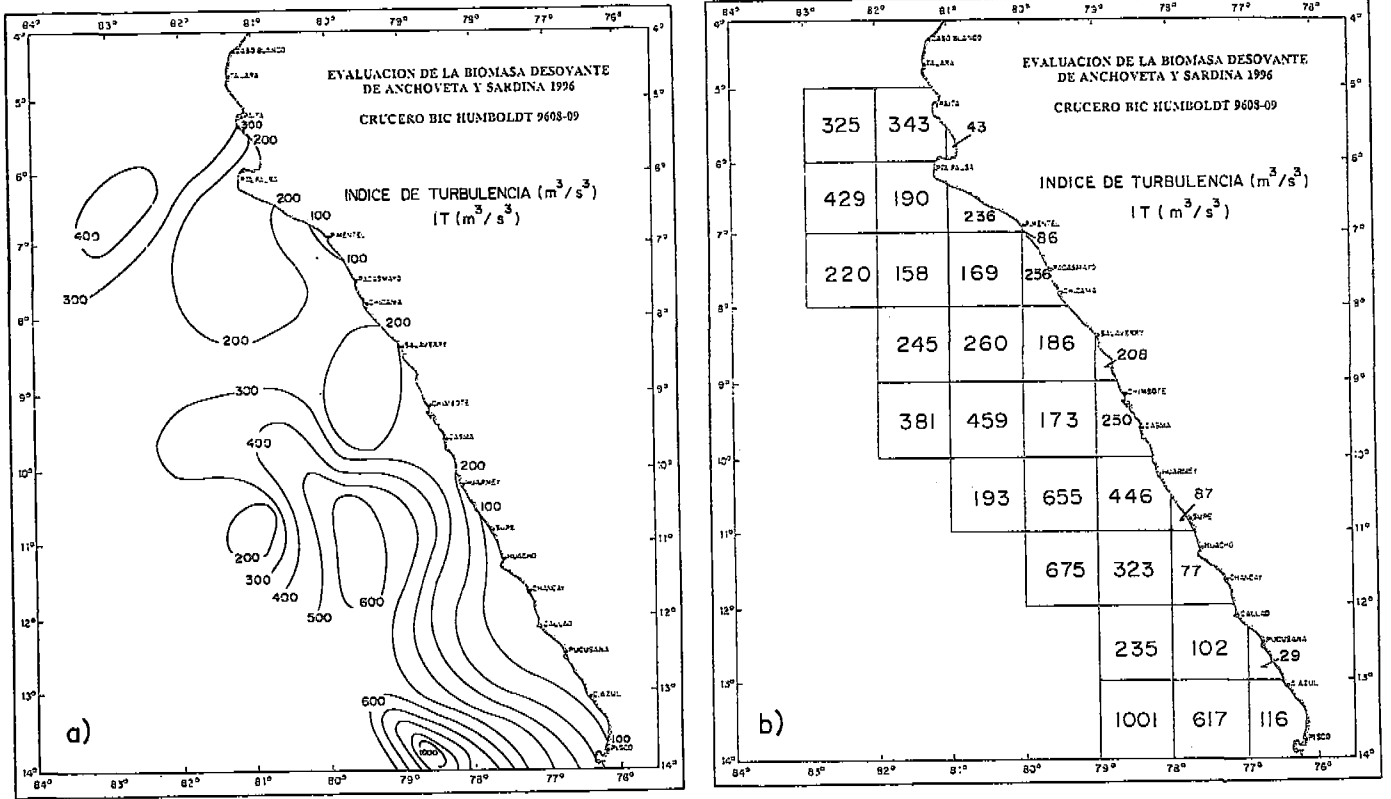


FIGURA 14. Distribución del Índice de Turbulencia IT (m³/s³).

