



ISSN 0378 - 7702

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

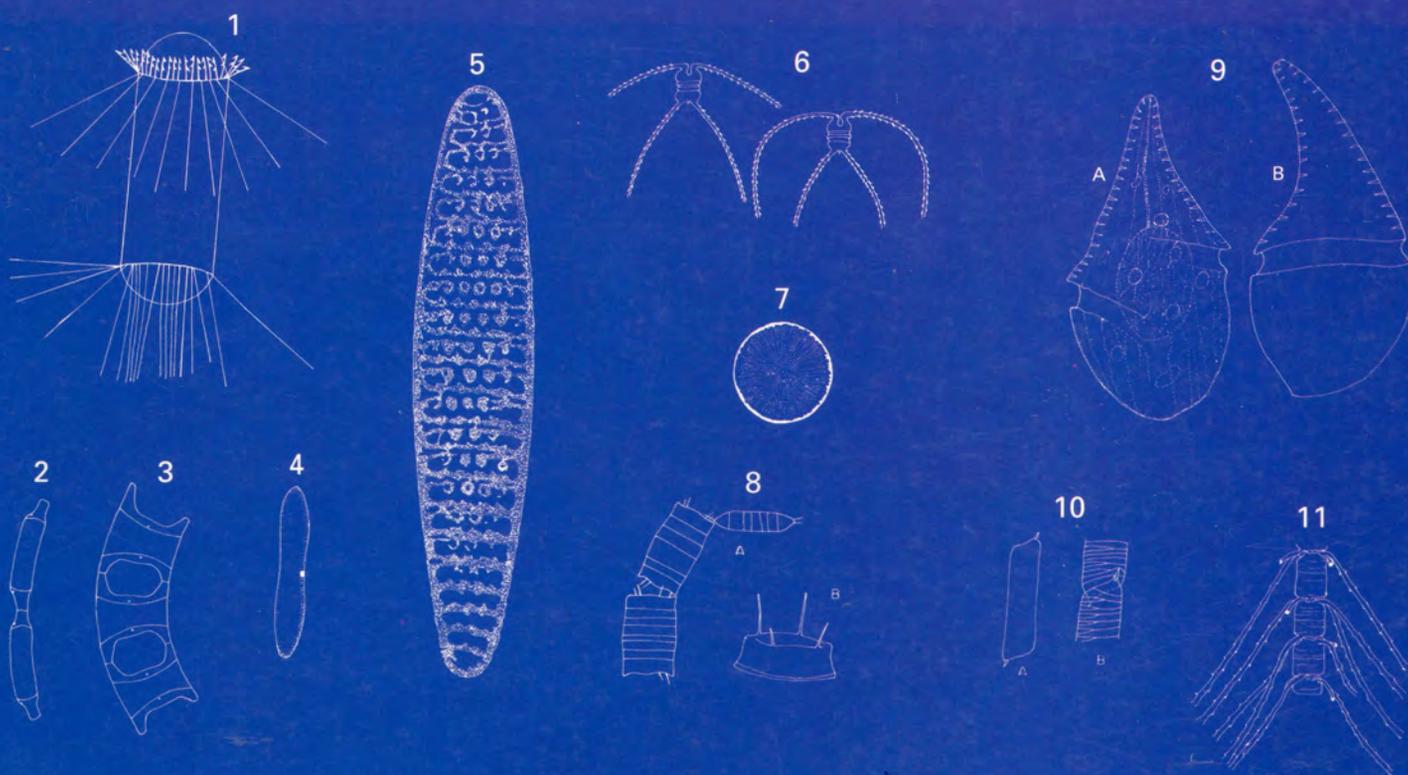
# INFORME

Nº 163

Octubre, 2001

**A.- III Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudeste. Perú, BICs Humboldt y SNP-2 0005-06.**

**B.- Operación Perú ANTAR X. Fitoplancton en el Estrecho de Bransfield y alrededores de la Isla Elefante en verano 1999 y variaciones 1988-1999.**



Callao, Perú

# CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS FRENTE A LAS COSTAS DEL PERÚ EN MAYO 2000

María del Carmen Grados<sup>1</sup> Darwin Loarte<sup>2</sup> Renán Alegre<sup>3</sup>

## RESUMEN

GRADOS, M. C., D. LOARTE y R. ALEGRE. 2001. Condiciones oceanográficas frente a las costas del Perú en mayo 2000. Inf. Inst. Mar Perú 163: 7-18

Se analizan las condiciones oceanográficas observadas durante el III Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudeste, Perú, realizado a bordo de los BICs Humboldt (12 - 25 mayo) y SNP-2 (15 mayo - 1 junio 2000). Se evaluó el mar peruano de Tumbes a Tacna y se ejecutaron 135 estaciones oceanográficas hasta 900 m de profundidad y 280 mn de distancia máxima de la costa. Se revelaron condiciones casi-normales en el sistema hídrico del mar debido al reforzamiento de los procesos de surgencia, propios del período estacional, que ocasionaron anomalías térmicas negativas de hasta  $-2^{\circ}\text{C}$ , dentro de las 60 mn frente a las costas centro y sur. Se presentaron: Aguas Tropicales Superficiales (ATS) que tuvieron una distribución normal hasta  $4^{\circ}\text{S}$ ; Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES), que ocurrieron sobre los 25 m de profundidad hasta  $4^{\circ}\text{S}$ ; Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) que, con un espesor máximo de 100 m, tuvieron mayor intensidad (35,5 ups) frente a Chicama. En subsuperficie, ocurrieron las Aguas Ecuatoriales Subsuperficiales (AEES) con  $15^{\circ}\text{C}$ - $13^{\circ}\text{C}$  y 35,1 a 34,9 ups; Aguas Templadas de la Subantártica (ATSA) con 34,9 a 34,6 ups y  $15^{\circ}\text{C}$  a  $12^{\circ}\text{C}$ ; y, Aguas Intermedias Antárticas (AIAA) ubicadas debajo de 600-700 m de profundidad con menos de  $7^{\circ}\text{C}$  y 34,6 a 34,45 ups. El termostad ( $13^{\circ}\text{C}$ ) determinó la presencia de la Corriente Submarina Peruana o Extensión Sur de la Corriente de Cromwell. Este flujo, cuya influencia se notó hasta Chicama, presentó una distribución moderadamente fortalecida para la época.

PALABRAS CLAVE: oceanografía, distribución termohalina, mar peruano, otoño 2000.

## ABSTRACT

GRADOS, M. C., D. LOARTE and R. ALEGRE. 2001. Oceanographic conditions in front of Peruvian coasts in May 2000. Inf. Inst. Mar Perú 163:7-18

The Oceanographic conditions observed during the III Regional Cruise for Oceanographic Research in the Southeastern Pacific, Peru, was carried out onboard the RVs Humboldt (May 12<sup>th</sup> to 25<sup>th</sup>) and SNP-2 (May 15<sup>th</sup> to June 1<sup>st</sup> 2000), from Tumbes to Tacna executing 135 oceanographic stations down to 900 m depth and as far as 280 nm off coast. Near-normal conditions in the hydric system off Peru were revealed, due to the reinforcement of the upwelling processes, proper of the season that caused sea surface negative anomalies of  $-2^{\circ}\text{C}$ , in the 60 nm adjacent to the central and southern coasts. Surface Tropical Waters (STW) had normal distribution until  $4^{\circ}\text{S}$ ; Equatorial Surface Waters (ESW) occurred above 25 m depth as south as  $4^{\circ}\text{S}$ ; Subtropical Surface Waters (SSW), with a 100 m thickness layer, were more intense (35,5 ups) off Chicama. In subsurface layers, the Equatorial Subsurface Waters (ESW) with  $15^{\circ}\text{C}$  to  $13^{\circ}\text{C}$  and 35,1 to 34,9 ups; Temperate Waters of the Subantarctica (TWSA) with 34,9 ups to 34,6 ups and of  $15^{\circ}\text{C}$  to  $12^{\circ}\text{C}$ ; and the Antarctic Intermediate Waters (AIW), situated beneath 600-700 m depth with  $>7^{\circ}\text{C}$  and 34,6 to 34,45 ups. The thermostat ( $13^{\circ}\text{C}$ ) determined the presence of the Peruvian Submarine Current or Southern Extension of the Cromwell Current (SECC). This flux, observed as far as Chicama, presented a moderate reinforced distribution for the period.

KEY WORDS: oceanography, Peruvian sea, termohaline, distribution, autumn 2000.

## INTRODUCCIÓN

El I Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudeste se llevó a cabo en 1998 en el marco de las actividades programadas por la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS) para celebrar el Año Internacional de los Océanos. Los logros alcanzados en este esfuerzo interinstitucional realizado por Colombia, Ecuador, Perú y Chile, que integró aspectos científicos, técnicos, administrativos y humanos, determinaron la necesidad de realizar el II Crucero Regional en 1999, y una tercera versión en el año 2000.

En el Perú, el crucero se desarrolló en dos etapas, la primera desde caleta La Cruz hasta Callao (12-25 mayo), y la segunda de Pisco a Ilo (18 mayo- 1 junio), con la finalidad de evaluar las condiciones oceanográficas, meteorológicas y biológicas del mar peruano (IMARPE 2000).

