



BOLETIN

IMARPE
Instituto del Mar del Perú

Vol. 19 / Nos. 1 y 2 / Diciembre 2000

TRABAJOS EXPUESTOS EN EL TALLER INTERNACIONAL SOBRE LA ANCHOVETA PERUANA (TIAP). 9-12 MAYO 2000. IMARPE.

BREVE REVISIÓN DE LOS CAMBIOS EN EL DESOVE DE LA ANCHOVETA PERUANA ENTRE 1966 Y 1999	
<i>Soledad Guzmán Cárdenas</i>	1
EL MÉTODO DE PRODUCCIÓN DIARIA DE HUEVOS EN LA ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA DESOVANTE DEL STOCK NORTE-CENTRO DE LA ANCHOVETA PERUANA	
<i>Patricia Ayón Dejo</i>	7
INTERACCIÓN TRÓFICA MERLUZA-ANCHOVETA: ¿EXISTE REALMENTE IMPACTO POR PREDACIÓN?	
<i>Pepe Espinoza</i>	15
CAMBIOS EN LA DIETA DE LA ANCHOVETA <i>ENGRAULIS RINGENS</i> Y SU INFLUENCIA EN LA DINÁMICA DE ALIMENTACIÓN	
<i>Pepe Espinoza y Verónica Blaskovic'</i>	21
VARIACIÓN ESTACIONAL E INTERANUAL DE LA BIOMASA FITOPLANCTÓNICA Y CONCENTRACIONES DE CLOROFILA A, FRENTE A LA COSTA PERUANA DURANTE 1976 - 2000	
<i>Sonia Sánchez Ramírez</i>	29
ASPECTOS REPRODUCTIVOS DE LA ANCHOVETA PERUANA DURANTE EL PERÍODO 1992 - 2000	
<i>Betsy Buitrón D. y Angel Perea M.</i>	45

2707
45
8, 108

CALLAO, PERÚ

DISTRIBUCIÓN HORIZONTAL DE LA ANCHOVETA PERUANA CON RELACIÓN A VARIABLES AMBIENTALES EN EL PERÍODO 1986 - 2000	
<i>Marceliano Segura Zamudio</i>	55
LAS OPERACIONES EUREKA: UNA APROXIMACIÓN A LA ABUNDANCIA DE ANCHOVETA EN EL PERÍODO 1966 - 1982	
<i>Mariano Gutiérrez T., Miguel Ñiquen, Salvador Peraltilla N. y Naldí Herrera A</i>	83
ANÁLISIS DE LA POBLACIÓN DE ANCHOVETA PERUANA DURANTE EL PERÍODO 1961 - 1999	
<i>Miguel Ñiquen C., Marco Espino S. y Marilú Bouchon C.</i>	103
CAPTURA Y ESFUERZO PESQUERO DE LA PESQUERÍA DE ANCHOVETA PERUANA (<i>ENGRAULIS RINGENS</i>)	
<i>Marilú Bouchon C., Sandra Cahuín V., Erich Díaz A. y Miguel Ñiquen C.</i>	109
PESQUERÍA DE ANCHOVETA EN EL MAR PERUANO. 1950 - 1999	
<i>Miguel Ñiquen C., Marilú Bouchon C., Sandra Cahuín V. y Erich Díaz A.</i>	117
ABUNDANCIA DE AVES GUANERAS Y SU RELACIÓN CON LA PESQUERÍA DE ANCHOVETA PERUANA DE 1953 A 1999	
<i>Elisa Goya Sueyoshi</i>	125
LOS LOBOS MARINOS Y SU RELACIÓN CON LA ABUNDANCIA DE LA ANCHOVETA PERUANA DURANTE 1979 - 2000	
<i>Milena Arias-Schreiber</i>	133
ESTIMADOS DE BIOMASA HIDROACÚSTICA DE LOS CUATRO PRINCIPALES RECURSOS PELÁGICOS EN EL MAR PERUANO DURANTE 1983 - 2000	
<i>Mariano Gutiérrez Torero</i>	139
VARIACIONES ESTACIONALES EN LA DISTRIBUCIÓN Y BIOMASA DE ANCHOVETA ENTRE 1983 Y 2000	
<i>Francisco Ganoza Ch., Pedro R. Castillo V. y Dora Marín S.</i>	157
CARACTERÍSTICAS DEL AMBIENTE MARINO FRENTE A LA COSTA PERUANA	
<i>Octavio Morón Antonio</i>	179

CARACTERÍSTICAS DEL AMBIENTE MARINO FRENTE A LA COSTA PERUANA

Octavio Morón Antonio¹

RESUMEN

MORÓN, O. 2000. Características del ambiente marino frente a la costa peruana. Bol. Inst. Mar Perú 19(1-2): 179-204.

El ambiente marino frente al Perú es modificado considerablemente por eventos trascendentes de características opuestas: El Niño y La Niña, los mismos que se presentan alternadamente, con diferente intensidad y duración. La temperatura presenta sus máximos y mínimos valores en verano e invierno, respectivamente; ambos extremos de la salinidad se registran en el verano; los nutrientes presentan sus mínimos valores en verano y máximos en el invierno, intensificándose el afloramiento.

Frente a la costa peruana se presentan masas de aguas superficiales y subsuperficiales procedentes de la región subtropical, tropical, ecuatorial y de la región subantártica. La Corriente Peruana, se subdivide en Corriente Costera Peruana y Corriente Oceánica Peruana. En la capa subsuperficial se presentan la Corriente Peruana Subsuperficial y la Extensión Sur de la Corriente de Cromwell.

El afloramiento, mecanismo esencial de la alta producción marina, se produce sobre todo en las zonas de los 4-5°S, 7-8°S, 11-12°S y 14-15°S. Durante las últimas tres décadas tres eventos El Niño y dos Niñas de gran intensidad han afectado severamente el ecosistema marino peruano.

PALABRAS CLAVE: El Niño, La Niña, afloramiento, temperatura, salinidad, nutrientes, mar peruano.

ABSTRACT

MORÓN O. 2000. Characteristics of the marine environment in front of Peruvian coast. Bol. Inst. Mar Perú 19(1-2): 179-202.

The characteristics of Peruvian marine environment, are considerably modified with the presence of two main events of opposed features: El Niño and La Niña, which occurs alternately, with different intensity and duration. The temperature has its maximum values during summer, and minimum during winter; both extreme salinity values are registered in summer; the lowest nutrient values are shown in summer, and the highest in winter, when the upwelling intensification is recorded. All these characteristics change considerably

Surface and subsurface waters are present off the Peruvian coast, coming from the subtropical, tropical, equatorial and subantarctic regions. The Peruvian Current is divided in the Peruvian Coastal Current and the Peruvian Oceanic Current; in the Subsurface layer the Peruvian Subsurface Current and the Southern Extension of the Cromwell Current are present.

The upwelling, essential mechanism of the high biotic production is mainly important into the zones of 4-5°S, 7-8°S, 11-12° S and 14-15°S. During the last three decades, three El Niño events and two "Niñas" of great intensity have strongly affected the Peruvian marine ecosystem.

KEY WORDS: El Niño, upwelling, salinity, nutrients, subtropical region, ecosystem.

INTRODUCCIÓN

El área marina frente a la costa peruana presenta características muy particulares, originadas principalmente por el complejo sistema de corrientes superficiales y subsuperficiales, asociadas a la variación zonal y temporal de los afloramientos costeros, los mismos que son favorecidos por la intensificación de los vientos alisios del sur.

Estas características particulares pueden cambiar drásticamente por la presencia de los eventos cálidos El Niño (EN) que, según su intensidad, pueden originar anomalías térmicas de hasta +10 °C sobre el promedio multianual, como ha sucedido en los EN 1982-83 y 1997-98, acarreando efectos desastrosos, principalmente en la pesquería y en el clima continental, desatándose grandes inundaciones por exceso de lluvias.

Los efectos de los eventos fríos o "La Niña" son opuestos a los EN, debido a que las aguas frías del afloramiento, ricas en nutrientes, fertilizan el medio, elevando la productividad biótica, posibilitando el desarrollo de grandes poblaciones de peces, ampliándose las zonas de alta producción, principalmente de la anchoveta, especie que sustenta la pesquería más importante del país. Por otro lado, afecta al continente con temperaturas muy bajas, principalmente en el invierno.

El presente trabajo trata de resumir las principales características del ambiente marino frente a la costa peruana, en base a cartas promedio mensuales y estacionales de los principales parámetros oceanográficos. Se tratan especialmente los eventos cálidos y fríos de mayor repercusión en el Pacífico Oriental, haciendo referencia a las fronteras físicas en las que se encuentran enmarcadas las

aguas del mar peruano, así como también a los vientos predominantes.

FRONTERAS FÍSICAS DEL OCEANO FRENTE AL PERÚ

Línea costera actual del Perú

En todas las costas del mundo, la línea costera es el resultado de transgresiones y regresiones marinas a través de la historia geológica, las mismas que han configurado el perfil actual que determina la línea de costa. En el Perú se sitúa entre la latitud 3°24'S, que corresponde a la línea fronteriza con Ecuador (Punta Capones); y 18°20,8'S, línea fronteriza con Chile (Hito Concordia); su extensión alcanza algo más de 1.200 mn (Fig. 1).

La orientación de la línea costera varía entre el S y SE, a excepción de una pequeña porción al norte de Cabo Blanco, que presenta orientación SO. Al sur de los 6°S la línea costera es aproximadamente paralela a la dirección de los vientos alisios del SE, especialmente al sur de Pisco, lo que es importante para la producción del afloramiento costero y la orientación de la Corriente Costera Peruana.

Aspectos topográficos del mar peruano

La Plataforma Continental se encuentra bien delimitada por la isóbata de 100 bz. Presenta pendientes suaves, de vida abundante y variada. La zona más ancha (65 mn) se ubica entre 7°S y 10°S; las más angostas (3-5 mn) se encuentran al sur de los 15°S y al norte de los 7°S.

Otro aspecto importante de la topografía es la *Fosa Peruana*, que presenta su eje entre las 40 y 140 mn de la línea costera, con profundidad aproximada de 3.350 bz, aumentando ésta al sur de los 17°S, donde supera las 3,660 bz. La Fosa Peruana



FIGURA 1. Fronteras físicas del mar peruano.

presenta un mayor acercamiento a la costa a los 6°S (aproximadamente 40 mn) y 15°S (aprox. 45 mn) y su mayor distanciamiento a los 9°S (aprox. 120 mn) y 17° S (aprox. 85 mn).