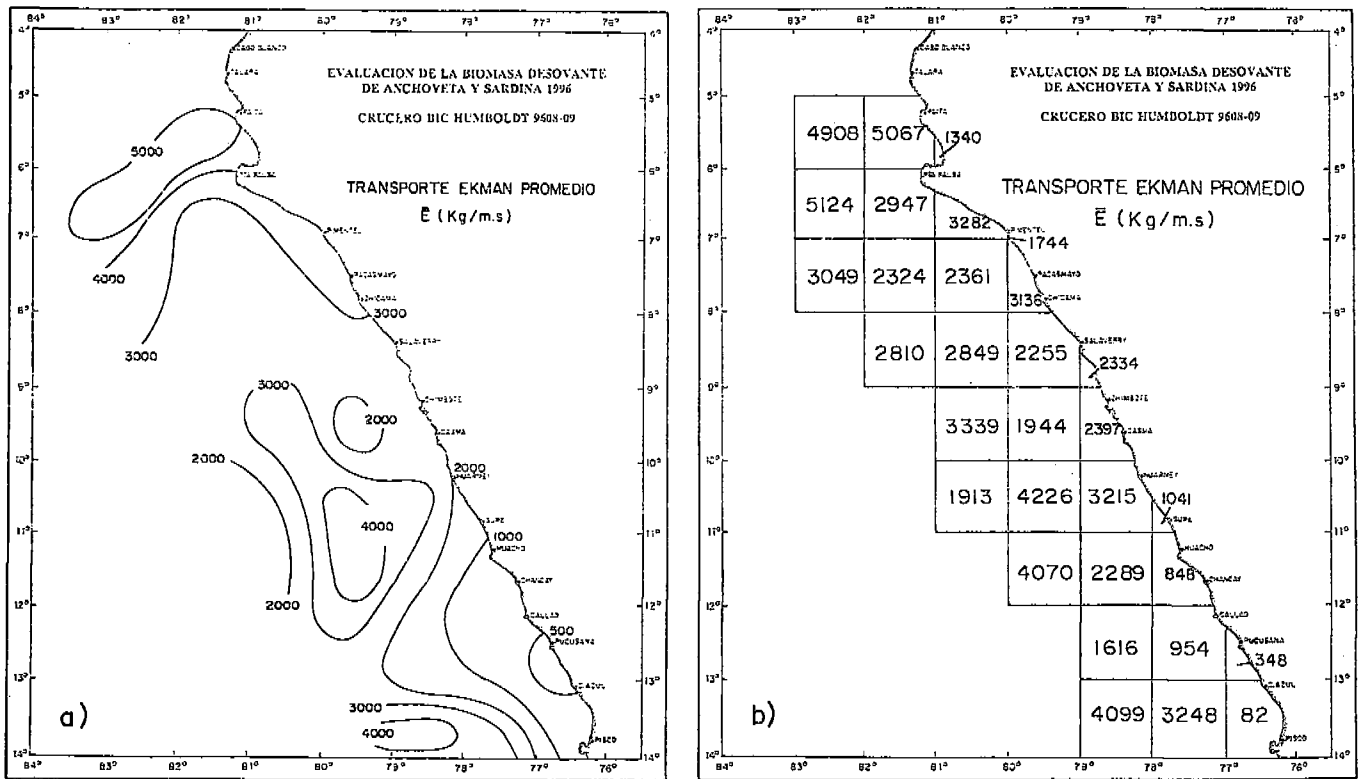


FIGURA 15. Distribución del Transporte Ekman Promedio E (Kg/m.s).

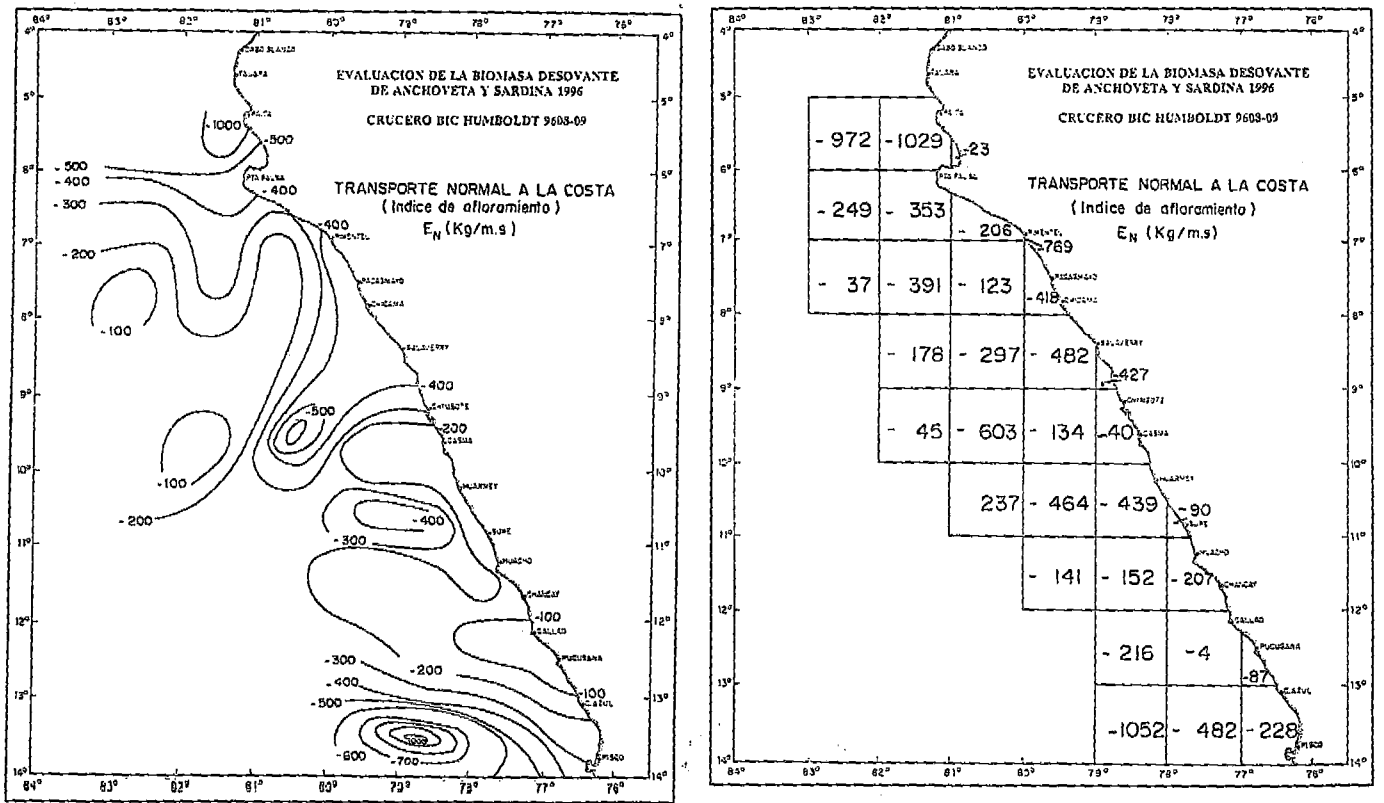


FIGURA 16. Distribución del Transporte Ekman Normal a la Costa (Indice de Afloramiento) EN (Kg/m.s).