El año 1999 se caracterizó por la intensidad de los afloramientos costeros que determinaron la presencia de áreas propicias para la distribución y desarrollo de las especies pelágicas. En la primavera, cuando la variación del ambiente indicaba condiciones muy cercanas a lo normal, se produjo el fortalecimiento de los vientos alisios con la consiguiente reactivación de la surgencia costera y la presencia de anomalías negativas de la TSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) mayores que en los meses anteriores, que se insinuaron como la continuación del período frío "La Niña". Sin embargo, prospecciones realizadas por el IMARPE en los primeros meses del verano 2000, e imágenes satelitales de diversas fuentes de información internacionales, indicaron la presencia de la lengua de agua cálida estacional ligeramente más intensa de lo normal, debido al desplazamiento de aguas oceánicas del oeste, causando expectativa respecto a su variación. Como en 1999, este pulso cálido se disipó

<sup>1</sup> Unidad de Oceanografía Física. DIO. IMARPE. Email: cgrados@imarpe.gob.pe

<sup>2</sup> Departamento de medioambiente. DIHIDRONAV. Email: dloarte@dhn.mil.pe

<sup>3</sup> Dirección de Climatología. SENAMHI. Email: ralegre@senamhi.gob.pe

con el inicio del período otoñal, dando lugar a condiciones normales en el mar peruano.

El presente informe analiza las características del ambiente a nivel local. Los resultados obtenidos en el presente crucero son un aporte al conocimiento de la variabilidad y distribución de la temperatura, salinidad y masas de agua frente a las costas del Perú.

## MATERIAL Y MÉTODOS

El III Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudeste, Perú, se realizó a bordo del BIC Humboldt y BIC SNP-2 del 12 de mayo al 01 de junio del 2000. El área de estudio estuvo comprendida entre 3°30'S y 18°18'S con una distancia máxima de hasta 280 mn de la costa (Fig. 1).

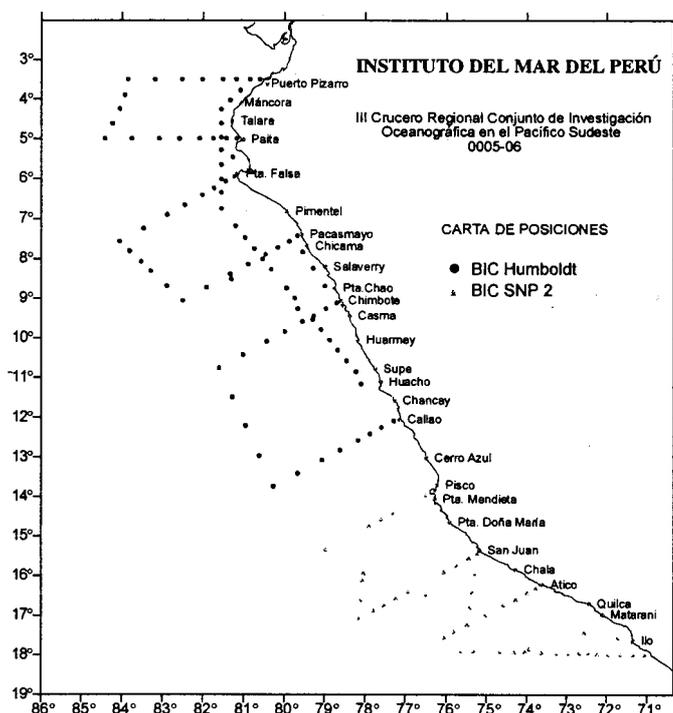


FIGURA 1. Carta de posiciones. Crucero Oceanográfico BIC Humboldt y BIC SNP-2 0005-06.

Se realizaron 10 secciones perpendiculares a la costa de longitud variable, hasta 100 mn (Pisco), 160 mn (Atico), 200 mn (Puerto Pizarro, Paita, Punta Falsa, Chimbote, Callao, San Juan) y 280 mn (Ilo) en las cuales se realizaron 79 estaciones hidrográficas hasta una profundidad de 900 m (Tumbes a Callao) y 500 m (Pisco a Ilo). En cada estación hidrográfica se efectuaron lanzamientos empleando el sistema CTD Seabird modelo SBE-19. También se realizaron lances de Rossetta conformada por botellas Niskin de 2,5 L de capacidad a niveles estándar para coleccionar muestras de agua para análisis de salinidad con fines de calibración empleando el Portasal Guildline 8410<sup>a</sup>.

Además, se efectuaron 56 estaciones oceanográficas superficiales, 14 de ellas en los intertransectos paralelos a la

costa donde se hicieron mediciones de TSM y se tomaron muestras para salinidad y, adicionalmente, 26 estaciones en el trayecto de retorno donde se tomaron datos de temperatura, salinidad y meteorología cada hora, que se integraron a los resultados del crucero.

Las observaciones meteorológicas se realizaron empleando una estación meteorológica automática Davis modelo Weather II (BIC Humboldt y BIC SNP-2). Se recopiló información en forma horaria y se analizó la información de las 00:00 h. Se registraron valores de temperatura superficial del aire (TSA), punto de rocío, humedad, presión atmosférica, dirección y velocidad de los vientos. Además, se hicieron observaciones visuales de nubosidad (altura, tipo y cantidad), olas (altura y período), estado del mar, tiempo presente y visibilidad.

Se hicieron observaciones sobre la transparencia del agua de mar con un disco Secchi.

La intensidad y dirección de las corrientes marinas se midieron con correntómetros Aanderaa modelo RCM-9 a niveles de 10, 20, 30, 50, 100, 150 y 200 m de profundidad.

Para la interpretación de la información se analizaron cartas de distribución de superficie de la temperatura y salinidad, anomalías térmicas y de profundidad de las isoterms de 20 °C y 15 °C, así como gráficas de la estructura termohalina hasta 500 m y masas de agua hasta 900 m en el software Surfer v.7.

Finalmente, para relacionar los cambios locales con los de macroescala, se integró información del Índice de Oscilación del Sur (IOS), de temperatura y anomalías del Pacífico Ecuatorial y Tropical, de distribución térmica subsuperficial de publicaciones de Internet como el Climate Diagnostics Bulletin (CDB), National Environmental Satellite Data Information System (NESDIS) y TOGA-TAO Project del Pacific Marine Environmental Laboratory (PMEL) de la National Oceanographic Atmospheric Administration (NOAA) y US Navy's Fleet Numerical and Oceanography Center (FNMOC).

## RESULTADOS

### Distribución espacial de las variables meteorológicas

#### Temperatura del aire

La temperatura del aire tuvo una distribución uniforme; valores >22 °C se presentaron en longitudes >83°W; las temperaturas mínimas se registraron en la proximidad del litoral. Se observó un fuerte gradiente de las isoterms en la parte norte, asociado al encuentro de masas de aire del norte y del sur con características y propiedades diferentes.

#### Dirección y velocidad del viento

Los datos de dirección e intensidad del viento se corrigieron por el rumbo y velocidad del barco. Los vientos

predominantes fueron de componente S y SE. Asimismo, donde se presentaron los fuertes gradientes de presión, se registraron también las mayores velocidades del viento ocasionando estados del mar 1, 2 y 3 en estas zonas. Al norte de 4°S, se presentaron vientos de componente norte asociados a la banda secundaria de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).

### Presión atmosférica

La presión atmosférica presentó uno de sus mayores gradientes entre 80,5°W a 81,5°W y 10,5°S a 11,0°S; originando en esta región que el mar presentara estados 2 y 3, las primeras horas del día 16 de mayo. Otro fuerte apiñamiento de las isóbaras se observó entre 81,0°W a 81,5°W y 5°S a 6°S, frente a Punta Falsa y Paita, por lo cual en esta zona se registraron las mayores velocidades del viento y estados del mar entre 1 y 2. A nivel sinóptico, se observó un desplazamiento hacia el norte del Anticiclón del Pacífico Sur, característica propia de la temporada del año.

### Distribución superficial de la temperatura y salinidad

En mayo, la TSM estuvo entre 14,3 °C frente a Punta Mendieta y 25,7 °C a 10 mn de Puerto Pizarro. El frente ecuatorial se presentó al norte de los 4°S, formando un frente hídrico moderado con gradientes de 1°C/6 mn. La distribución térmica al norte de Máncora (4°S) se debió a la configuración de la línea de costa y al aporte estuarino de los ríos de la zona y del Golfo de Guayaquil (Fig. 2).