La *Cordillera Sumergida de Nazca*, con su eje aproximadamente perpendicular a la línea costera frente a Punta Doña María (14°45'S), se aproxima hasta 50 millas de la costa entre Punta Infiernillos (14°45'S) y San Juan (15°20'S); la parte más alta de esta cordillera está cerca de los 850 m de la superficie del mar, alrededor de 400 mn de la costa peruana.

Con respecto al tipo de *sedimento del fondo*, DELGADO *et al.* (1987) describen que los sedimentos arenosos predominan en la mayor parte de la amplia plataforma entre 7°S y 10°30'S, y forman parches costeros hacia el sur. La arcilla limosa cubre casi todo el talud continental y gran parte de la plataforma al sur de los 10°30' S, al norte de esta latitud forma algunos parches costeros.

El sistema de vientos

Los vientos predominantes frente a la costa peruana son los alisios del SE (Fig. 2), gobernados por el anticiclón del Pacífico Sur; se proyectan hacia el NO (de zonas de alta presión subtropical, a zonas de baja presión ecuatorial), siendo más intensos en el invierno y más débiles en el verano del Hemisferio Sur, con velocidades medias hasta algo más de 5 m/s (aprox. 10 nudos).

Entre Pisco y San Juan los vientos son más intensos y persistentes, alcanzando en muchas oportunidades velocidades mayores de 10 m/s; al norte de los 6°S, en las cuatro estaciones del año, se presentan vientos más variables, con direcciones del S y SO.

Cerca de la costa, o dentro de las bahías, se presentan esporádicamente y con muy corta duración, los denominados vientos locales, que se manifiestan con dirección contraria a los alisios del SE.

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA DE MAR

Las propiedades del agua de mar se pueden agrupar en conservativas y no-conservativas. Entre las primeras tenemos la temperatura y la salinidad. Las no conservativas son aquellas como el oxígeno disuelto, los fosfatos, silicatos, nitratos etc., que están sujetas a grandes cambios por efecto de fenómenos atmosféricos, procesos químicos y bioquímicos.

Temperatura

La distribución de la temperatura en los océanos es uno de los factores que controlan la distribución de organismos marinos y la densidad del agua de mar. Debido a la gran capacidad calórica del agua, la temperatura del mar varía mucho menos que la terrestre, consecuentemente, el mar provee un ambiente muy estable para la vida marina y una gran influencia sobre el clima costero.

Frente a la costa peruana las temperaturas presentan cambios estacionales bien marcados, con altos valores en el verano y bajos en el invierno; generalmente se elevan hacia el Ecuador y hacia el oeste, dando lugar a gradientes zonales y latitudinales principalmente en el verano, cuando las mayores temperaturas se proyectan hacia el sur y hacia la costa o las zonas de afloramiento.

En febrero (fig. 3a) y marzo se registran las máximas temperaturas del año, alcanzando valores de 25 °C y 26 °C por fuera de las 150 mn y al norte de los 14°S;

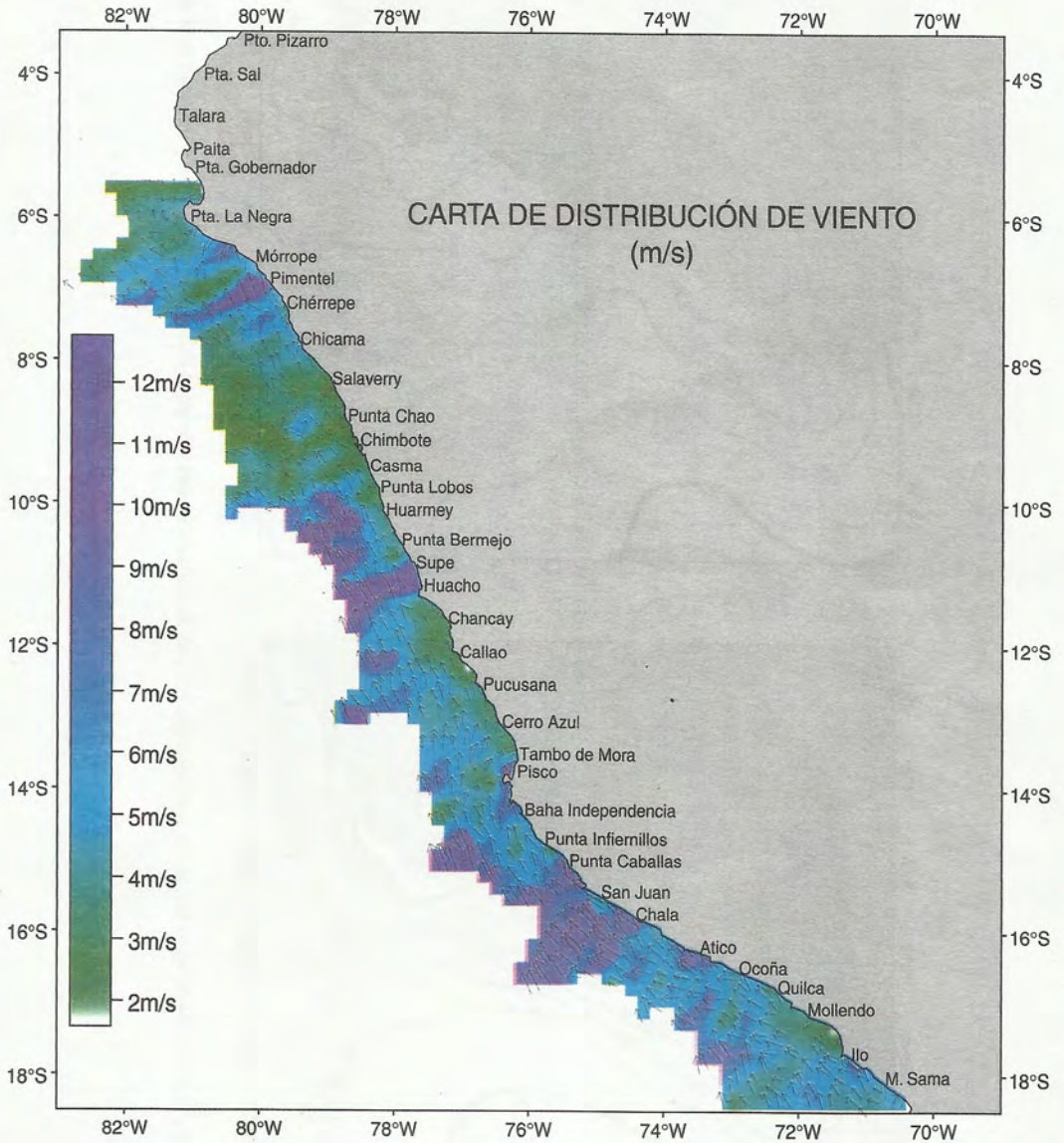


FIGURA 2. Distribución del viento frente a la costa peruana. Crucero BIC Humboldt 9803-05.

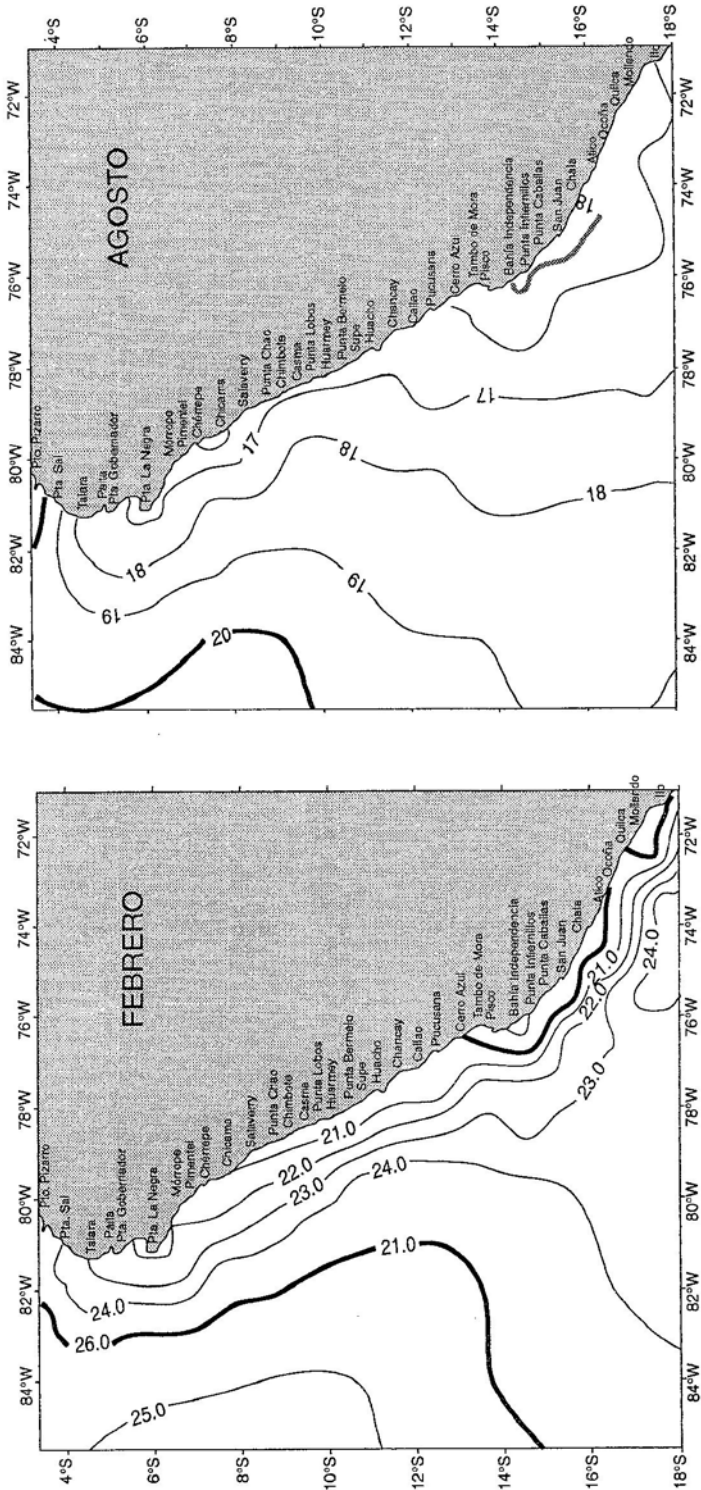


FIGURA 3. Promedios por Cuadrado Marsden de la temperatura (°C) en la superficie del mar para los meses de febrero y agosto (ZUTA y URQUIZO 1972).

las temperaturas mínimas (17 °C a 18 °C) se ubican en el lado costero al sur de los 14°S, originándose un fuerte gradiente térmico con las aguas cálidas adyacentes.