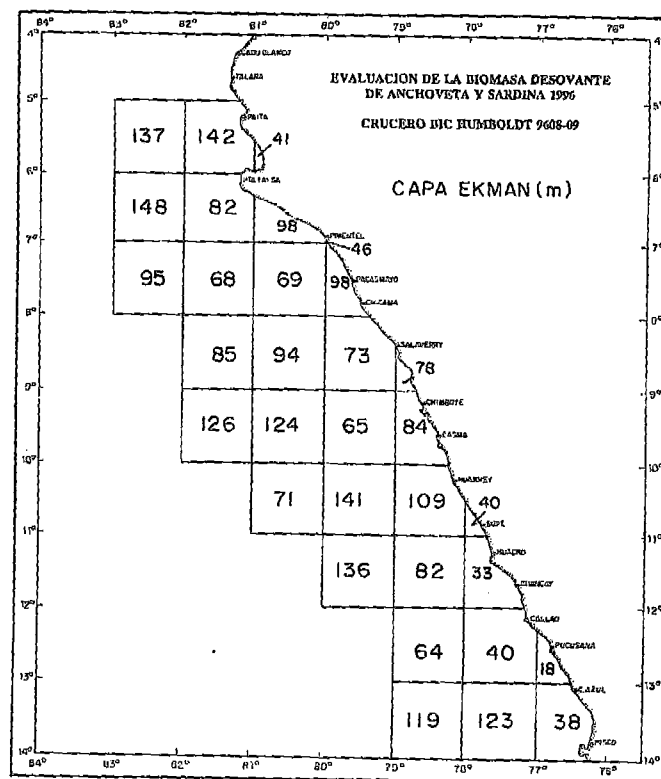


FIGURA 17. Distribución de la Capa Ekman Promedio (m).



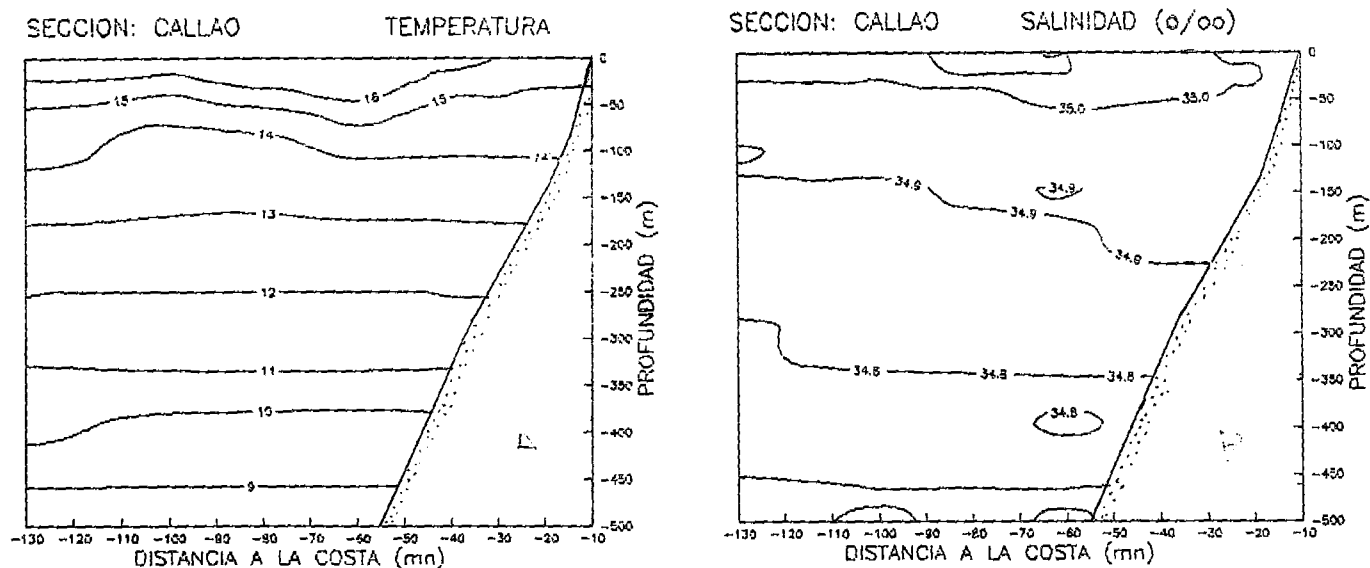


FIGURA 18. Distribución vertical de: a) Temperatura (°C), b) Salinidad (‰), sección Callao (17-18 Agosto 1996).