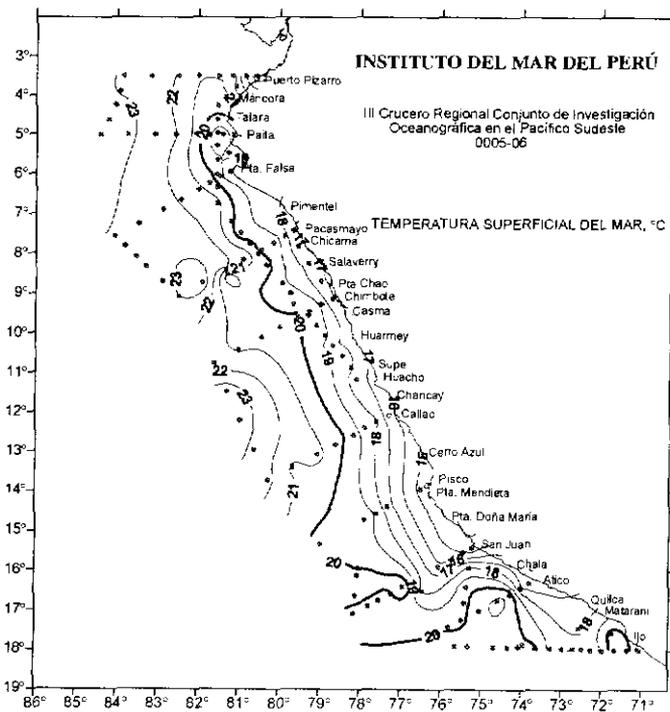


FIGURA 2. Temperatura Superficial del Mar (°C) frente al Perú durante el Crucero Oceanográfico BIC Humboldt y BIC SNP-2 0005-06.

La distribución de las isotermas fue paralela a la costa con 15 °C a 23 °C, observándose una modificación sustantiva con relación a marzo, debido al fortalecimiento de los vientos alisios. La isoterma de 20 °C, borde exterior de las aguas netamente costeras (ZUTA y URQUIZO 1972) se presentó de Talara hacia el sur. Esta banda de aguas costeras tuvo una máxima aproximación a las costas de Ilo y mayor amplitud frente a Pisco (>200 mn). Valores <17 °C se ubicaron desde 11°S hasta 16°30'S, con mayor amplitud, hasta 90 mn frente a San Juan, presentando pequeños núcleos en sectores muy costeros frente a Pacasmayo, Salaverry-Chimbote y Supe-Quilca.

Por el sector oceánico, ocurrió el desplazamiento de la lengua cálida estacional con temperaturas >20 °C. La advección de estas aguas hacia las costas fue más intensa en Chicama, Chimbote y Atico con valores próximos a los 24 °C.

Las anomalías térmicas (ATSM) respecto a los promedios mensuales de REYNOLDS (1985) presentaron valores extremos entre +4° y -3,1 °C, con valores predominantes de +1 °C y -1,5 °C (Fig. 3). Los máximos valores positivos se registraron dentro de las 100 mn de Atico, asociados con la presencia de aguas cálidas. Las ATSM disminuyeron hacia el norte con dirección a la costa y presentaron valores ligeramente negativos en el sector oceánico y en las 60 mn (en promedio) adyacentes a las costas desde Supe hasta San Juan. En este último caso, los valores de anomalías (>-2°C) se asociaron a procesos de surgencia costera. En general, la carta de anomalías indica condiciones cercanas a lo normal hasta las 200 mn de la costa.

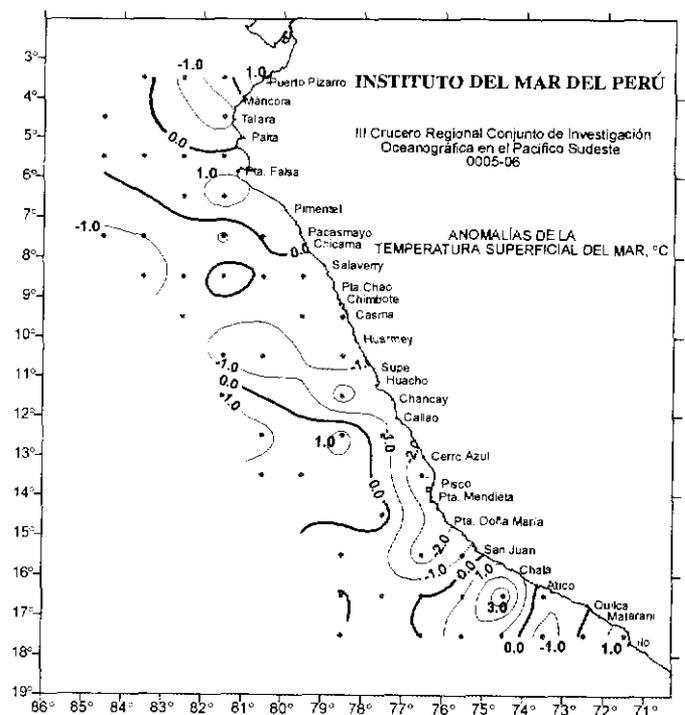


FIGURA 3. Anomalías Térmicas (°C) durante el Crucero Oceanográfico BIC Humboldt y BIC SNP-2 0005-06.

La salinidad superficial del mar (SSM) fue de 32,554 ups frente a Puerto Pizarro a 35,519 ups a 120 mn de San Juan. Masas de agua con valores propios de las Aguas Tropicales Superficiales (<33,7 ups) se hallaron de Máncora a la frontera norte, producto del aporte continental de las precipitaciones, descargas de ríos y de los sistemas estuarinos de la región (Fig. 4).

Las Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) de 33,7 a 34,8 ups se ubicaron de Máncora al norte. Las Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) se registraron por fuera de las 25 mn y tuvieron un núcleo de máxima de hasta 35,5 ups a 120 mn de San Juan. Las Aguas Costeras Frías (ACF) se presentaron dentro de las 60 mn en promedio desde Talara hasta Ilo.

Un frente halino se observó en el mar peruano y estuvo ubicado al norte de Talara por la concurrencia de las ATS, AES y ACF con un gradiente de 0,1 ups/6 mn. Remolinos y meandros se presentaron por fuera de las 100 mn de Chicama, Chimbote, San Juan y Atico por la interacción de masas de agua propias de la Corriente Costera Peruana (CCP) y de la presencia previa de masas de ASS.

### Distribución termohalina subsuperficial

#### Batimetría de las isotermas de 20 °C y 15 °C

La isoterma de 20 °C identifica la parte media de la termoclina en la zona al norte de los 6°S y está asociada a la base de la termoclina oceánica. En mayo del 2000 se le

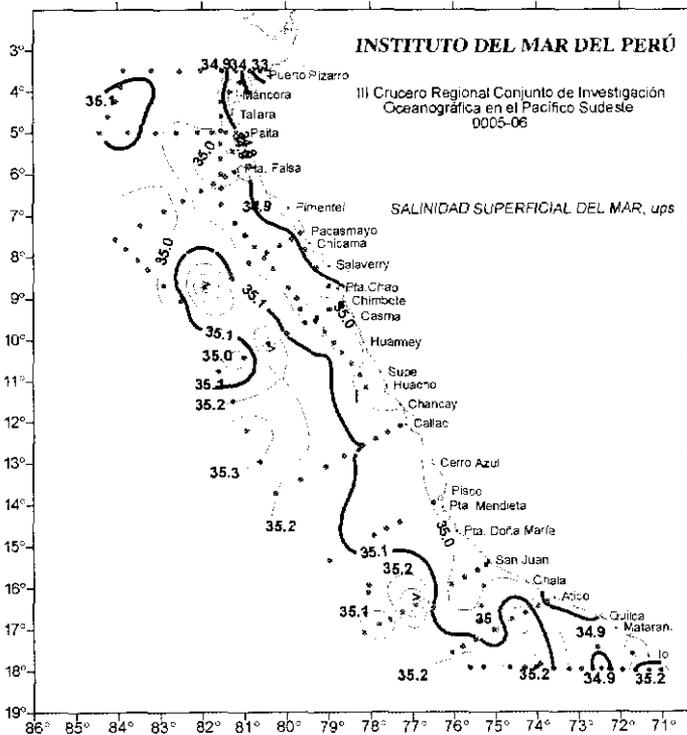


FIGURA 4. Distribución de la Salinidad Superficial del Mar (ups) en el mar peruano durante el Crucero Oceanográfico BIC Humboldt y BIC SNP -2 0005-06.

encontró de 10 a 50 m (Fig. 5). De los 16°S al sur, la profundidad de la isoterma de 20 °C aumentó por la influencia de las masas de aguas oceánicas; asimismo, las profundidades de 10 y 40 m en el sur indicaron la interacción de las ATSA (Aguas Templadas de la Subantártica) y ASS.

La isoterma de 15 °C se ubicó en la base de la termoclina, y en el margen costero del litoral norte se encontró a profundidades mayores de 180 m, disminuyendo a 100 m en Chicama (Fig. 6).

La depresión en el sector oceánico y en el norte está asociada con el calentamiento dado por las ASS y la ESCC, respectivamente. En la zona costera, y especialmente de Chicama a Ilo, la ubicación de la isoterma de 15 °C representa los procesos de surgencia de aguas subsuperficiales.

### Distribución vertical de la temperatura y salinidad

#### Zona Norte (Puerto Pizarro, Paita, Punta Falsa)

La estructura térmica en la zona norte se caracterizó por presentar en la capa más superficial una termoclina muy intensa por fuera de 60 mn (Punta Falsa), 90 mn (Paita) y 160 mn (Puerto Pizarro) sobre los 50, 55 y 60 m de profundidad, conformada por las isotermas de 15 °C-16 °C a 22 °C con un gradiente de 1 °C/4 m, 1 °C/8 m y 1 °C/3 m, respectivamente.