Las temperaturas más bajas se registran principalmente en agosto (Fig. 3b) y setiembre, debido a la intensificación de los vientos y del afloramiento costero; en estos meses las isotermas rompen el paralelismo a la costa observado en la estación de verano, dando lugar a una dispersión mucho más notoria al sur de los 10°S.

En estos meses de invierno, la franja costera dentro de las 50 mn presenta temperaturas entre 13 °C y 17 °C, mientras que la isoterma de 19 °C se ubica alrededor de las 150 mn al norte de los 10°S, y a mayor distancia hacia el sur de esta latitud.

Salinidad

La salinidad, al igual que la temperatura, es uno de los parámetros conservativos de mayor importancia para la distribución y concentración de los recursos vivos del mar. Por lo general varía con la latitud; las altas salinidades proceden de la región subtropical, zona de gran evaporación, mientras que las mínimas de la región tropical, donde predomina la precipitación.

Como término medio el mar peruano presenta concentraciones de 35,6 a 33,2 ups en verano y 35,4 a 33,8 ups en invierno, pero varían por la influencia de factores meteorológicos, topográficos, aportes fluviales, etc., alcanzando las máximas alteraciones en la etapa previa, durante o post El Niño, cuando se han registrado valores hasta de 35,96 ups y un mínimo de 29,0 ups.

En el verano se registra una gran aproximación de las altas salinidades de

la región subtropical hacia la costa, mientras que las bajas concentraciones de las Aguas Ecuatoriales y Tropicales avanzan hasta aproximadamente los 6°S, replegando cerca de la costa a las aguas costeras frías relacionadas con el afloramiento (Fig. 4a).

En el invierno, la mayor intensidad de los vientos da lugar a una intensificación del afloramiento costero; la capa de salinidad moderada (34,9–35,0 ups) se extiende hacia el oeste, principalmente al sur de los 13° S. Las Aguas Subtropicales se proyectan algo más al norte, lo que da lugar a un repliegue de las Aguas Ecuatoriales y Tropicales (Fig. 4b).

Nutrientes

Llamados también "sales nutritivas", son los compuestos esenciales para la síntesis orgánica en el mar; y de ellos depende en forma fundamental la vida en las aguas marinas. Su concentración varía de acuerdo a su utilización por el fitoplancton en los procesos de producción primaria; son regenerados a partir de la descomposición de la materia orgánica de los productos catabólicos y de los cadáveres de los organismos, principalmente en las zonas de afloramiento, donde la renovación es más intensa; o por aportes terrígenos (descargas continentales) en las zonas costeras. Entre los principales nutrientes tenemos: fosfatos, silicatos, nitratos y nitritos.

Fosfatos

Frente a la costa del Perú, la fluctuación y distribución de estas sales en la superficie del mar, está íntimamente ligada a la intensidad del afloramiento costero y, en menor relación, con el aporte terrígeno.

En el verano austral el afloramiento costero es menos intenso, presentándose

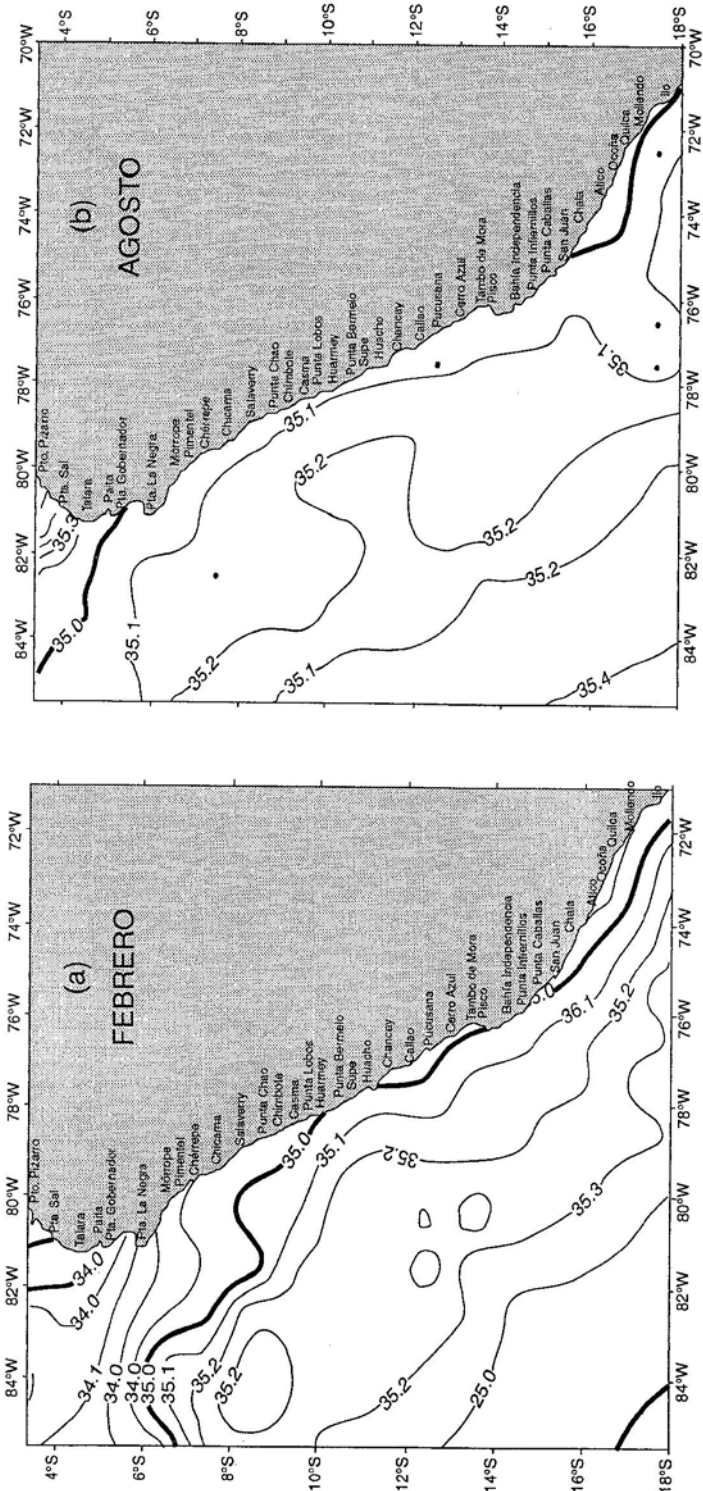


FIGURA 4. Promedios por Cuadrados Marsden de la salinidad (ups) en la superficie del mar, para los meses de febrero y agosto (MORÓN Y ESCUDERO 1991).

concentraciones medias de 1,5 ug-at/L en zonas aisladas, con valores de 1,0 ug-at/L que dominan una banda angosta a lo largo de la costa (CALIENES *et al.* 1985, Fig. 5a). Al intensificarse el afloramiento en invierno, los fosfatos presentan las más altas concentraciones, registrándose valores >2 ug-at/L en zonas costeras, mientras que la isolínea de 1 ug-at/L se aleja de la costa (Fig. 5b).

Generalmente la capa superficial presenta los mínimos valores (<2,0 ug-at/L) debido a los procesos de fotosíntesis en la zona eufótica; concentraciones de 2,0 a 2,5 ug-at/L se ubican a profundidades de 100 a 400 m, y hasta de 3,0 ug-at/L alrededor de los 500 m.

Silicatos

De gran importancia desde el punto de vista biológico, son utilizados por las algas diatomeas, silicoflagelados, radiolarios y determinadas esponjas cuyos esqueletos son silíceos.

Al igual que los fosfatos, su distribución está ligada al afloramiento y a la presencia de las diferentes masas de agua. En verano, las concentraciones superficiales promedio muestran bajos valores (Fig. 6a); la media estacional máxima alcanza los 10 ug-at/L en zonas costeras asociadas al afloramiento, predominando concentraciones de 5 ug-at/L hasta las 60 mn. En invierno (Fig. 6b) las concentraciones son relativamente altas: hasta 25 ug-at/L en la zona costera, con distribución irregular en forma de meandros, llegando a presentarse concentraciones de 5 ug-at/L hasta fuera de las 120 mn de la costa.

En la capa subsuperficial las concentraciones de silicatos aumentan con la profundidad, pudiendo alcanzar hasta 50 ug-at/L por debajo de los 400 m.

Nitratos y nitritos

La distribución de los nitratos es similar a la de fosfatos; tanto los organismos consumidores como las fuentes de producción son las mismas, aunque presentan concentraciones diferentes. Pueden alcanzar valores mínimos en verano (<1,0 ug-at/L) y máximos en invierno (>20 ug-at/L). Las aguas costeras son delimitadas por valores de 5 ug-at/L.

Los nitritos son menos abundantes, y en algunos casos pueden faltar completamente, predominan valores <1,0 ug-at/L en superficie; en casos excepcionales superan este valor; su distribución batimétrica no es continua, aunque excepcionalmente se han encontrado concentraciones de 2 ó 3 ug-at/L dentro de la columna de agua de 500 m.

MASAS DE AGUA

El término "Masas de Agua" se utiliza para definir volúmenes de agua, que poseen temperaturas y salinidades más o menos uniformes, tomando el nombre de la región de origen o formación; las fluctuaciones latitudinales o longitudinales de estas masas de agua juegan un rol importantísimo, en la mayor o menor concentración y distribución de los recursos marinos.

La costa peruana, por su situación geográfica, está mayormente influenciada por aguas saladas de la región subtropical denominadas Aguas Subtropicales Superficiales (ASS). Las masas de agua que le dan una característica especial al mar peruano son las Aguas Costeras Frías (ACF), principalmente por su baja temperatura y alto contenido de nutrientes; estas aguas son resultado del flujo de la Corriente Costera Peruana (CCP) y su mezcla con las aguas del afloramiento costero. También se presentan Aguas

Ecuatoriales Superficiales (AES) y Aguas Tropicales Superficiales (ATS), de baja salinidad que provienen de las regiones ecuatorial y tropical.