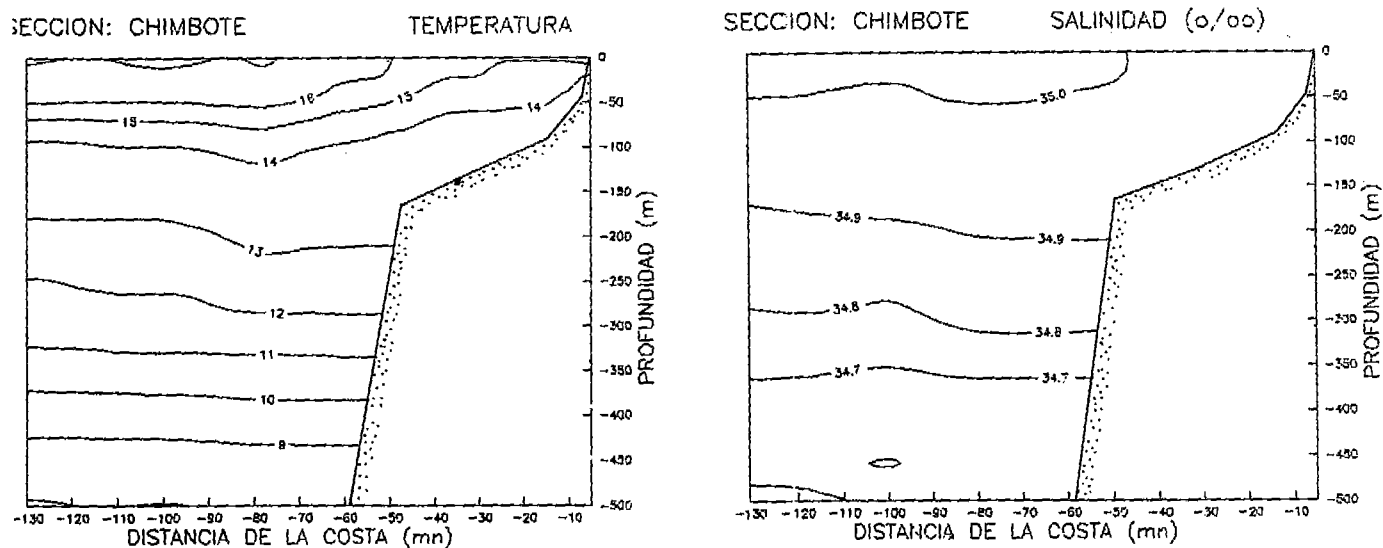


FIGURA 19. Distribución vertical de: a) Temperatura (°C), b) Salinidad (‰), sección Chimbote (01-02 Setiembre 1996).

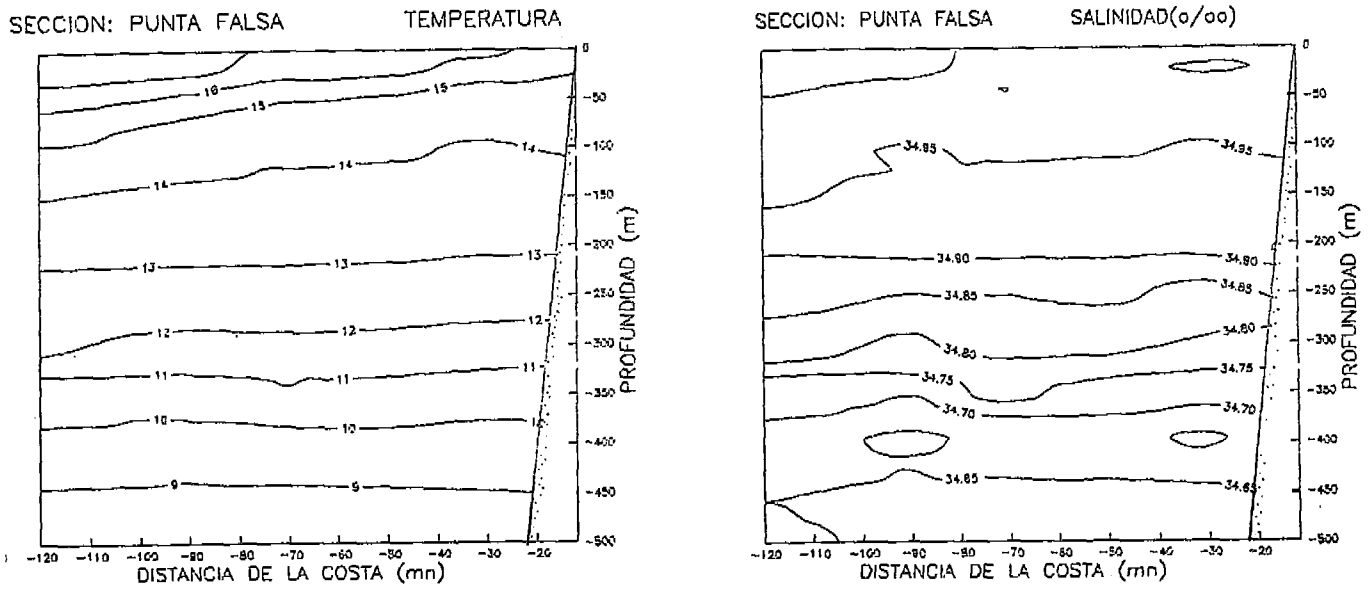


FIGURA 20. Distribución vertical de: a) Temperatura (°C), b) Salinidad (‰), sección Punta Falsa (21-22 Setiembre 1996).