En la zona costera de Puerto Pizarro, la temperatura (Fig. 7a) mostró la presencia de aguas del norte de 21° a 24 °C sobre los 20 m de profundidad; por debajo, se presentó

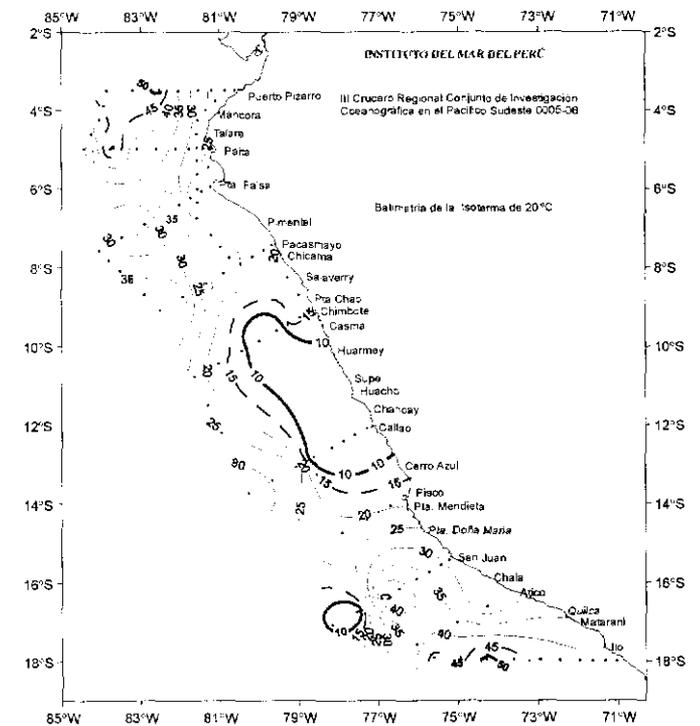


FIGURA 5. Profundidad (m) de la isoterma de 20 °C en el mar peruano. Crucero Oceanográfico BIC Humboldt y BIC SNP -2 0005-06.

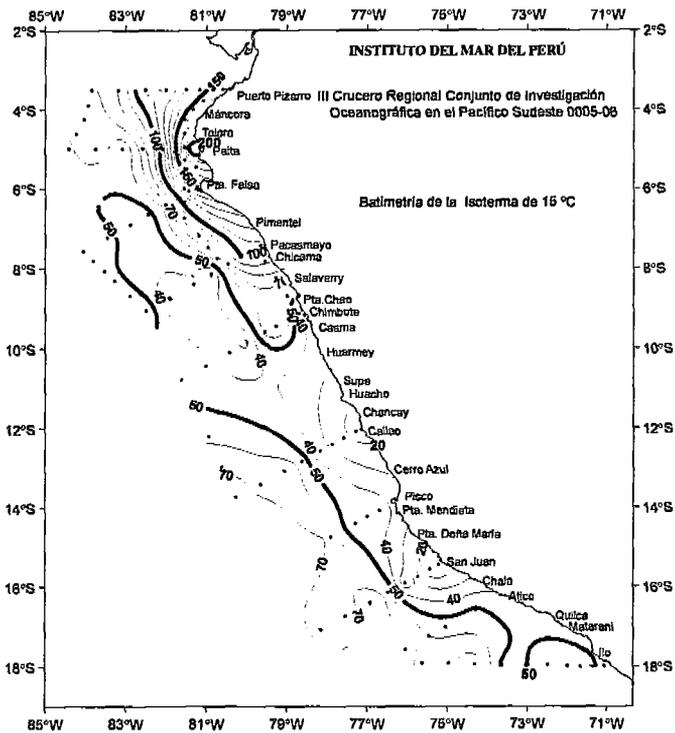


FIGURA 6. Profundidad (m) de la Isotherma de 15 °C en el mar peruano. Crucero Oceanográfico BIC Humboldt y BIC SNP -2 0005-06.

un estrato estable hasta los 100 m, donde se ubicó la isoterma de 15 °C que presentó una profundización hasta 145 m, por la presencia del ramal norte de la Corriente SurEcuatorial (CSE).

La estructura térmica frente a Paita (Fig. 7b) mostró dentro de las 90 mn la separación de las isotermas por la mezcla de las ACF y las ASS, y por la influencia de la CSE. Entre 80 m y 230 m se observó la profundización de las isotermas de 16° a 14°C, siendo ésta la sección donde se presentó la ESCC con mayor intensidad. Frente a Punta Falsa (Fig. 7c), la configuración térmica fue muy similar a la de Paita, aunque con procesos de mezcla y presencia de la CSE menos intensa que en los 5°S.

La isoterma de 15 °C se presentó a 60 mn de la costa, a una profundidad media de 130 m (Paita) y 100 m (Punta Falsa) siendo estos valores 58 m y 31 m más profundos que lo normal (ZUTA 1990).

El estrato por debajo de los 200 m fue muy estable frente a Puerto Pizarro y semejante en Paita y Punta Falsa, donde en el margen costero se apreciaron flujos hacia el norte.

La estructura halina frente a Puerto Pizarro indicó la presencia de ATS y AES sobre 25 m de profundidad y hasta 50 mn de la costa (Fig. 8a); y ACF con 35,0 ups por fuera de las 60 mn. Además, las ACF como una delgada capa superficial sobre los 30 m de profundidad y 90 mn de Paita (Fig. 8b), y hasta las 200 mn de Punta Falsa (Fig. 8c), con mínima de 34,8 ups en la sección. Por debajo de estas masas de agua y entre 25 y 120 m y desde 20 a 200 mn se apre-

ció un gran núcleo ASS de moderada intensidad (35,1 a 35,2 ups) frente a Puerto Pizarro que fue disminuyendo en amplitud e intensidad hacia los 6°S. Entre 100 y 300 m se apreció el aporte del Agua Ecuatorial Subsuperficial (AEES) que disminuyó hacia el sur (Fig. 8a).

### Zona Central (Chicama, Chimbote, Callao)

La estructura térmica en la zona centro mostró en la capa más superficial una termoclina fortalecida fuera de las 90 mn, conformada por las isotermas 15° a 22 °C (Chicama, Fig. 9a) y moderada (15°-20 °C) para Chimbote y Callao por encima de los 50, 40 y 80 m formando gradientes de 1 °C/4 m, 1 °C/5 m y 1 °C/10 m, respectivamente.

La configuración de la isoterma de 15 °C muestra que el límite sur de la CSE se ubicó frente a Chimbote (Fig. 9b) aproximándose a la superficie frente al Callao (Fig. 9c) influenciada por el proceso de afloramiento costero que se observó fortalecido a los 12°S. Esta isolínea se presentó en las 60 mn adyacentes a la costa a una profundidad media de 60 m (Chimbote) y 30 m (Callao), siendo 14 m menos profunda que lo normal (ZUTA 1990). Por debajo de los 200 m, la distribución de las isotermas fue más homogénea apreciándose el aporte de las aguas más frías de las Aguas Intermedias Antárticas (AIAA) en los niveles más profundos (Fig. 11b).

El campo halino en la zona central mostró la influencia de las ASS sobre los primeros 70 m en las tres secciones realizadas, notándose con mayor intensidad en el sector oceánico de Chicama (Fig. 10a) y sector costero de Callao (Fig. 10c), donde se presentaron máximas de 35,5 y 35,4 ups, respectivamente. En las proximidades al litoral ocurrieron ACF en Chicama con una mínima de 34,8 ups y ACF y Aguas de Mezcla (AM) en Chimbote (Fig. 10b) y Callao.

Entre 100 y 300 m, se presentó un flujo hacia el norte entre las 120 y 160 mn en las secciones de Chicama y Chimbote que estaría asociado a la mezcla de Aguas Templadas de la Subantártica (ATSA) que presentaron su límite sur a una profundidad de 100 m a 200 mn de Callao.

### Zona sur (Pisco, San Juan, Atico e Ilo)

De Pisco a Ilo (Fig. 11) se notó la capa de mezcla por fuera de las 170 mn en Ilo (Fig. 11d) y San Juan (Fig. 11b) con un espesor de 50 m (Ilo) y 35 m (San Juan). La estructura termohalina tuvo una distribución muy compleja debido a la interacción de ACF, ASAA y ASS, con la base de la termoclina costera (15° C) aflorando a la superficie en San Juan, a diferencia de las secciones de Pisco e Ilo, donde afloró la base de la termoclina oceánica.