Las Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) se extienden por fuera de la corriente costera en gran parte de la costa peruana, con grandes fluctuaciones horizontales y verticales en las cuatro estaciones del año; se presentan con temperaturas y salinidades mayores de 17 °C y 35,1 ups, con profundidades variables hasta 50 m en condiciones normales.

Las Aguas Costera Frías (ACF), se ubican a lo largo de la franja costera y hasta aproximadamente 20-30 mn de la costa en verano (Fig. 7a) y de 50 a 60 mn en invierno (Fig. 7b), están relacionadas con la CCP y al afloramiento. Se caracterizan por temperaturas de 14 °C a 18 °C y salinidades entre 34,9 y 35,0 ups, aunque al sur de los 15°S pueden aflorar aguas de hasta 34,8 ups cuando las Aguas Templadas de la Subantártica se encuentran próximas a la costa.

Las Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES), comúnmente en el verano se ubican al norte de los 6°S, replegándose hacia el norte en invierno; presentan temperaturas entre 19 °C y 25 °C, salinidades de 34,0 a 34,8 ups y un espesor de 15 a 25 m.

Aguas Tropicales Superficiales (ATS), en condiciones normales se presentan al norte de los 4°S, con temperaturas >25 °C y salinidades <34,0 ups, con un espesor aproximado de 20 m.

Las Aguas Templadas de la Subantártica (ATSA), son masas de agua subsuperficiales, provenientes del borde norte de la región subantártica, se extienden normalmente hasta los 15°S por debajo de los 50 m de profundidad, su rango de temperatura es

de 15-13 °C y de salinidad de 34,8 a 34,6 ups. Al inicio del período frío de 1998 se proyectó hasta el norte del Callao y bastante superficial (Cr. 9808-09), .

CIRCULACION MARINA

El sistema de circulación marina frente a la costa peruana es bastante complejo, integrado por corrientes marginales superficiales y subsuperficiales que soportan el afloramiento a lo largo de la costa (Fig. 8).

Superficialmente se destaca la Corriente Peruana constituida por la Corriente Costera Peruana (CCP) y la Corriente Oceánica Peruana (COP), las mismas que se unen en la estación de invierno, mientras que en la capa subsuperficial destacamos la Corriente Peruana Subsuperficial y la Extensión Sur de la Corriente de Cromwell

La CCP fluye entre la costa y los 78°W, con velocidad promedio de 5 a 15 cm/s, disminuyendo su intensidad a medida que avanza hacia el norte y a mayor profundidad; es más intensa entre abril y setiembre, cuando los vientos alisios del SE se intensifican. Transporta un volumen aproximado de 6 millones de m³/s. A 200 m de profundidad está escasamente desarrollada.

La COP, es más intensa que la CCP, fluye hacia el norte al oeste de los 82°W, alcanzando 700 m de profundidad; alrededor de los 10°S gira hacia el oeste. Entre julio y octubre forma un solo flujo con la CCP y está situada al oeste de la línea de máxima acción del viento. Transporta un caudal de unos 8 millones de m³/s. La sumatoria de los caudales de la CCP y la COP es la contribución de la Corriente Peruana a la Corriente Sur Ecuatorial.

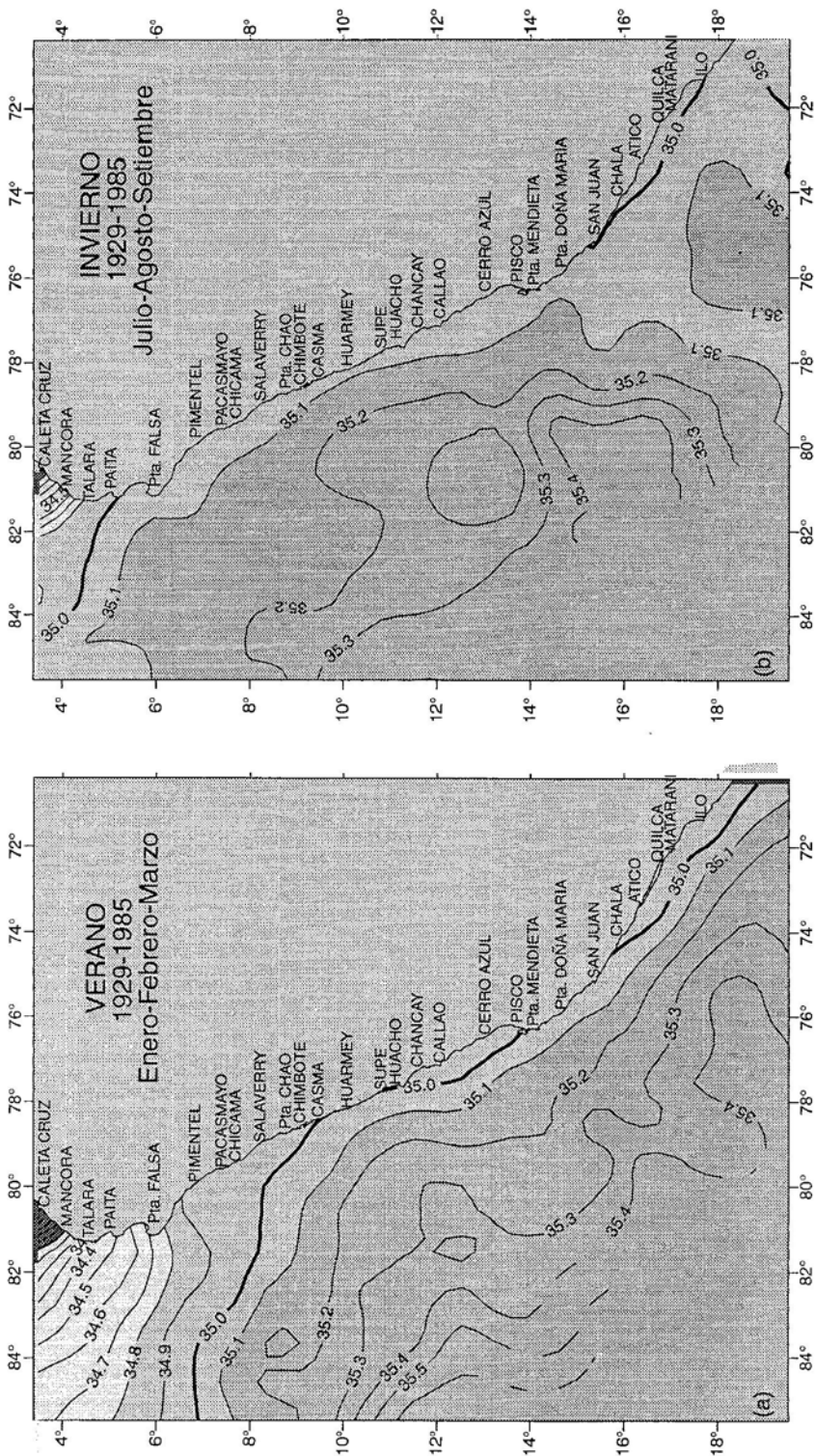


FIGURA 7. Promedio por Cuadrados Marsden de la Salinidad (ups) en la superficie del mar para las Estaciones de verano e invierno (MORÓN Y ESCUDERO 1991).

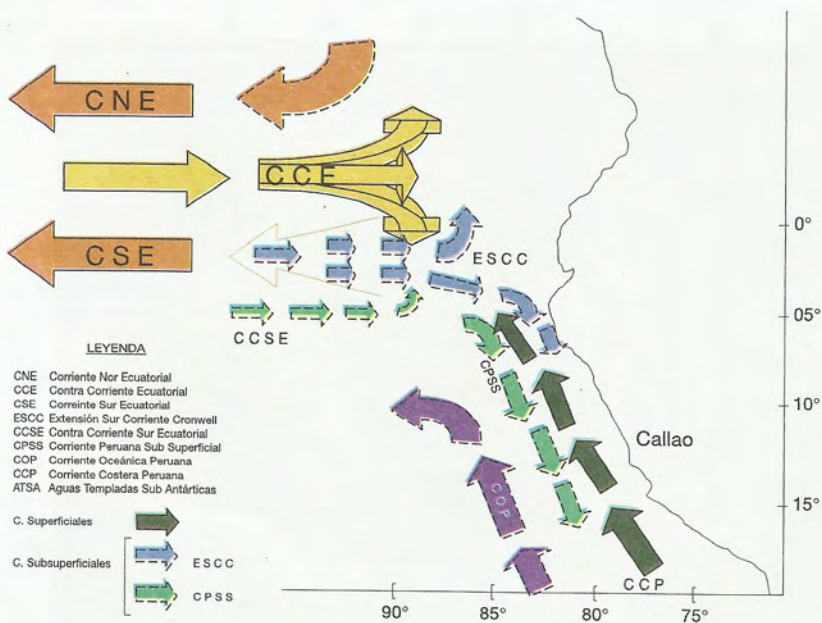


FIGURA 8. Esquema de las corrientes marinas en el Pacífico oriental.

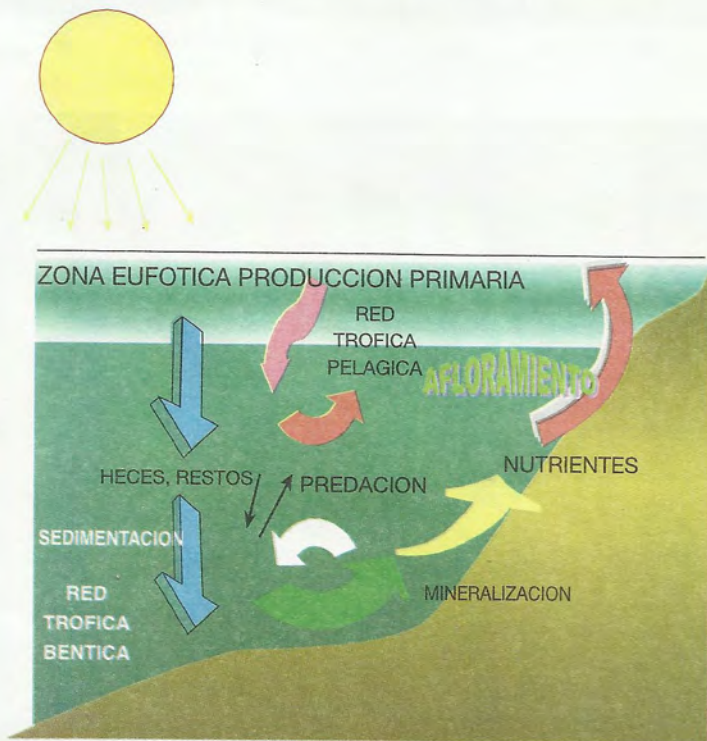


FIGURA 9. Esquema del afloramiento costero mostrando la estrecha conexión entre los sistemas Béntico y Pelágico.