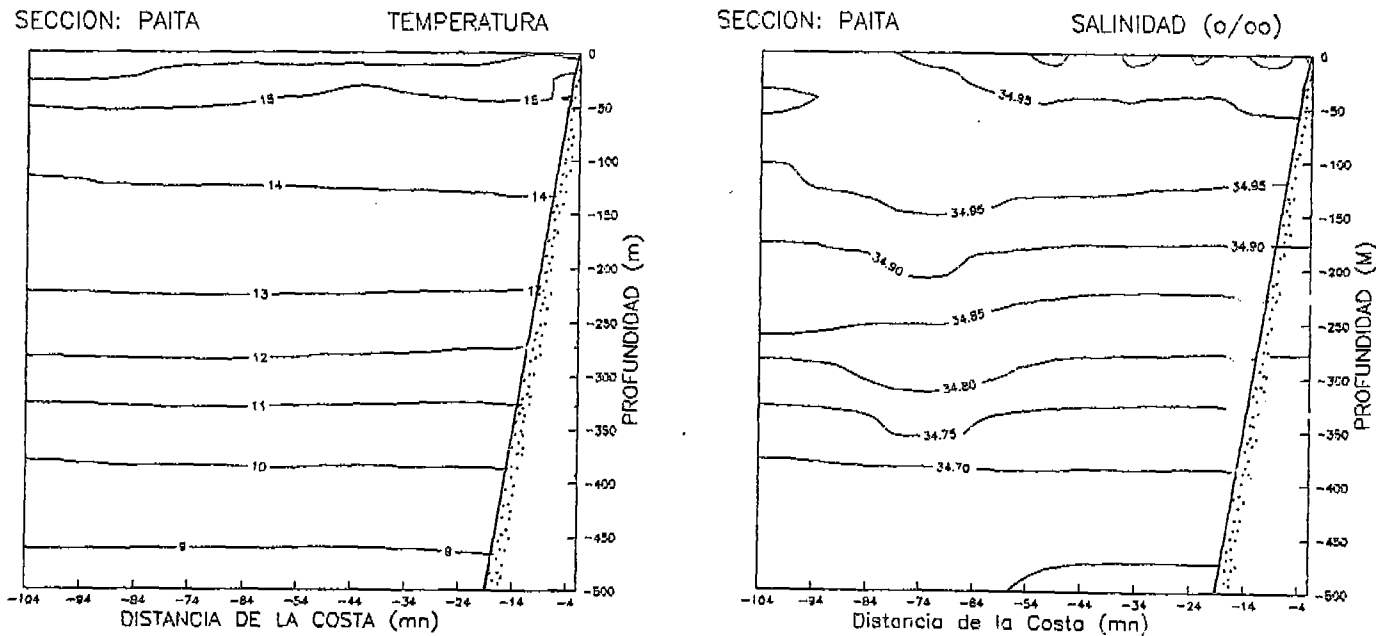


FIGURA 21. Distribución vertical de: a) Temperatura (°C), b) Salinidad (‰), sección Paita (23-24 Setiembre de 1996).

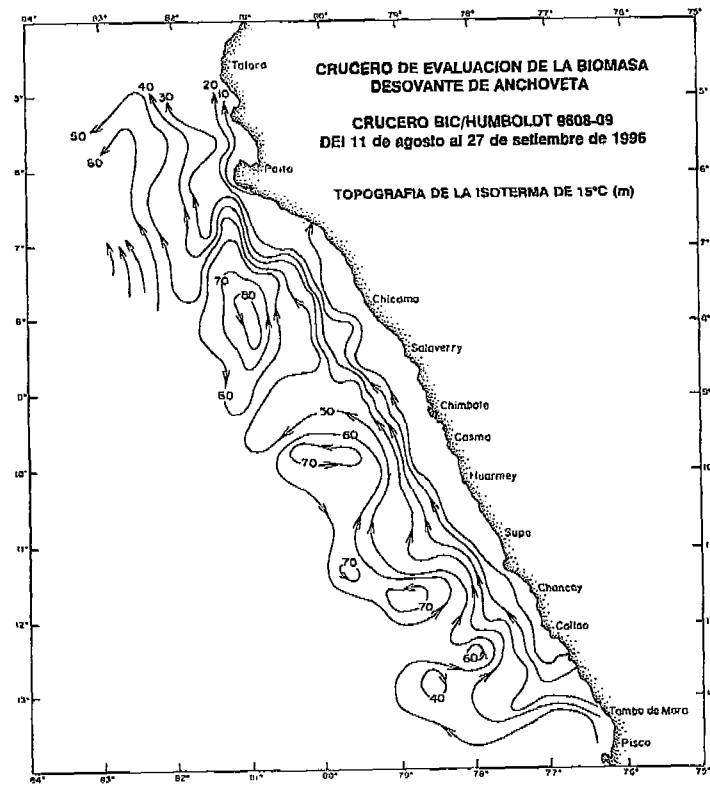
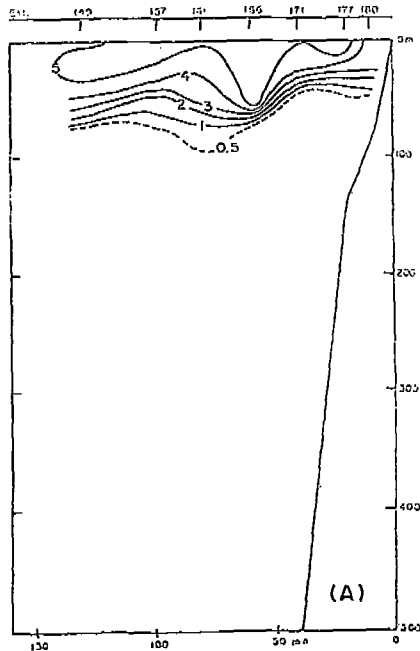
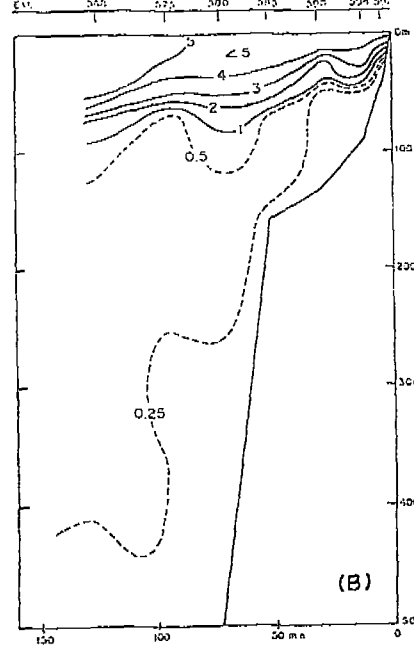