En Pisco (Fig. 11a), la distribución vertical de las isotermas estuvo formada por una débil termoclina en los 60 m más superficiales de toda la sección, y presentó homogeneidad de los 100 m a 500 m observados. Este estrato presentó la divergencia de las isotermas de 13-14 °C (Pisco y

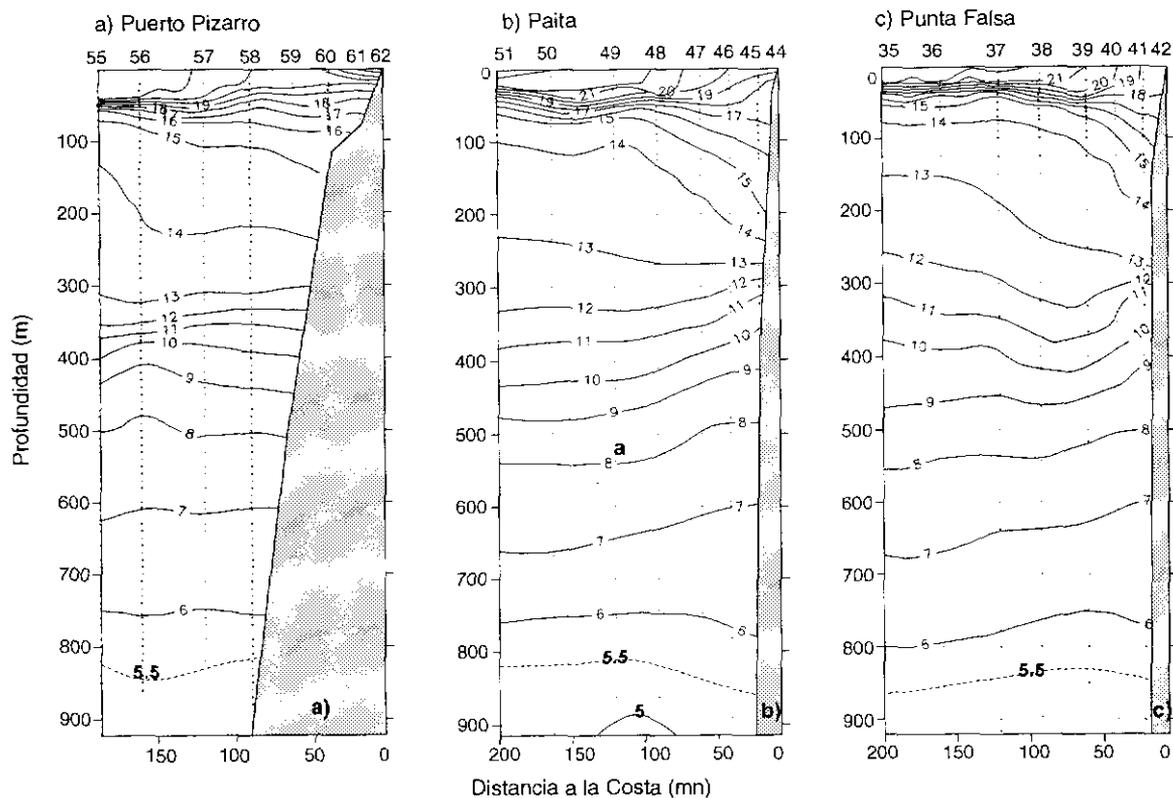


FIGURA 7. Distribución Vertical de la Temperatura (°C) en (a) Puerto Pizarro (22-23/05/2000); (b) Paita (20-22/05/2000) y (c) Punta Falsa (18-20/05/2000) Crucero Oceanográfico 0005-06.

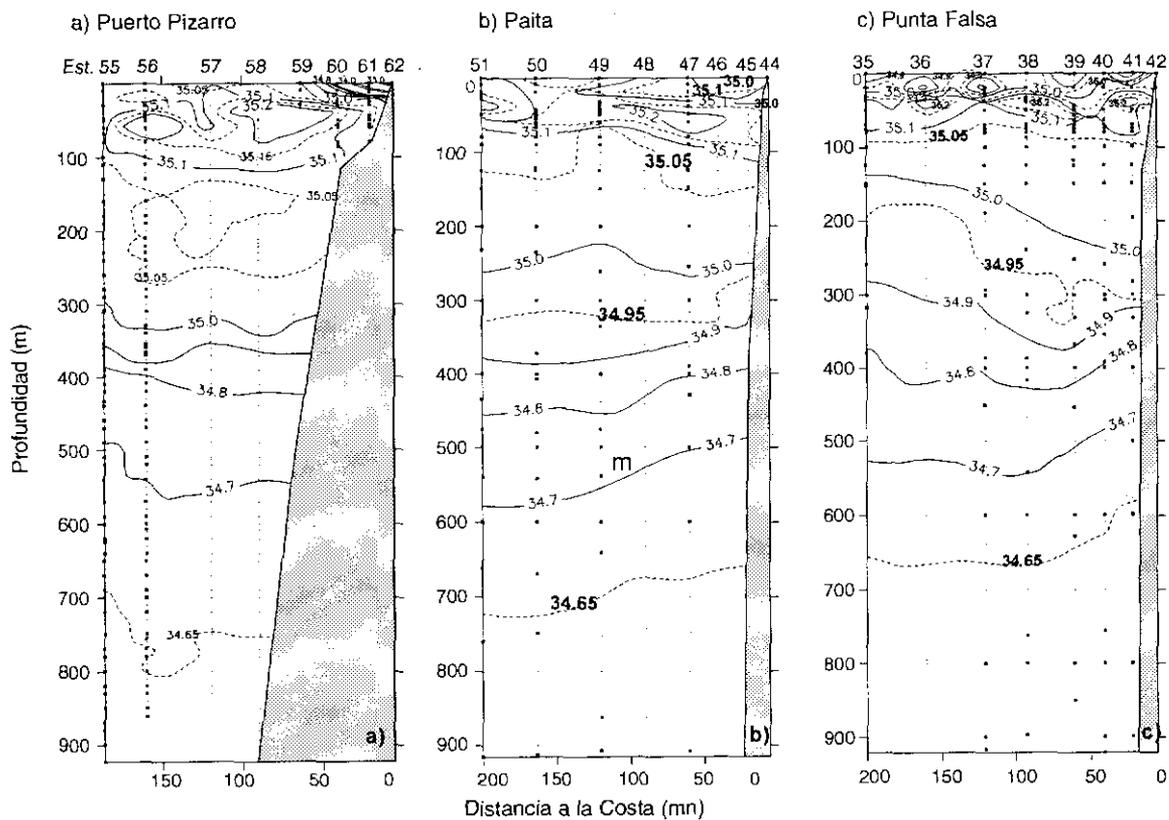


FIGURA 8. Distribución Vertical de la Salinidad (ups) en (a) Puerto Pizarro (22-23/05/2000); (b) Paita (20-22/05/2000) y (c) Punta Falsa (18-20/05/2000) durante el Crucero Oceanográfico 0005-06.

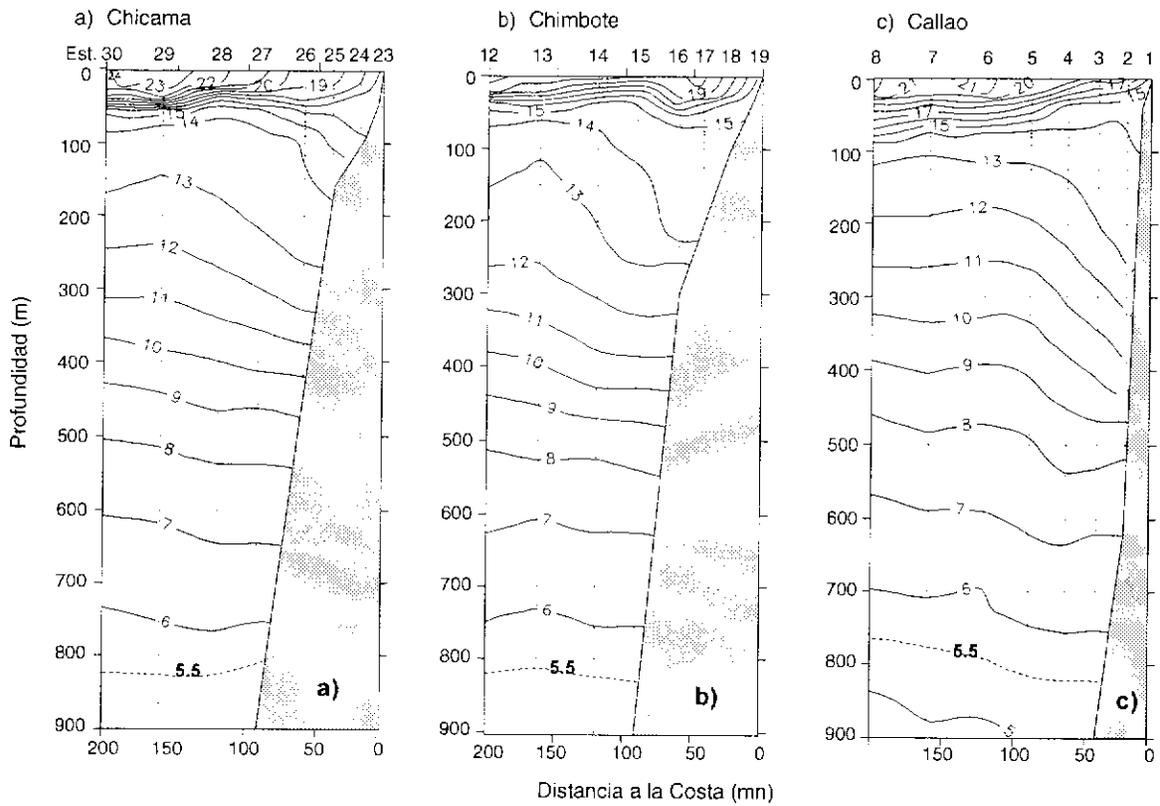


FIGURA 9. Distribución Vertical de la Temperatura (°C) en: (a) Chicama (17-18/05/2000), b) Chimbote (15-16/05/2000) y c) Callao (13-14/05/2000) Crucero Oceanográfico 0005-06.