Entre la CCP y la COP fluye hacia el sur una contracorriente, a la que se le denomina *Corriente Peruana Subsuperficial*, o *Corriente Subsuperficial Peruano-Chilena*. Presenta velocidades ligeramente superiores a 20 cm/s frente a Punta.Falsa, debilitándose en su avance hacia el sur. Comienza frente a Talara extendiéndose unos 250 km mar adentro, con un flujo más intenso cerca de los 100 m de profundidad. Esta contracorriente transporta agua de origen ecuatorial hacia el sur; está sujeta a variaciones considerables, tanto estacional como anual y es, probablemente, una consecuencia directa del apartamiento de la costa de la COP.

Extensión Sur de la Corriente de Cromwell (ESCC) es una corriente subsuperficial, que se inicia en la zona oceánica y se extiende hacia la zona costera entre los 5°S y 8°S ó 9° S, para luego integrarse a la Corriente Peruana Subsuperficial. Se puede ubicar entre 50 a 300 m de profundidad principalmente entre Paita y sur de Punta Falsa (5-7°S). Se caracteriza por presentar temperaturas de 15 °C a 13 °C, salinidades de 34,9 a 35,1 ups y concentraciones relativamente altas de oxígeno (>1,0 mL/L a 100 o 200 m de profundidad).

AFLORAMIENTO COSTERO

Está determinado que frente a las costas occidentales de los continentes es donde principalmente ocurren los afloramientos costeros, procesos de gran importancia que convierten a estas regiones en las más productivas de los océanos. El Perú, por su ubicación geográfica y configuración de su costa, así como por la presencia de los vientos alisios del SE que soplan predominantemente paralelos a la costa, es uno de los países ribereños privilegiados en el mundo, donde el afloramiento costero se desarrolla con gran intensidad.

El afloramiento costero es descrito como un proceso ecológico de meso-escala, que se presenta principalmente en la partes orientales de los océanos, especialmente en latitudes bajas y medias. En estas áreas, los vientos en dirección al Ecuador arrastran las aguas superficiales alejándolas de la costa, y reemplazándolas por aguas subsuperficiales, debido al requerimiento de continuidad. Estas aguas afloradas son frías, de salinidades moderadas, contenido de oxígeno relativamente bajo, pero principalmente muy ricas en nutrientes (Fig. 9); con esto se fertiliza la zona eufótica, favoreciendo la producción del fitoplancton, base alimenticia para el zooplancton y para la vida animal superior.

Zonas de afloramiento costero peruano

Las aguas afloradas en condiciones normales frente al Perú pueden proceder de profundidades <120 m, y fluctuar de 14 °C a 17 °C, de 34,85 a 35,00 ups, oxígeno disuelto entre 2,0-4,0 mL/L, fosfatos de 1,0 a 2,5 ug-at/L y silicatos de <2,0 a >30 ug-at/L, por mencionar los principales aportes de estas aguas.

Una zona de afloramiento permanente y de mayor intensidad frente a la costa peruana se presenta entre los 14-15°S (Bahía Independencia - San Juan, Fig. 10), donde se registran las temperaturas más bajas durante todo el año. Otras zonas también importantes se ubican entre 5-6°S (Paita - Punta Falsa), 7-8° S (Pimentel - Chicama) y 11-12° S (Huacho - Callao).

Las aguas que alimentan el afloramiento costero son diversas: (a) provienen de la Extensión Sur de la Corriente de Cromwell, principalmente entre los 4-8° S; (b) Aguas de la Corriente Peruana Subsuperficial, hasta los 15° S y (c) las Aguas Templadas de la Subantártica, que en algunos casos

Tabla 1.- Anomalías térmicas mayores de 3 °C y -2 °C entre los años 1901 y 1999.

Anom. Térmicas positivas		Anom. Térmicas negativas	
Moderadas	Fuertes o Extraord.	Fríos	Muy Fríos
(Hasta 3°C)	(Mayor de 3°C)	(Hasta -2°C)	(Mayor de -2°C)
1901-1902			1904
1906		1907	
	1912		1916-1917
1914-1915		1921	
1919		1928	
	1925-1926	1933-1934	
1929			1935
	1930-1931	1936-1937	
	1940-1941		1938
1946-1947		1943	
1951			1950
	1957-58	1954-1955	
1965		1962	
	1972-1973		1964
1965		1967-1968	
	1982-83	1970-1971	
1987		1975	
1992		1985-1986	
	1997-1998		1996
		1998-1999	

El Niño: moderado, fuerte y extraordinario

El Niño (EN) es un fenómeno de macro escala, responsable de cambios con efecto global, a corto, mediano y largo plazo. Se manifiesta principalmente en el Pacífico ecuatorial, comprometiendo la región tropical y subtropical; afectando amplias áreas y regiones continentales de Asia, Oceanía, Europa y América, desencadenando grandes impactos en el Perú y Ecuador, los que pueden alcanzar características de desastres cuando EN es de gran intensidad.

En general, la primera manifestación de estos eventos es el debilitamiento de los vientos alisios del sur e intensificación de los vientos del oeste en el Pacífico central ecuatorial, lo que se traduce en que masas de aguas cálidas se aproximen a la costa (Fig. 11a), o las AES se proyecten hacia el

sur (Fig. 11b), dando lugar a la elevación de la temperatura en una capa considerable de la columna de agua, con la consiguiente profundización de la termoclina, o a la disminución considerable de la salinidad en la capa superficial; la presencia de estas aguas reduce o elimina las áreas de afloramiento, disminuyendo considerablemente la principal fuente de alimento de los organismos.

En las tres últimas décadas se han presentado seis eventos El Niño de consideración, a los que se ha dedicado una intensa actividad de investigación. Tres de ellos fueron de intensidad moderada "Niño moderado" (1976, 1987 y 1992), y tres de magnitudes fuertes y extraordinarios: 1972-73, 1982-83 y 1997-98. Por su intensidad y duración ellos han repercutido considerablemente en los aspectos económicos y sociales de los países afectados.

Se les ha denominado "Niños moderados" a aquellos eventos en que la TSM promedio puede alcanzar +3 ó +4 °C sobre la media mensual; se presentan en la estación de verano, con una duración de 3 a 4 meses; se caracterizan también por la proyección al sur de las AES, hasta no más de los 11°S, afectando las zonas de afloramiento. Estas AES se han detectado hasta los 100 m de profundidad frente a Punta Falsa y 30 m frente a Chimbote (Cr. 9201-02, Fig. 13b).

Los Niños "fuertes y extraordinarios" muestran sus efectos a lo largo del litoral, presentan dos picos de máxima intensidad, su duración puede extenderse entre 10 y 18 meses. En primer lugar son las ASS las que se aproximan a la costa, las mismas que son luego replegadas hacia el sur por la proyección de las AES y ATS. Estas últimas aguas, que no muestran gran avance en los "Niños moderados" pueden alcanzar hasta 30 °C y sobrepasar los 8°S,

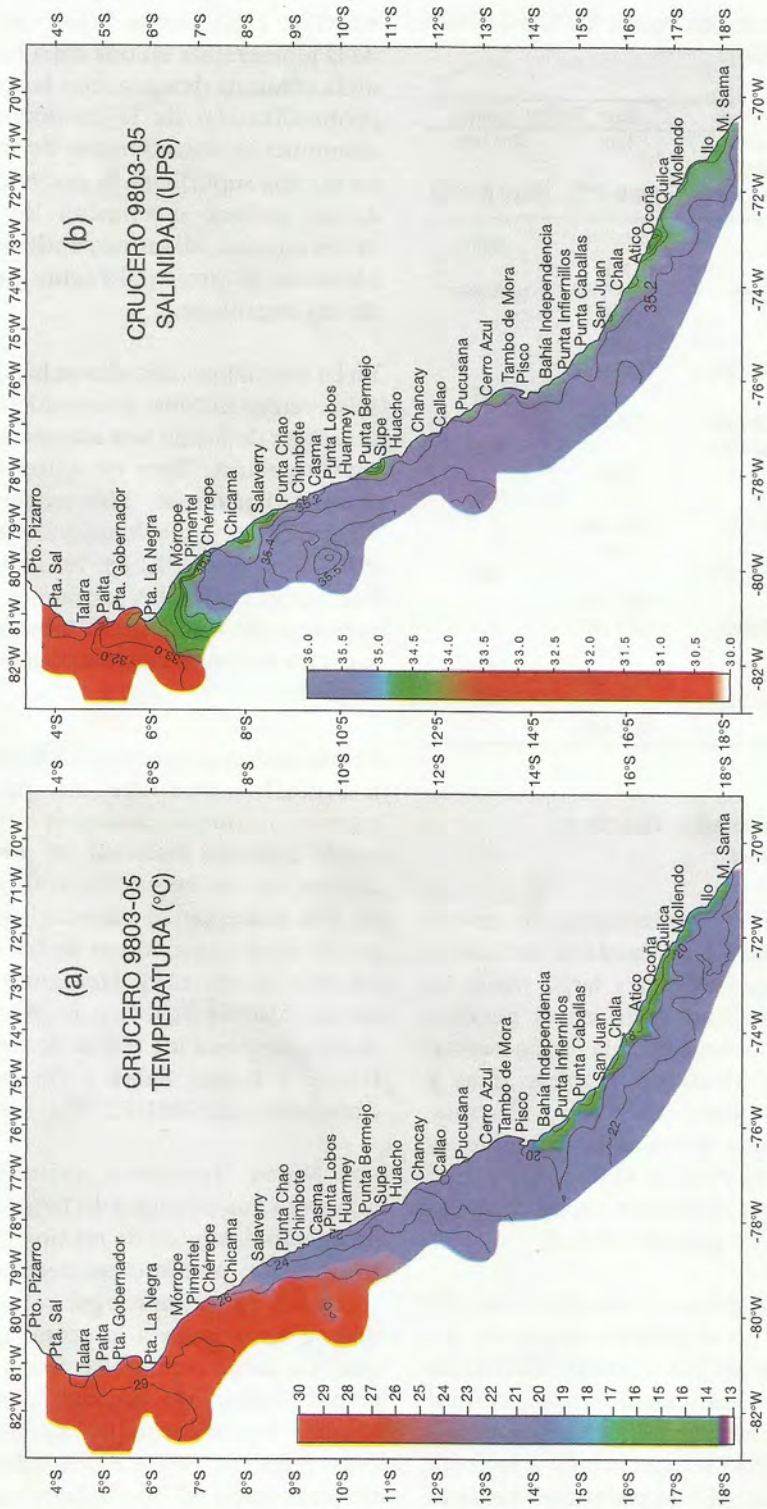


FIGURA 11. Distribución superficial de: a) Temperatura (°C) y b) Salinidad (ups) durante el Cr. BIC Humboldt 9803-05.