FIGURA 22. Topografía de la isoterma de 15 °C.

SECCION: CALLAO (17-18 Ago. 1996)  
OXIGENO (ml/l)



SECCION: CHIMBOTE (01-02 Set. 1996)  
OXIGENO (ml/l)



SECCION: PUNTA FALSA (21-22 Set. 1996)  
OXIGENO (ml/l)

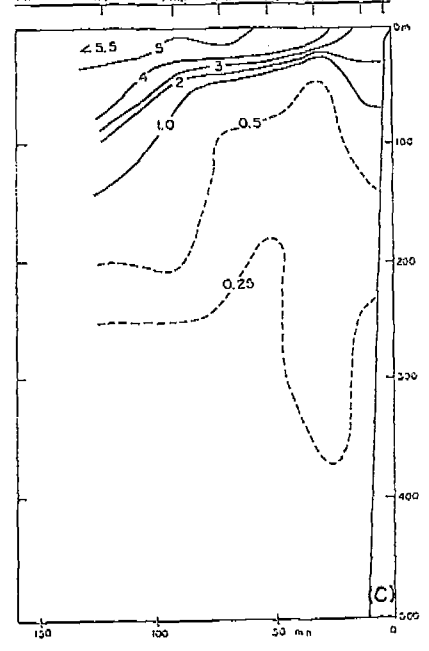


FIGURA 23. Distribución vertical del oxígeno disuelto (ml/l): A) Callao, B) Chimbote, C) Punta Falsa.

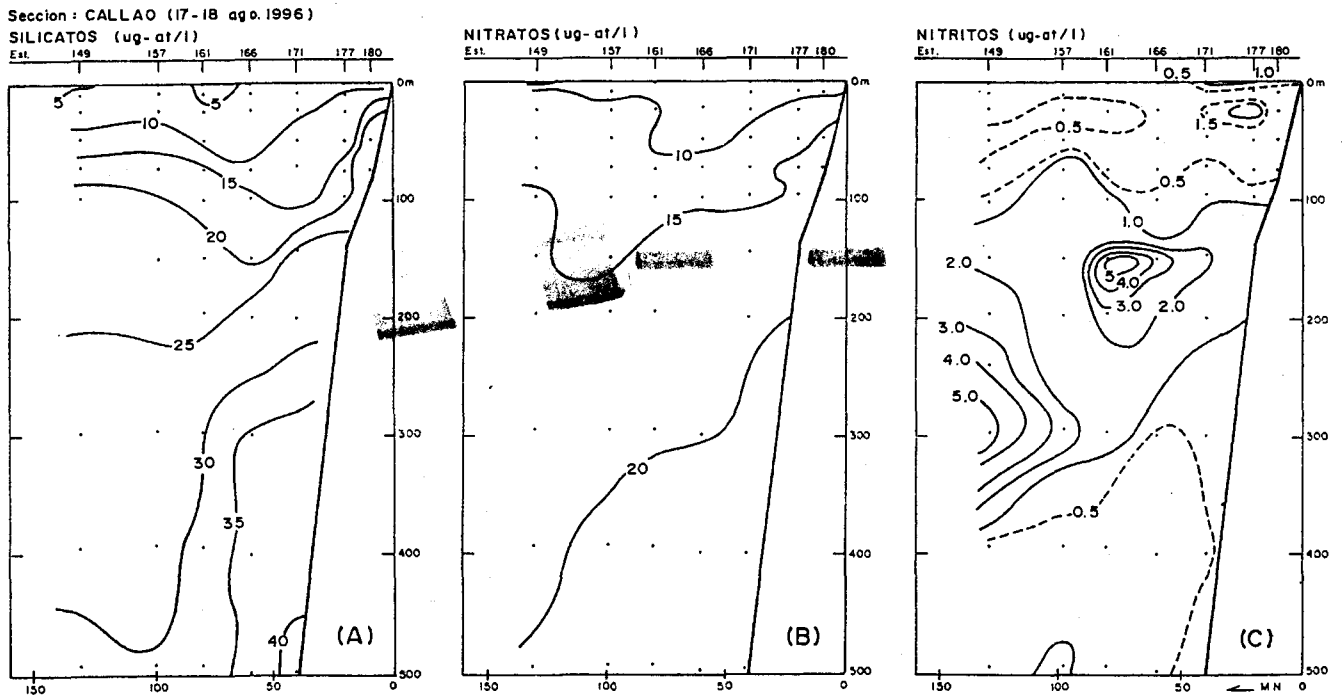


FIGURA 24. Distribución Vertical de nutrientes ( $\mu\text{g-at/l}$ ): A) Silicatos B) Nitratos, C) Nitritos, sección Callao (17-18 de Agosto 1996).