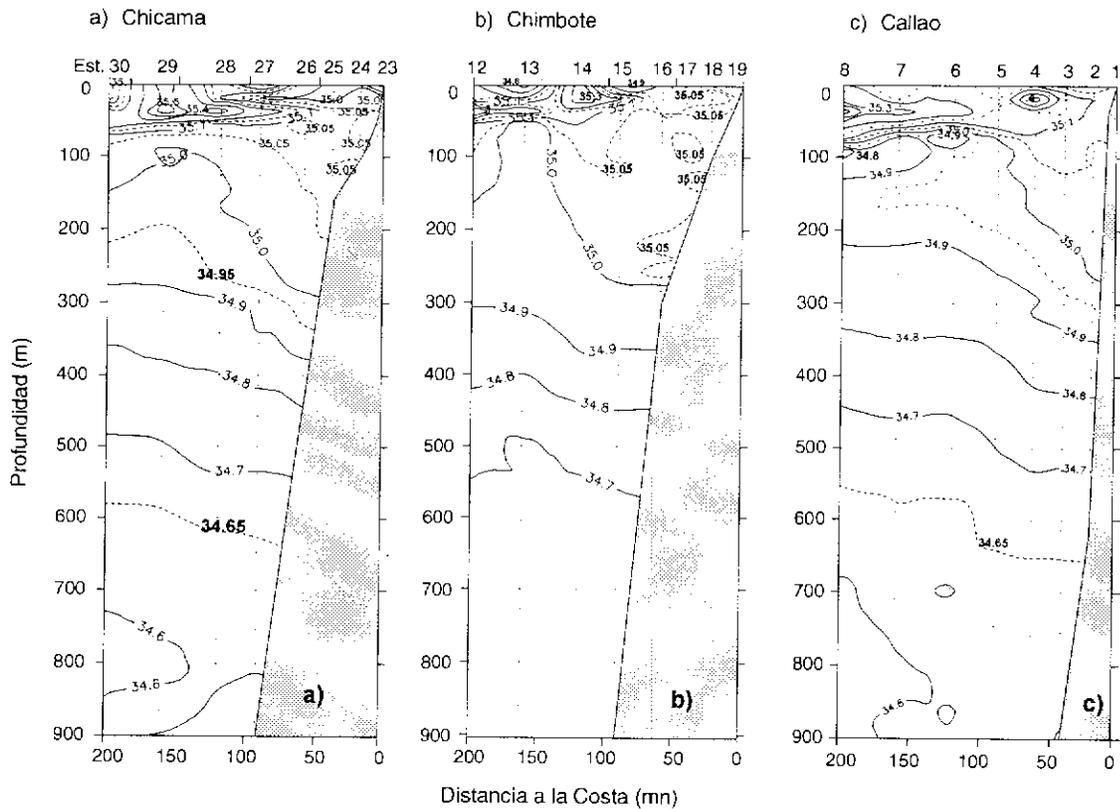


FIGURA 10. Distribución Vertical de la Salinidad (ups) (a) Chicama (17-18/05/2000), (b) Chimbote (15-16/05/2000), y (c) Callao (13-14/05/2000). Crucero Oceanográfico 0005-06.

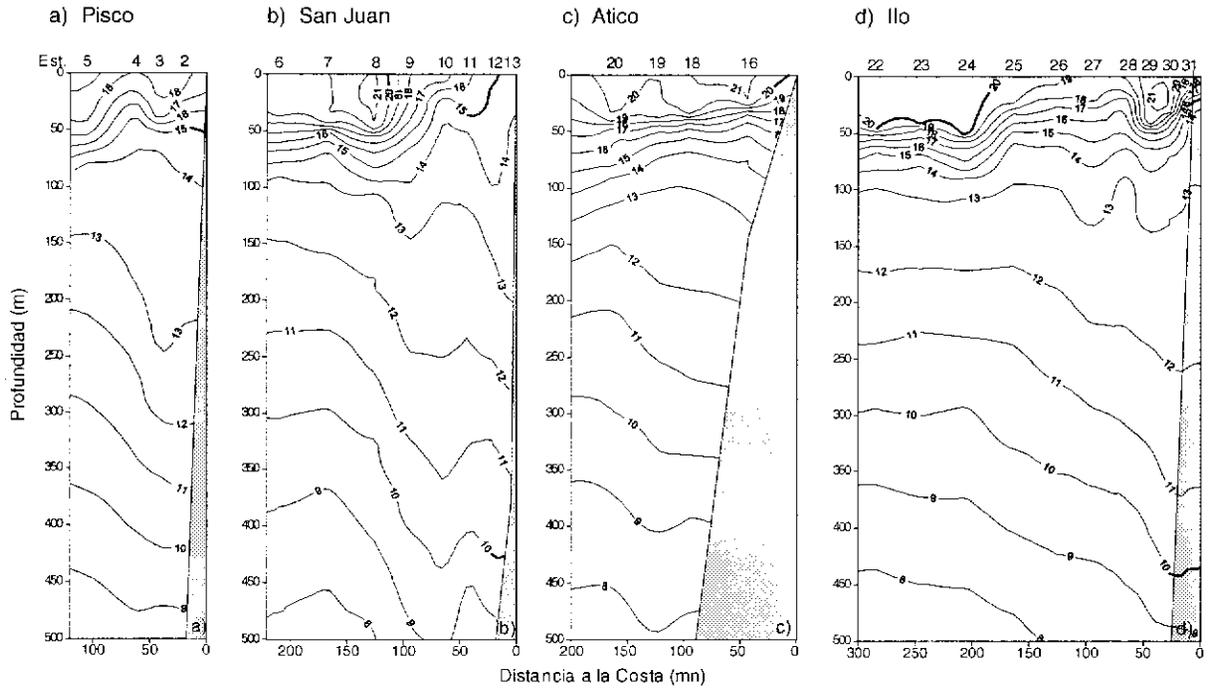


FIGURA 11. Distribución Vertical de la Temperatura (°C) (a) Pisco (31/05/2000), (b) San Juan (29-31/05/2000). (c) Atico (18-28/05/2000) y (d) Ilo (27-28/05/00). Crucero Oceanográfico 0005-06.

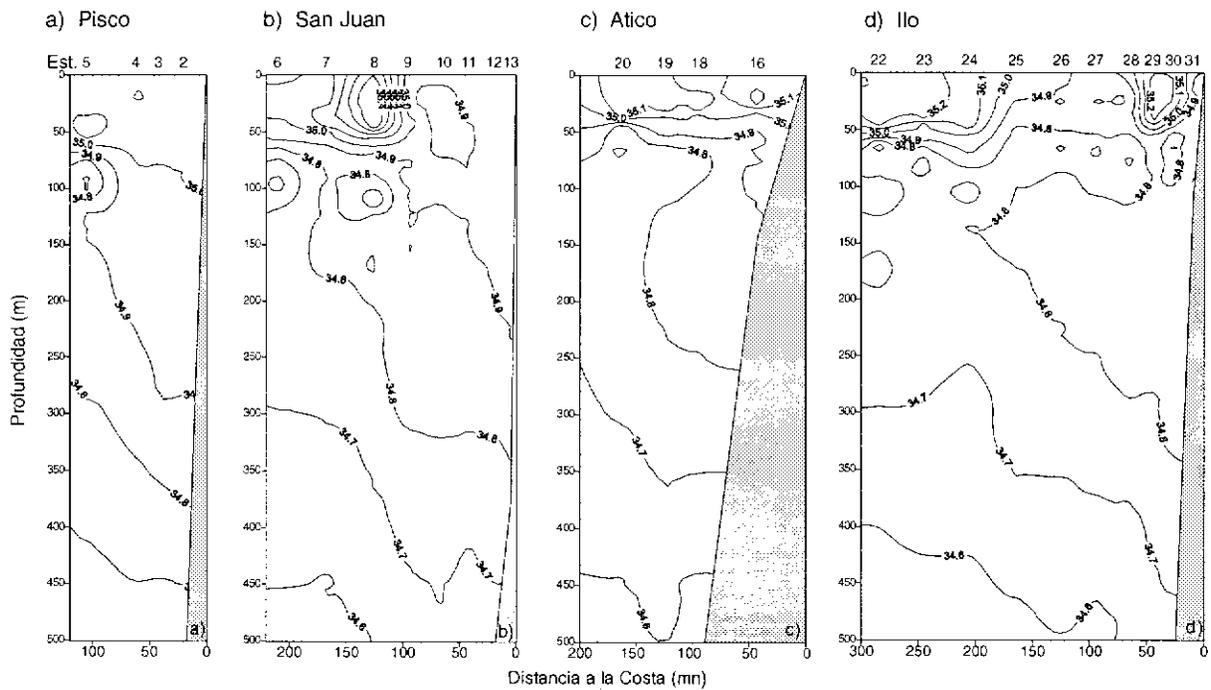


FIGURA 12. Distribución Vertical de la Salinidad (ups) (a) Pisco (31/05/2000), (b) San Juan (29-31/05/2000). (c) Atico (18,28/05/2000) y (d) Ilo (27-28/05/00). Crucero Oceanográfico 0005-06.