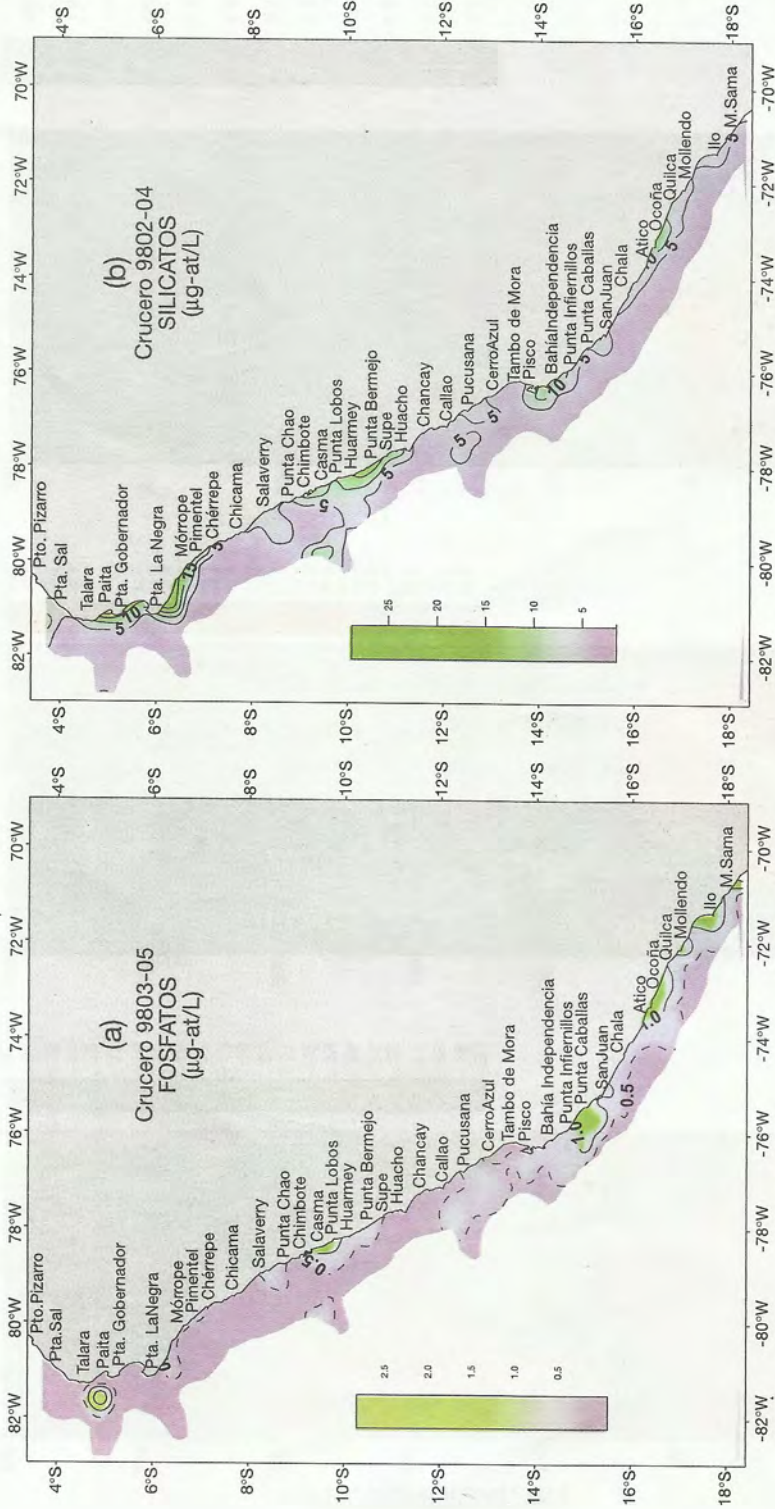


FIGURA 12. Distribución superficial de: a) Fosfatos ($\mu\text{g-at/L}$) y b) Silicatos ($\mu\text{g-at/L}$), durante el Cr. BIC Humboldt 9803-05.

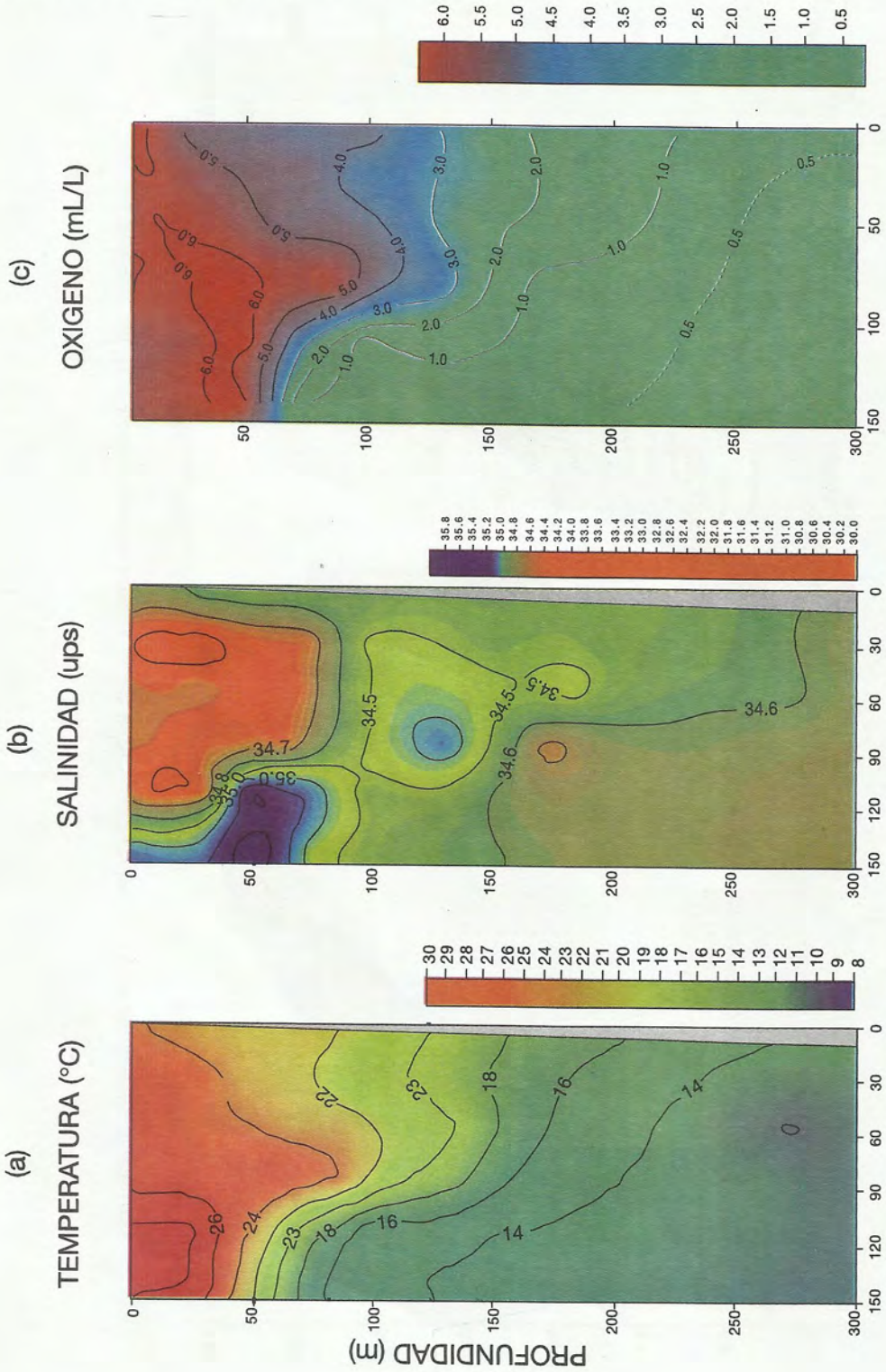


FIGURA 13. Distribución vertical de: a) Temperatura (°C), b) Salinidad y c) Oxígeno disuelto (mL/L) en la sección Paíta. Cr. SNP-1 9201-02.