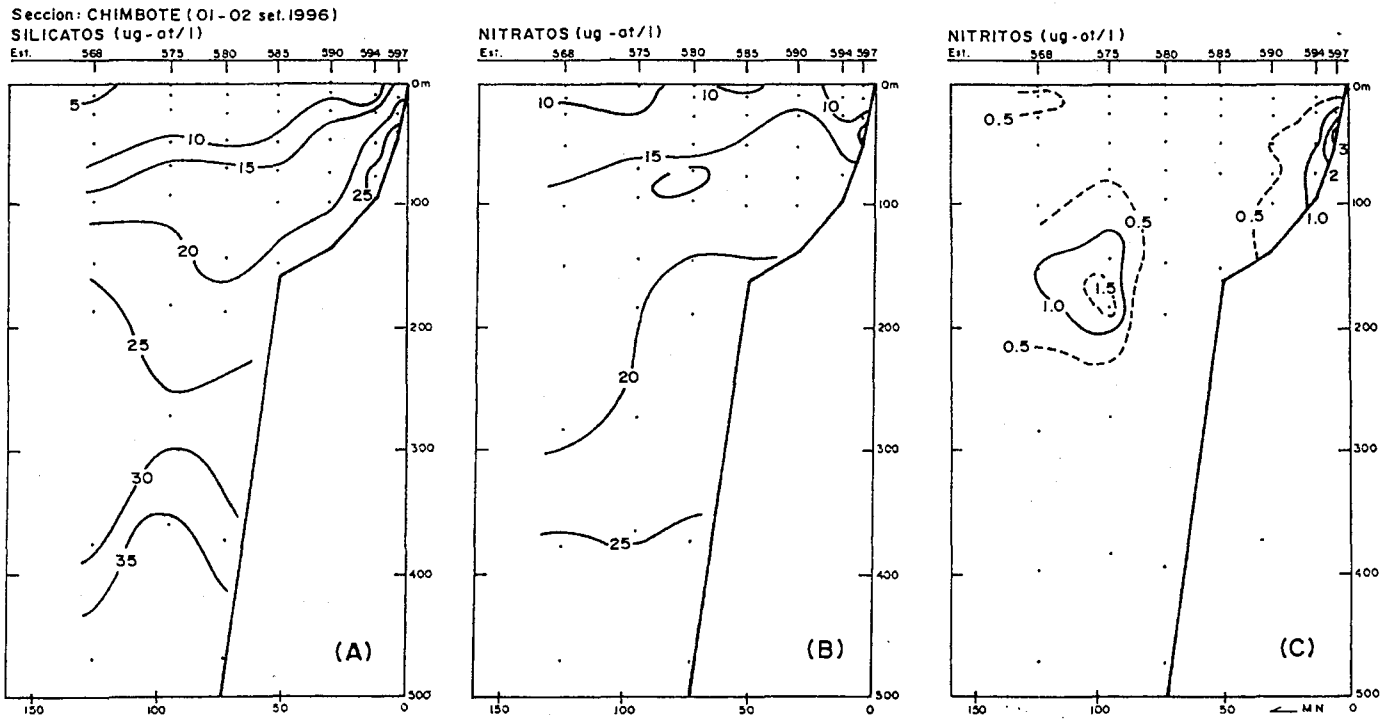


FIGURA 25. Distribución vertical de nutrientes ( $\mu\text{g-at/l}$ ): A) Silicatos, B) Nitratos, C) Nitritos, sección Chimbote (01-02 de Setiembre 1996).