San Juan), con hundimiento de isotermas de 14 °C a 10 °C en Pisco y San Juan, y, de 12 °C a 10 °C en Ilo, indicando la presencia de flujos hacia el sur. GRADOS (1989) señala que la divergencia de isotermas a profundidades de 100 m en el zócalo continental, podría deberse a remolinos propios de la dinámica del extremo sur del Perú. Asimismo, se apreciaron flujos subsuperficiales hacia el norte a 100 mn de Pisco (Fig. 12a), 40 y 160 mn de San Juan (Fig. 12b) y Atico (Fig. 12c) y a 200 mn de Ilo (Fig. 12d), asociados con aguas procedentes del borde norte de la Subantártica con valores mínimos de salinidad de 34,6 y 34,7 ups y relativamente altas concentraciones de oxígeno ubicados alrededor de 100 m de profundidad.

### Masas de agua

Los diagramas Temperatura-Salinidad (T-S) (Fig. 13) ilustran las principales masas de agua asociadas con las corrientes marinas del Perú hasta 900 m de profundidad. En mayo 2000 se presentaron ATS, AES, ASS y ACF en las capas más superficiales, en tanto que, en subsuperficie ocurrieron AESS, ASAA, Aguas Templadas de la Subantártica (ATSA) y AIAA.

Las ATS presentaron 22° a 25°C y >33,0 ups, con un espesor menor a 25 m de profundidad. En la región, su límite sur ocurrió hasta 4°S, siendo esto normal.

Las AES con 20° a 24 °C y 33,8 a 34,7 ups ocurrieron debajo de las ATS sobre los 25 m de profundidad y se presentaron hasta los 4°S.

En la zona costera prevalecieron las ACF con 14 °C a 18°-19 °C y de 34,8-34,9 ups a 35,1 ups. Los mínimos valores halinos (34,7 ups) observados en la zona sur se asociaron al afloramiento de ATSA al sur de 15°S, y pueden presentarse aun más al norte según la intensidad del flujo de las aguas procedentes del borde norte de la Subantártica que afloran a la superficie. En mayo 2000, las ACF tuvieron mayor presencia en la costa central.

Aguas oceánicas (T>20°C y S >35,1 ups) ocurrieron desde sectores oceánicos en el norte para aproximarse a la costa hacia el sur y llegar al litoral en Ilo. Esta masa de agua tuvo la máxima intensidad (35,5 ups), espesor (100 m) y amplitud en Puerto Pizarro. A 150 mn de Chicama y a 120 mn de San Juan se apreciaron tenores de 35,4 ups con un espesor de 50 m.

En subsuperficie, se presentaron las AESS entre 50 y 300 m, con un espesor que disminuyó hacia el sur. En el norte, se identificaron con 15°-13 °C y 35,1 a 34,9 ups. Esta agua homotérmica, de relativa salinidad y alto contenido de oxígeno se observó (Fig. 13b) como una línea recta debajo de las capas más superficiales que, en su desplazamiento hacia el sur, al interactuar con las aguas procedentes del sur, disminuyeron sus tenores de salinidad y oxígeno.

Las ATSA destacaron en la base de la termoclina subsuperficial permanente de Callao al sur (Fig. 11) y en todas las secciones del sur y sobre 150 m de profundidad,

ahondándose mar afuera; se caracterizaron por un mínimo de salinidad sobre las AESS (Fig.12). Presentaron 34,9 a 34,6 ups y 15 °C a 12 °C.

Las AIAA (Fig. 13b) se presentaron debajo de 600-700 m de profundidad con valores >7°C y 34,6 a 34,45 ups y se distinguieron por un mínimo de salinidad.

### Extensión Sur de la Corriente de Cromwell (ESCC)

En mayo 2000, la ESCC se desplazó hasta Chimbote, a diferencia de 1999, cuando se observó hasta Punta Falsa. En las secciones de Puerto Pizarro, Paita y hasta Chimbote se notó la influencia de la ESCC entre los 60 y 200 m de profundidad y hasta 90 mn de la costa, debilitándose hacia el sur. En esta capa de agua, se presentaron altos valores de oxígeno de 1,0 a 2,0 mLxL<sup>-1</sup> en gran amplitud en Puerto Pizarro (FLORES *et al.* este informe). En Paita, la ESCC estuvo muy fortalecida para el período con valores de oxígeno de 1 a 2 mLxL<sup>-1</sup> que alcanzaron 320 m de profundidad.

### DISCUSIÓN

Las condiciones ambientales, de normales a moderadamente frías, que ocurrieron en 1999, favorecieron la activación del afloramiento de aguas subsuperficiales ricas en nutrientes y determinaron áreas propicias para la distribución y desarrollo de algunas especies marinas.

Así, a mediados de la primavera 1999, cuando la variación del ambiente indicaba condiciones muy cercanas a lo normal, se produjo el fortalecimiento de los vientos alisios reactivando la surgencia costera e incrementando las ATSM. Así, las medias mensuales de la TSM, ATSM y SSM de noviembre 1999, indicaron que el borde exterior de las ACF (18 °C) tuvieron máxima amplitud en Paita (100 mn), Pimentel y Callao (hasta 70 mn) con focos de surgencia en Chancay, San Juan e Ilo.

De diciembre 1999 a abril del 2000 (GRADOS y BOUCHON 2000), se apreciaron condiciones ambientales normales con calentamientos de carácter temporal a mediados del verano por el acercamiento de aguas del oeste (VÁSQUEZ y TELLO 2000), lo que favoreció la mayor disponibilidad del recurso pelágico. GRADOS y BOUCHON (2000) señalan que en los primeros cinco meses del 2000, los desembarques de los principales recursos pelágicos en toda la costa peruana totalizaron 4,5 millones de toneladas, siendo el mayor aporte de anchoveta con 4,2 millones de toneladas (94,6%) que mostraron buenos rendimientos especialmente en marzo, cuando se observó una de las capturas más altas de los últimos veinticinco años.

A nivel de macroescala, en abril 2000 (BAC No. 115), los vientos fueron ligeramente más intensos sobre la región, en consistencia con el incremento del IOS a 1,2 para disminuir a 0,2 en mayo debido a la persistencia de vientos ecuatoriales del este, más intensos por el incremento de la PAS en el Pacífico Oriental. En mayo, la CPPS (BAC No.

