



# BOLETÍN

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

ISSN 0458 - 7766

Volumen 26, Números 1 y 2

CONCIMAR Perú



**II Congreso de Ciencias del Mar del Perú**  
Piura, Perú. Del 24 al 28 de mayo 2010



Enero - Diciembre 2011

Callao, Perú

## CONSEJO DIRECTIVO IMARPE 2011

### **Presidente**

Contralmirante (r) GERMÁN ABRAHAM VÁSQUEZ-SOLÍS TALAVERA

### **Vicepresidente**

Bióloga MARÍA PATRICIA YAMILE MAJLUF CHIOK

### **Directores**

Contralmirante JAVIER GAVIOLA TEJADA  
Ingeniero FRANCISCO E. PUENTE VELLACHICH  
Biólogo CARLOS RAÚL CASTILLO ROJAS  
Biólogo. JAIME HUMBERTO MENDO AGUILAR

### **Director Ejecutivo**

Economista CARLOS IVÁN PALOMARES PALOMARES

# CARGOS DIRECTIVOS IMARPE 2011

## Director Ejecutivo

Economista **CARLOS IVÁN PALOMARES PALOMARES**

## Director Científico

Bióloga Dra. **GLADYS SARA CÁRDENAS DE PELLÓN**

## Directores de Investigación

### Recursos Pelágicos Nerfíticos y Oceánicos

Biólogo **ANDRÉS CHIPOLLINI MONTENEGRO**

### Acuicultura, Gestión Costera y Aguas Continentales

Biólogo **CARLOS VERGARA MANRIQUE DE LARA**

### Recursos Demersales y Litorales

Biólogo **JOSÉ ZAVALA HUAMBACHANO**

### Pesca y Desarrollo Tecnológico

Ingeniero Pesquero **MARCELIANO SEGURA ZAMUDIO**

### Oceanografía

Ingeniero **LUIS VÁSQUEZ ESPINOZA**

### Jefe de la Unidad de Investigación y Desarrollo

Biólogo **VÍCTOR HUGO VERA SALDARRIAGA**

## Jefes de las Sedes Descentralizadas del IMARPE

Tumbes	Biólogo Dr. Jorge Llanos Urbina
Paíta, Piura	Biólogo Isaías González Chávez
Santa Rosa, Lambayeque	Biólogo Edward Barriga Rivera
Huanchaco, La Libertad	Biólogo Dr. Álvaro Tresierra Aguilar
Chimbote, Áncash	Biólogo Juan Rubio Rodríguez
Huacho, Lima	Ing. Pesq. Francisco Ganoza Chozo
Pisco, Ica	Biólogo Jorge Zeballos Flor
Matarani, Arequipa	Ing. Pesq. Marco Quiroz Ruiz
Ilo, Moquegua	Biólogo Ygor Sanz Ludeña
Puno	Biólogo Hugo Treviño Bernal



# BOLETÍN

## INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

ISSN 0458 - 7766

Volumen 26, Números 1 y 2

### CONCIMAR Perú



**II Congreso de Ciencias del Mar del Perú**  
Piura, Perú. Del 24 al 28 de mayo 2010



**Enero - Diciembre 2011**

**Callao, Perú**

**BOLETÍN INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ**  
**(ISSN 0458-7766)**  
**Bol Inst Mar Perú Vol XXVI (1-2), 2011**

PORTADA: Afiche utilizado durante la realización del CONCIMAR Perú  
II Congreso de Ciencias del Mar del Perú  
Piura, Perú del 24 al 28 de mayo 2010.  
Se incluyen sólo los trabajos presentados por el personal del IMARPE.

**© 2011 Instituto del Mar del Perú (IMARPE)**

Esquina Gamarra y General Valle s/n  
Casilla postal 22. Callao, Perú  
Teléfono 625.0800  
Fax: 429.9811  
C. electrónico: [imarpe@imarpe.pe](mailto:imarpe@imarpe.pe)

-----  
Jefe de la Unidad Investigación y Desarrollo  
VÍCTOR HUGO VERA SALDARRIAGA  
Editores  
PEDRO G. AGUILAR FERNÁNDEZ  
VIOLETA VALDIVIESO MILLA

-----  
"Proyecto GEF-PNUD-GEMCH Hacia un Manejo con Enfoque Ecosistémico  
del Gran Ecosistema Marino de la Corriente del Humboldt PIMS 4147"

-----  
Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2012-15159  
Reservados todos los derechos de reproducción, publicación  
total o parcial, la fotomecánica, los de traducción y la página Web.  
Tiraje: 300 ejemplares  
Terminado de imprimir: Diciembre 2012

Distribución: canje, suscripción o compra

PUNTO & GRAFÍA S.A.C.  
Av. Del Río 113, Pueblo Libre, Lima, Perú  
Telef. Central (511) 332-2328  
Correo electrónico: [prerensa@puntoygrafia.com.pe](mailto:prerensa@puntoygrafia.com.pe)

La información estadística, los mapas, figuras, términos y designaciones  
empleados en esta publicación científica son referenciales, no tienen  
valor oficial, y son de completa responsabilidad de los autores.