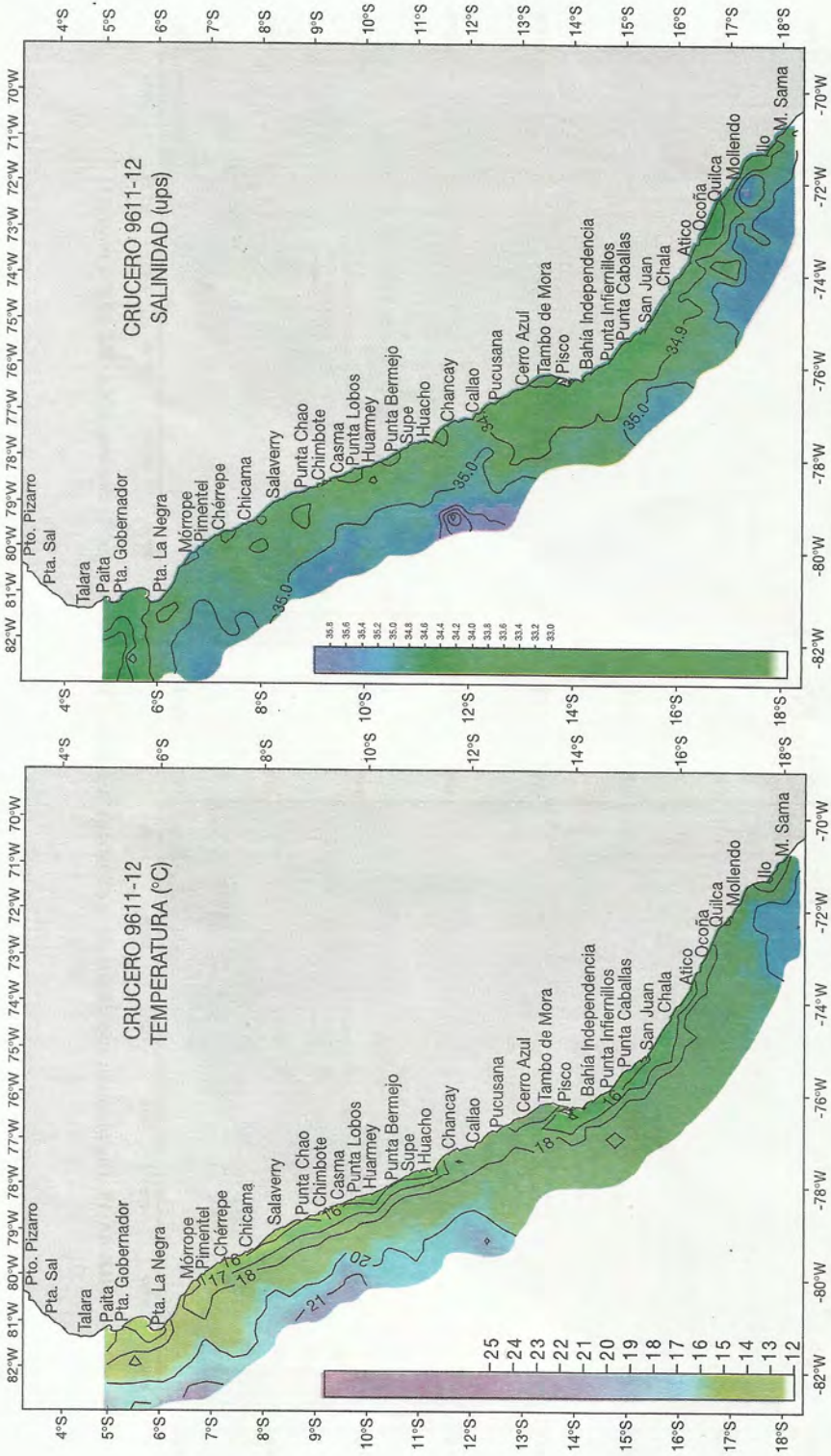


FIGURA 14. Distribución superficial de: a) Temperatura (°C) y b) Salinidad (ups) durante el Cr. BIC SNP-1 9611-12.

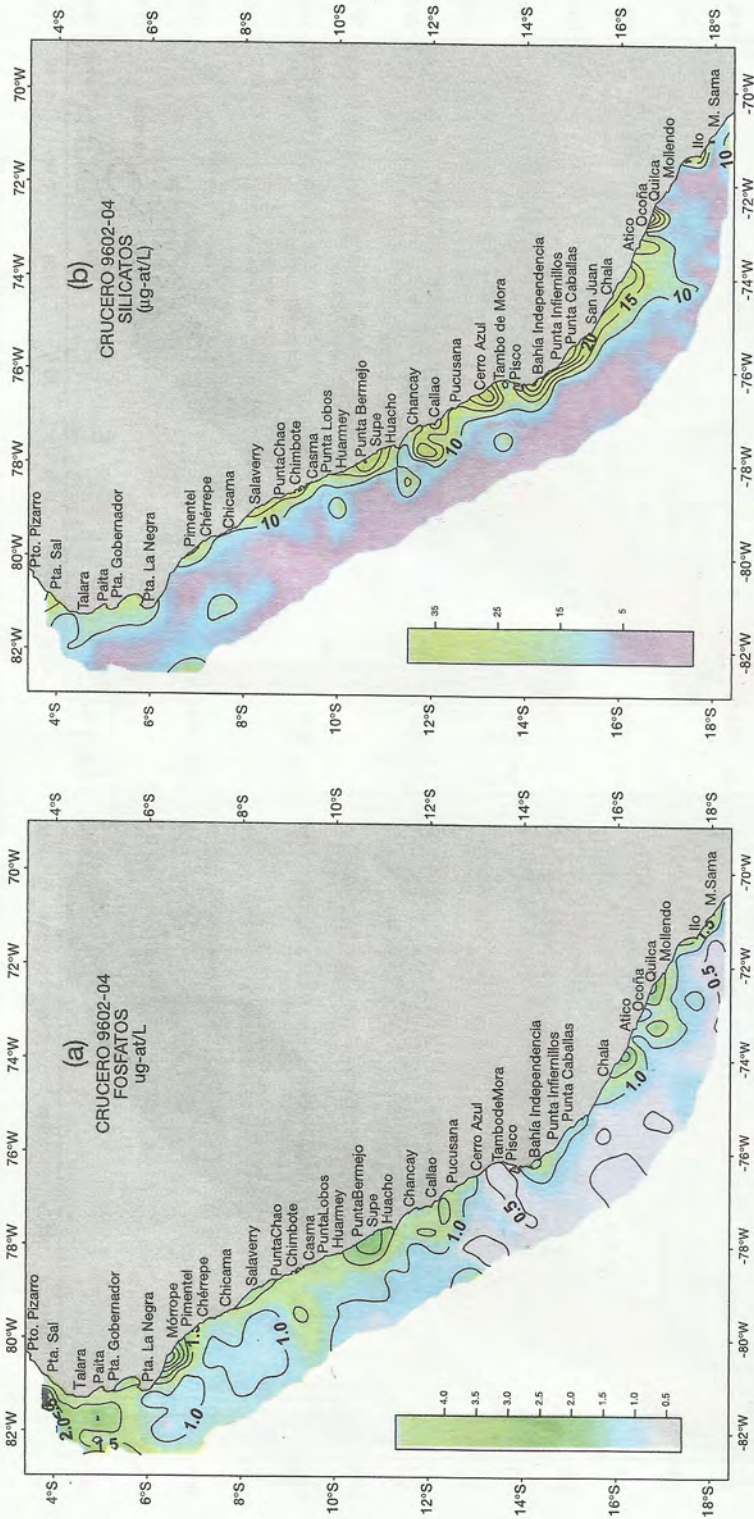


FIGURA 15. Distribución superficial de: a) Fosfatos (ug-at/L) y b) Silicatos (ug-at/L) durante el Cr. BIC SNP-1 9602-03.

SECCION PTA. FALSA (Cr. 9611-12)

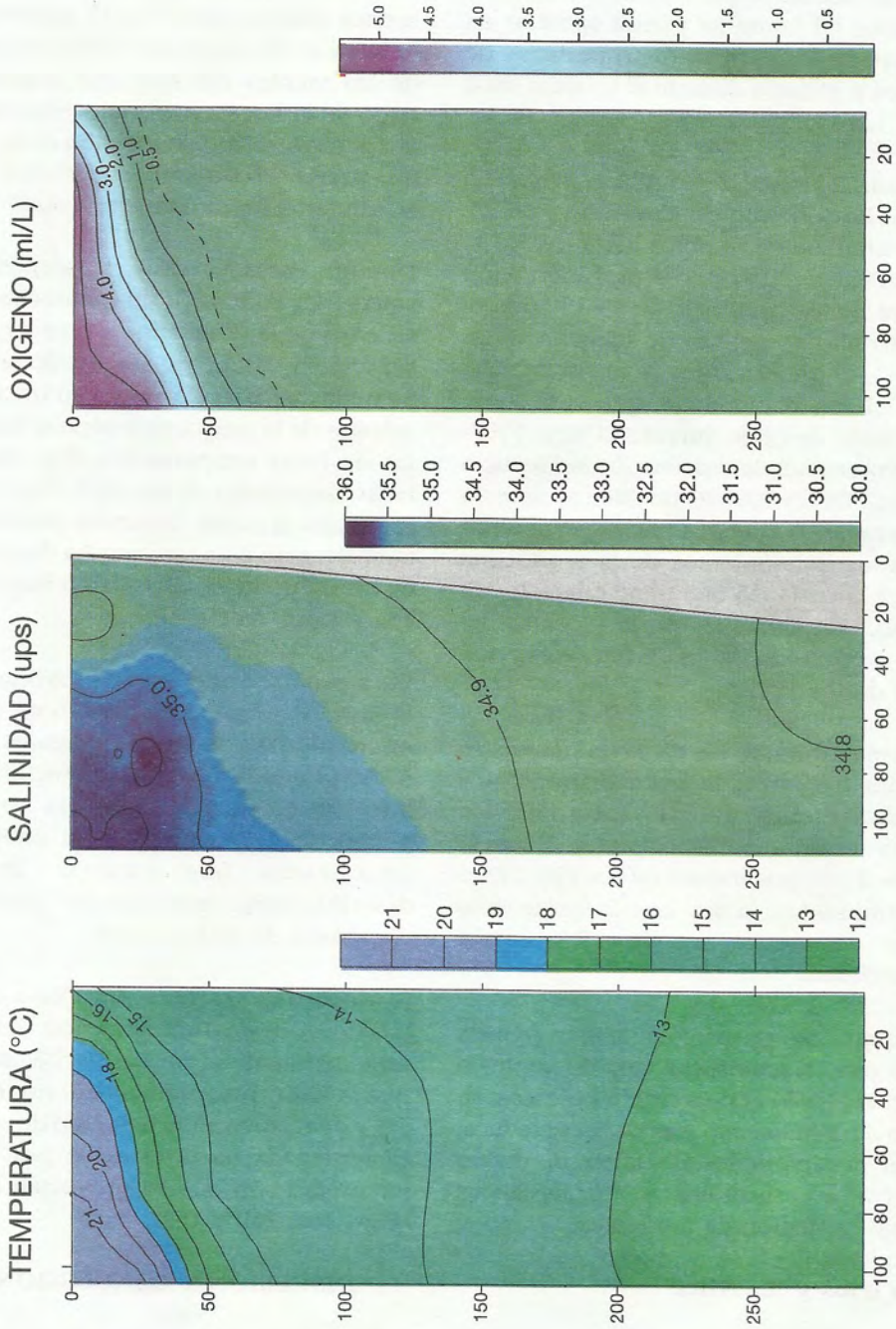


FIGURA 16. Distribución vertical de: a) Temperatura (°C), b) Salinidad (ups) y c) Oxígeno disuelto (ml/L). Cr. BIC SNP-1 9611-12.

originando anomalías térmicas de +8 a +10 °C y anomalías halinas de +0,3 a +0,4 ups. Los nutrientes disminuyen considerablemente tal como se puede apreciar en las cartas de distribución superficial de fosfatos y silicatos durante el Crucero 9802 (Figs. 12a y 12b).