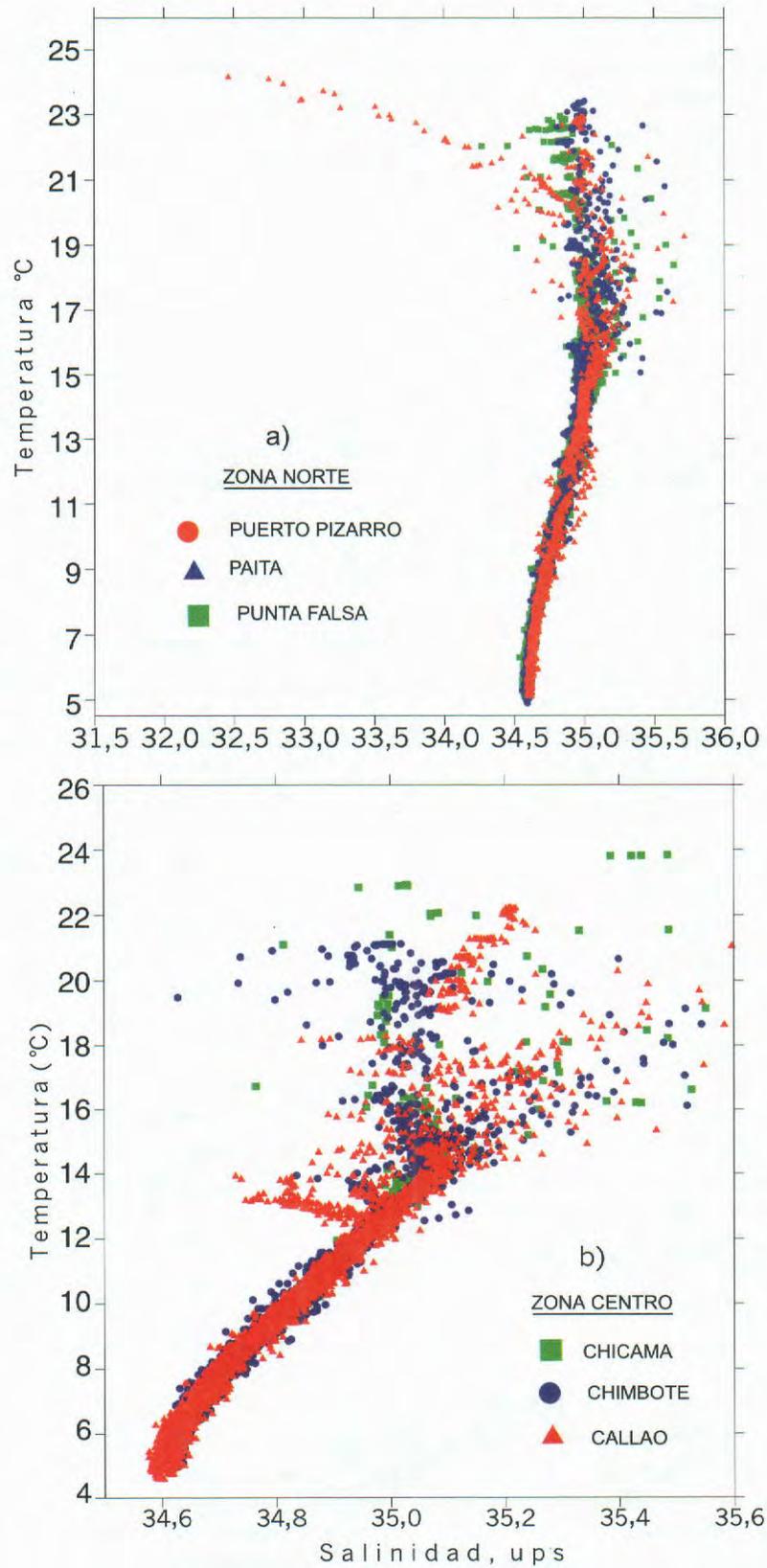


FIGURA 13. Diagrama de T-S frente a la costa peruana durante mayo 2000. Crucero Oceanográfico 0005-06: (a) Zona Norte, (b) Zona Centro.

116) indicó que el Pacífico Ecuatorial continuó mostrando una tendencia generalizada a la reducción de las anomalías negativas de la TSM, con parches de aguas cálidas que se observaron los meses anteriores y que continuaron perdiendo intensidad y extensión en las regiones Niño 3.4 y Niño-4. Asimismo, la variable atmosférica ZCIT, apareció bien configurada para el mes y se localizó entre 7°N y 10°N, mientras que a nivel subsuperficial, la termoclina ecuatorial en el Pacífico Oriental se ubicó a niveles normales (75 m).

Estos hechos indican que el sistema de corrientes ecuatoriales en el Pacífico Oriental tuvo condiciones normales en mayo 2000, y al estar asociadas al sistema de corrientes hacia los polos que son dominantes bajo las capas superficiales en el Perú y norte de Chile, influyeron en la presencia de condiciones ambientales casi normales en el mar peruano a mediados de otoño 2000. BRINK *et al.* (1983) demostraron que gran parte del flujo a 100 mn cerca de las costas del Perú se dirige hacia los polos, lo que incluso se cumple sobre el zócalo, donde la deriva de los vientos y el afloramiento hacia el Ecuador está confinado a niveles de 50 m de profundidad. En mayo 2000, la configuración de las isoterms subsuperficiales denotan estos hechos con procesos de surgencia sobre los 80 m de profundidad.

En mayo 2000, la CSE o ESCC se presentó ligeramente fortalecida para la época. LUKAS (1986), KNAUSS (1960) y WOOSTER y GILMARTIN (1961) mencionan que el ramal costero tiene un máximo superficial a 4°S y un máximo subsuperficial a 6°S y es el origen de la CSP o Corriente de Gunther o ESCC que fluye paralela al zócalo continental a 5 y 25 mn mar afuera a 5 y 10 cm/s entre 50 y 300 m de profundidad. El segundo ramal fluye al sureste de las islas Galápagos y se ubica a 50-150 mn alrededor de 6°-7°S formando la Contracorriente Peruano-Chilena (CCPC) que prevalece hasta 35°-40°S (STRUB *et al.* 1996) siendo máxima en la primavera y mínima en otoño y al parecer, no se observó durante el crucero, según la información disponible.

La información analizada da cuenta que durante el otoño de 2000, no se presentó el evento "La Niña" en el Perú, sino condiciones casi normales que prevalecieron casi todo el año.

Se ha visto entonces, que los eventos cálidos y fríos del ciclo ENOS son muy irregulares en términos de frecuencia, duración y amplitud a macroescala y a mesoescala. En base a ello, MCPHADEN (1999) señala que estas variaciones pueden atribuirse a la interacción no-lineal de la variabilidad de alta frecuencia del clima con la dinámica del océano-atmósfera de baja frecuencia. Aún no son suficientes los esfuerzos internacionales para predecir el clima. Se espera, sin embargo, que la información obtenida en los últimos años y las nuevas tecnologías permitan conocer mejor la dinámica del clima para, finalmente, mejorar los modelos de pronóstico. En este marco, los cruceros regionales son un aporte valioso para comprender los mecanismos e interrelaciones de la oceanografía global con la dinámica regional.

## CONCLUSIONES

1.- En mayo 2000, el ambiente marino frente al Perú presentó condiciones casi-normales con anomalías predominantes de +1°C a -0,5°C.

2.- La temperatura superficial del mar estuvo comprendida entre 14,3°C y 25,7°C (en Punta Mendieta y a 10 mn de Puerto Pizarro).

3.- La salinidad superficial presentó valores de 32,554 ups a 35,519 ups con presencia de masas de agua de ATS, AES, ASS, ACF y de mezcla.

4.- La ESCC estuvo ligeramente fortalecida para el período, y tuvo su límite sur en Chicama.

5.- Procesos de surgencia costera se apreciaron de Chicama a Chimbote (dentro de las 40 mn de la costa) y entre Callao e Ilo. Valores menores de 18°C se ubicaron en sectores costeros dentro de las 60 mn indicando la zonas de surgencia costera.

## Referencias

- BRINK, K., D. HALPERN, A. HUYER y R. SMITH. 1983. The Physical Environment of the Peruvian Upwelling System. *Progr. Oceanogr.*, 12, pp.:285-305.
- CPPS, 2000. Boletín de Alerta Climática, No. 115 y 116.
- GRADOS, C. 1989. Variabilidad del Régimen Hídrico del Codo Peruano-Chileno. Memorias del Simposio Internacional de los Recursos Vivos y las Pesquerías en el Pacífico Sudeste. Viña del Mar, 9-13 mayo, 1988. Comisión Permanente del Pacífico Sur, Rev. Pacífico Sur (Número Especial).
- GRADOS, C. 2000. Aspectos Oceanográficos del sistema de Humboldt en el Perú de 1999 a marzo del 2000. Informe Interno.
- GRADOS, C. y M. BOUCHON. 2000. Aspectos Oceanográficos del Sistema de Humboldt en el Perú durante 1999 y 2000 y la Pesquería Pelágica. Informe interno.
- GUILLÉN, O., y R. CALIENES. 1981. Upwelling off Chimbote. In Coastal Upwelling, FA Richards, ed., AGU, Washington DC:312-326.
- IMARPE. 1999. II Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudeste. Informe Ejecutivo.
- IMARPE. 2000. III Crucero Regional Conjunto de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sudeste. Informe Ejecutivo.
- KNAUSS, J. 1960. Measurements of the Cromwell Current. *Deep-Sea Research.* 6; pp.:265-285.
- LUKAS, R. 1986. The Termination of the Equatorial Undercurrent in the Eastern Pacific. *Progs. Oceanogr.*, 16, 63-90.
- MCPHADEN, M. 1999. Genesis and Evolution of the 1997-1998 El Niño. *Science* 283:950-954.
- MORÓN, O. y C. ROBLES. 2001. Aspectos hidroquímicos durante la evaluación de la merluza peruana en el otoño 2000. *Inf. Inst. Mar Perú* 160: 99-106.
- REYNOLDS, R. 1985. A monthly average climatology of sea surface temperature. Technical Report, NWS 31/NMC/NOAA.
- STRUB, P., J. MESIAS y C. JAMES. 1995. Altimeter observations off the Peru-Chile Countercurrent. *Geophysics Res. Lett.*, 22 (3), 211-214.
- STRUB, T., J. MESIAS, V. MONTECINO, J. RUTLLANT y S. SALINAS. 1996. Coastal Ocean Circulation off Western South America. *The Sea*, Vol. 10B.
- VASQUEZ, L. y E. TELLO. 2000. Condiciones Oceanográficas durante el Crucero BIC José Olaya 0002-04 de Evaluación Hi-

droacústica de Recursos Pelágicos. Informe Interno, IMARPE.

WOOSTER, S. y M. GILMARTIN. 1961. The Peru-Chile Undercurrent. *Journal of Marine Research*. 19(3):97-122.

ZUTA, S., I. TSUKAYAMA y R. VILLANUEVA. 1983. El ambiente marino y las fluctuaciones de las principales poblaciones pelágicas de la costa peruana. En: Proceedings of the Expert Consultation to examine changes in abundance and species of neritic fish resources. San José, Costa Rica, 18-29 April, 1983. A preparatory meeting for the FAO

World Conference on Fisheries Management and development. Sharp, and CSIRKE (eds.), FAO Fish.Rep./FAO. Inf. Pesca, (291) Vol.2: 553 pp.

ZUTA, S. 1990. Variations of the Mass Field and Currents off the Peru Coast. Bol. No. 33, International Oceanographic Commission, UNESCO.

ZUTA, S., y W. URQUIZO. 1972. Temperatura promedio de la superficie del mar frente a la costa peruana. Período 1928-1969. *Boletín Inst. Mar Perú* 2(8):459-520