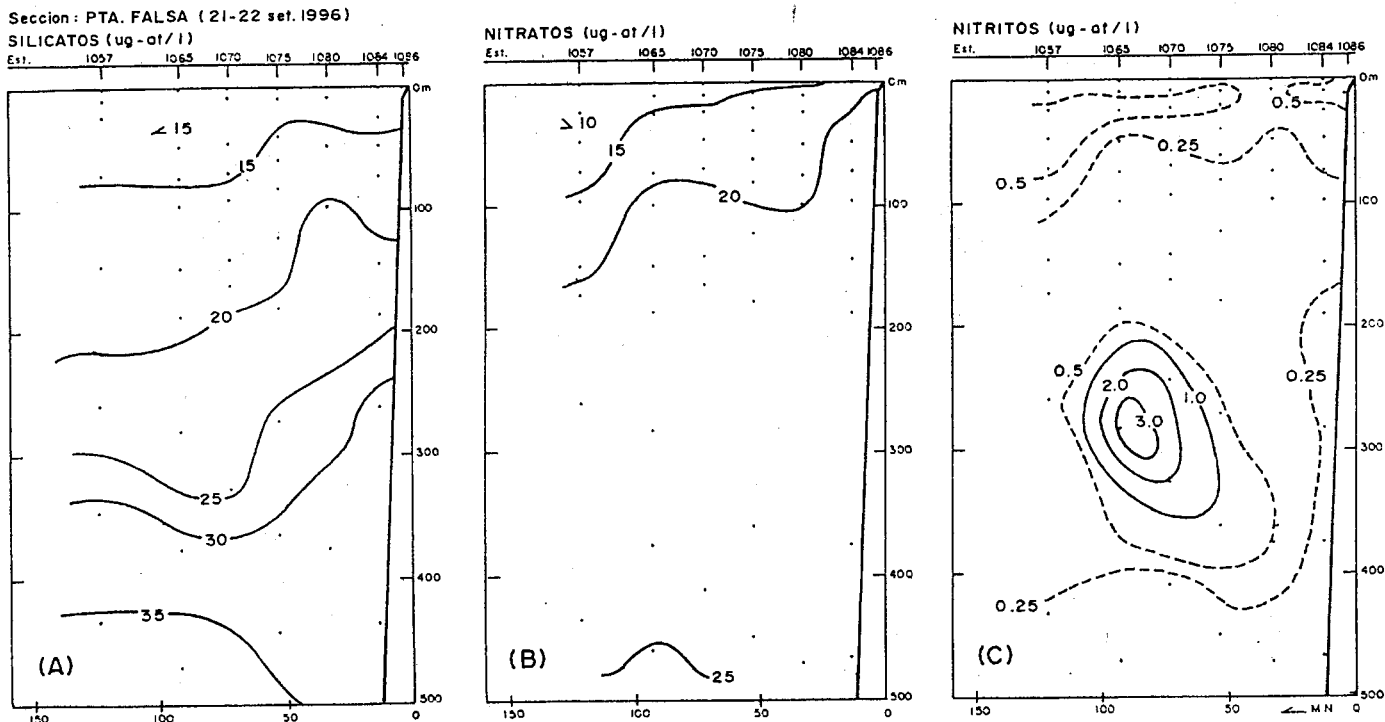


FIGURA 26. Distribución vertical de nutrientes ( $\mu\text{g-at/l}$ ): A) Silicatos, B) Nitratos, C) Nitritos. Sección Punta Falsa (21-22 de Setiembre 1996).

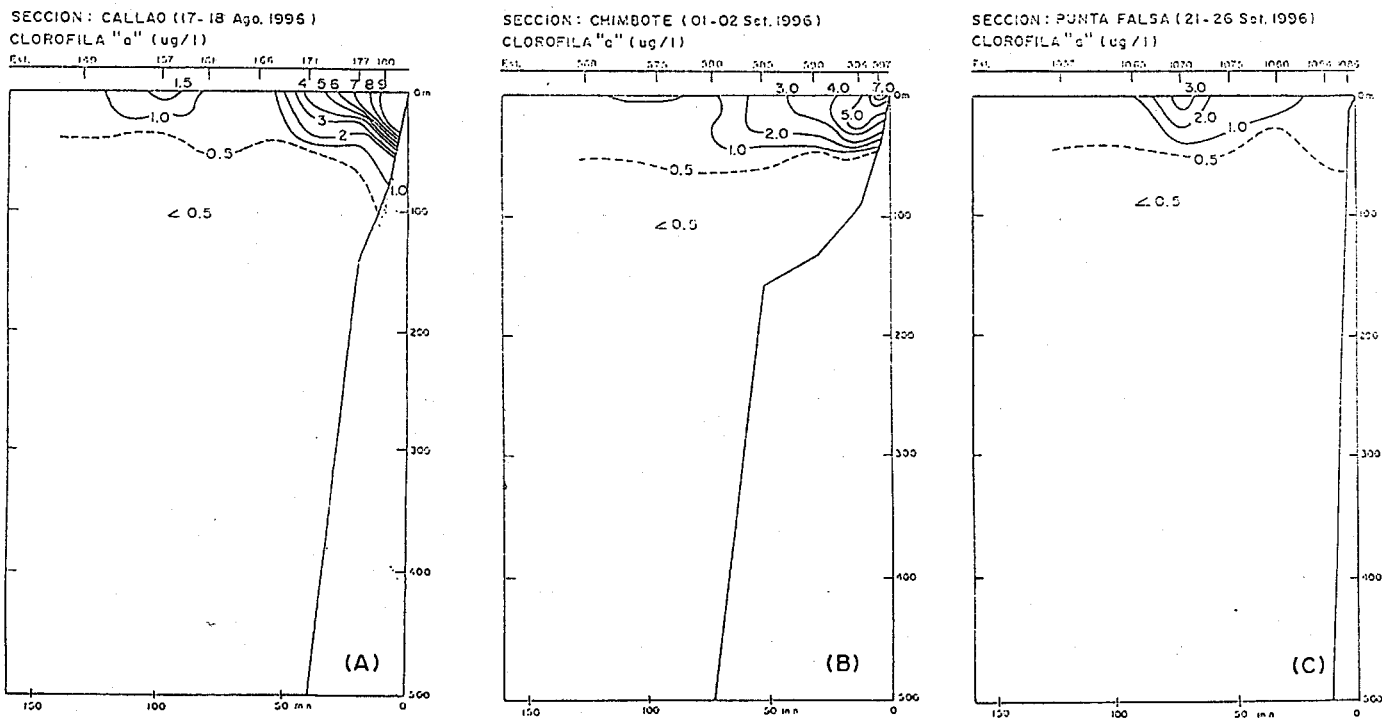


FIGURA 27. Distribución vertical de la clorofila "a" ( $\mu\text{g/l}$ ). A) Callao, B) Chimbote, C) Punta Falsa.