Asociada al avance de las AES, la Extensión Sur de la Corriente de Cromwell (ESCC), que comúnmente se ubica hasta los 7-8°S, y está caracterizada por la profundización costera de las isotermas de 15-13 °C y su relativo alto contenido de oxígeno (Figs. 13a y 13c), muestra una gran proyección hacia el sur, habiéndose apreciado hasta en el norte de Chile durante El Niño 1997-98, favoreciendo la distribución del recurso merluza. En EN 1982-83 también se apreció algo similar; ZUTA *et al.* (1984) describieron marcados hundimientos de la termoclina cerca a la costa (lo que tiene relación con la ESCC) en las zonas norte y centro del Perú, y por fuera de las 75 mn de la costa al sur de los 18°S.

Asimismo, durante los EN la termoclina se debilita debido a la gran dispersión y profundización de las isotermas. En algunas oportunidades se puede observar a la de 15 °C por debajo de los 150-200 m de profundidad, la que comúnmente se le ubica alrededor de los 70 m de profundidad.

El afloramiento puede continuar en algunas zonas con características muy diferentes o desaparecer. En el primero de los casos, su efecto de enfriamiento y fertilidad se reduce, ya que la capa de los 50-120 m, de donde proviene, está sustituida por aguas cálidas de bajo contenido de nutrientes.

Años fríos y "La Niña"

Al hablar de "La Niña" nos estamos refiriendo directamente a una gran

intensificación del afloramiento costero y el afloramiento ecuatorial, al oeste de las islas Galápagos, lo que está relacionado a fuertes vientos alisios de SE que soplan a lo largo de las costas de Perú y Ecuador; y de los vientos del este que soplan a lo largo de la línea ecuatorial, asociados a la vez al movimiento de rotación de la Tierra, que desvía las corrientes superficiales hacia la izquierda en el hemisferio sur.

Durante estos eventos, la surgencia de aguas frías da lugar a un fortalecimiento y ascenso de la termoclina a una capa muy superficial, aflorando dentro de las 30 ó 50 millas de la costa según su intensidad. Además de la proyección hacia el nor-oeste de las bajas temperaturas (Fig. 14a), las bajas salinidades de las AES (Fig. 14b) se repliegan al norte; las cartas superficiales también muestran una amplia distribución de los nutrientes a lo largo del litoral (Figs. 15a y 15b).

Las aguas afloradas que se proyectan hacia el norte y nor-oeste, alcanzan en algunas oportunidades distancias mayores de 100 ó 150 mn de la costa, como sucedió en el año 1996, por lo que los recursos pelágicos, especialmente la anchoveta, encuentran una extensa área de distribución, motivando una gran dispersión de este recurso.

El ascenso de las aguas frías lleva consigo bajas concentraciones de oxígeno principalmente al sur de los 5°S, debido a que la ESCC predominante al norte de los 7°S y de relativo alto contenido de oxígeno, es replegada hacia el norte por la gran intensidad con que se proyectan las ACF (Figs. 16a, 16b y 16c).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Si bien es cierto que la intensificación de las investigaciones meteorológicas y

oceanográficas a nivel global, nos ha permitido significativos avances en la comprensión de los eventos cálidos y fríos de gran magnitud, también es cierto que aún existen muchas interrogantes sobre estos temas; y los pronósticos sobre su intensidad y duración sólo son tentativos y distan mucho de la exactitud. Por estos motivos es muy necesaria una mayor amplitud, por ejemplo, en las mediciones directas de las corrientes marinas y su interrelación con los procesos de afloramiento; en la profundización de los estudios sobre organismos planctónicos indicadores de masas de agua; conocimiento de los efectos sobre peces e invertebrados marinos de las diferentes masas de agua; así como tantas otras interrogantes que se derivan de la ocurrencia de estos fenómenos.

Los modelos numéricos y estadísticos que se vienen desarrollando representan un buen avance, pero subsisten aún problemas que se irán afinando con el tiempo. Ningún modelo logró pronosticar El Niño 1997-98, siendo uno de los motivos su presentación atípica, lo cual no guardó relación con las fechas comunes de otros eventos, echando por tierra pronósticos que se basaron en Niños precedentes. Es de conocimiento general que el mar peruano mantiene uno de los ecosistemas más ricos a nivel mundial, donde se desarrolla una de las más grandes pesquerías del mundo, motivo por el cual es fundamental el conocimiento profundo de condiciones favorables, benignas y adversas, con el fin de regular científicamente la pesca de nuestras principales especies marinas.

A pesar de todo, en el Perú estamos aprendiendo a sobrellevar a El Niño, ya que como evento recurrente es muy alto el costo de su presencia en nuestro litoral, por lo que con las nuevas tecnologías, con el avance de las telecomunicaciones,

estamos en alerta permanente, haciendo un seguimiento de las alteraciones en meso y macro escala del ambiente marino.

En conclusión, los eventos cálidos y fríos seguirán siendo analizados minuciosamente, deslindando sus efectos positivos y negativos, buscando de pronosticar su presencia, intensidad y duración para mitigar sus efectos negativos dando buen uso a los positivos.

Agradecimiento

A los técnicos señores MIGUEL SARMIENTO y MARCELO CRISPÍN, por su invaluable ayuda en el procesamiento de la información y la confección de las figuras.

REFERENCIAS

- ARNTZ, W. y E. FAHRBACH. 1996.- El Niño: Experimento Climático de la Naturaleza. Ed. Fondo de la Cultura de México.
- ARNTZ, W., A. LANDA y J. TARAZONA (comps.) 1985. "El Niño" Su Impacto en la Fauna Marina, Bol. Inst. Mar. (vol. extraord.) 222 pp.
- BUSE, H. 1958. Mar del Perú, paisaje litoral y morfología submarina. Publicación auspiciada por la Univ. Federico Villarreal.
- CALIENES, R., O. GUILLÉN y N. LOSTAUNAU. 1985. Variabilidad espacio-temporal de clorofila, producción primaria y nutrientes frente a la costa peruana. Bol. Inst. Mar Perú 10 (1): 44 pp.
- CUSHING, D. 1975. Ecología Marina y Pesquerías. Editorial Acirbia Zaragoza (España).
- DELGADO, C., R. GOMERO, H. SALZWEDER, L. FLORES y G. CARBAJAL. 1987. Sedimentos superficiales del margen continental peruano: un mapa textural. Boletín, Publicación 56 de PROCOPA. LIMA.
- GUTIÉRREZ, M., R. CASTILLO, A. CHIPOLLINI y L. VÁSQUEZ. 1997a. Distribución, concentración y biomasa de los principales recursos pelágicos peruanos entre noviembre y diciembre de 1996. Crucero BIC SNP-1 9611-12. Inf. Prog. Inst. Mar Perú 65: 3-22.
- HUYER, A., R. L. SMITH y T. PALUSZKIEWICZ. 1987. "Coastal upwelling of Perú during normal and El Niño times, 1981-1984", J. Geophys. Res. 92: 14.297-14.308.
- IMARPE. 1996. Informe del Crucero BIC SNP-1 8604-05 y diagnóstico de la situación de los recursos pelágicos a mayo 1986. Informe especial 193.

- MORÓN, O. y L. ESCUDERO. 1991. Salinidad promedio de la superficie del mar frente a la costa peruana. Periodo 1928-1985. Informe Interno.
- MORÓN, O. 1992. Características oceanográficas durante el Cr. 9201-02. BIC SNP-1 Inf. Interno.
- MORÓN, O. y R. MARQUINA. 1997. Aspectos oceanográficos del mar peruano desde Callao a Paita. Crucero BIC Humboldt 9704. Inf. Inst. Mar Perú 127: 31-39.
- PAULY, D., P. MUCK, J. MENDO e I. TSUKAYAMA (comp.).1989. The Peruvian upwelling ecosystem: dynamics and interactions, IMARPE/GTZ/ICLARM, Manila, 438 pp.
- QUINN, W.H., V.T. NEAN y ANTÚNEZ DE MAYOLO. 1987. El Niño occurrences over the past four and a half centuries. J. Geophys. Res. 92 (C13): 14.449-14.461.
- SCHWEIGGER, E. 1964. El Litoral Peruano. Segunda edición auspiciada por la Univ. Nac. Federico Villarreal. Lima. 414 pp.
- VÁSQUEZ, L., E. TELLO. 1998. Condiciones oceanográficas durante el Crucero BIC Humboldt 9803-05 de evaluación hidroacústica de recursos pelágicos desde Tumbes a Tacna. Inf. Inst. Mar Perú 135: 20-33.
- WOOSTER, W. y O. GUILLÉN. 1974. Characteristics of El Niño in 1972. J. Mar. Res. 32 (3):387-404.
- WYRTKI, K. 1963. El campo de movimiento horizontal y vertical en la corriente del Perú. Publicado por University of California Pres. Traducido por Ramon Mugica (UNFV).
- WYRTKI, K. 1974. "Equatorial currents in the Pacific 1950 to 1970 and their relations to the trade winds", J. Phys. Oceanogr. 4:372-380.
- ZUTA, S. y O. GUILLÉN. 1970. Oceanografía de las Aguas Costeras del Perú. Bol. Inst. Mar Perú Vol. 2 (5): 161-323.
- ZUTA, S., Y W. URQUIZO. 1972. Temperatura promedio de la superficie del mar frente a la costa peruana, periodo 1928-1969. Bol. Inst. Mar Perú Vol.2 (8): 459-520.