**BOLETÍN**  
**Instituto del Mar del Perú**  
ISSN 0458-7766  
**Volumen 26, Nos. 1 y 2**  
**Enero – Diciembre 2011**

**CONTENIDO**

**SEGUNDO CONGRESO DE CIENCIAS DEL MAR DEL PERÚ. PIURA, PERÚ, DEL 24 AL 28 DE MAYO 2010**

(TRABAJOS PRESENTADOS AL CONGRESO POR PERSONAL DEL IMARPE)

1. La paleolaguna de Otuma como potencial para la reconstrucción de las condiciones paleoceanográficas de Pisco.  
Otuma paleolagoon as potential for reconstruction of Pisco paleoceanographic conditions.  
ERNESTO FERNÁNDEZ, FEDERICO VELAZCO, JUANA SOLÍS .....7
2. pH como un trazador de la variabilidad biogeoquímica en el Sistema de Humboldt.  
pH as a tracer of biogeochemical variability in the Humboldt System.  
VIOLETA LEÓN, AURELIAN PAULMIER, JESÚS LEDESMA, PETER CROOT,  
MICHELLE GRACO, GEORGINA FLORES, OCTAVIO MORÓN, JOSÉ TENORIO .....19
3. Características geoquímicas de sedimentos del perfil Callao, Octubre 2008.  
Profile sediment cores geochemical characteristics Callao, October 2008.  
JUANA SOLÍS, FEDERICO VELAZCO, ERNESTO FERNÁNDEZ, WILSON CARHUAPOMA .....25
4. Comportamiento nictemeral del fitoplancton frente al Callao (12°S), Perú  
Phytoplankton nycthemeral behavior off Callao (12°S), Perú  
AVY BERNALES, FLOR CHANG, SONIA SÁNCHEZ, JESÚS LEDESMA,  
NELLY JACOBO, JORGE QUISPE, VÍCTOR ARAMAYO .....33
5. Principales corrientes marinas frente a la costa peruana durante el 2008-2009  
Major marine currents off the Peruvian coast during 2008-2009  
NOEL DOMÍNGUEZ, JORGE QUISPE, LUIS VÁSQUEZ .....39
6. Caracterización de la Zona de Mínimo de Oxígeno (ZMO) frente a la costa peruana entre 3°N y 14°S, 1999 – 2009  
Characterization of Oxygen Minimum Zone (OMZ) in front of Peruvian coast  
between 3°N and 14°S, 1999 – 2009  
JESÚS LEDESMA, JORGE TAM, MICHELLE GRACO, VIOLETA LEÓN,  
GEORGINA FLORES, OCTAVIO MORÓN .....49
7. Aspectos hidrológicos en el fondo marino peruano asociados a la Extensión Sur de la Corriente Cromwell  
(ESCC) entre 3° y 7°S  
Hydrological aspects in the Peruvian seabed associated with the  
Cromwell Current Southern Extension (CCSE) between 3° and 7°S  
JOSÉ TENORIO, ROBERTO FLORES, NOEL DOMÍNGUEZ .....59

8.	Composición funcional del grupo Polychaeta en la bahía de Paita y la plataforma adyacente (5°S), Perú. Febrero 2003 a octubre 2008 Functional composition of Polychaeta group in Paita Bay and the adjacent shelf (5°S), Perú. February 2003 to October 2008 WILLIAMS YUPANQUI, EDGARDO ENRÍQUEZ, LUIS QUIPÚZCOA, ROBERT MARQUINA, FEDERICO VELAZCO, CARLOS PAREDES, DIMITRI GUTIÉRREZ .....	65
9.	Sedimentos marinos superficiales en la bahía del Callao, Perú. 1997 Shallow marine sediments in the bay of Callao, Perú. 1997 FEDERICO VELAZCO .....	75
10.	Sedimentos marinos superficiales del litoral de Tacna, Perú, 2004 Shallow marine sediments off the coast of Tacna, Peru, 2004 FEDERICO VELAZCO, JUANA SOLÍS, FREDY CÁRDENAS .....	83
	Instrucciones a los autores .....	93

# La paleolaguna de Otuma como potencial para la reconstrucción de las condiciones paleoceanográficas de Pisco

## Otuma paleolagoon as potential for reconstruction of Pisco paleoceanographic conditions

ERNESTO FERNÁNDEZ

FEDERICO VELAZCO

JUANA SOLÍS

Laboratorio de Paleoceanografía. DIO. IMARPE

### Resumen

FERNÁNDEZ E, VELAZCO F, SOLÍS J. 2011. La paleolaguna de Otuma como potencial para la reconstrucción de las condiciones paleoceanográficas de Pisco. *Bol Inst Mar Perú* 26(1-2): 7-18.- Se describe la geomorfología del relieve de la paleolaguna de Otuma y se evalúa la preservación de sus registros calcáreos y su potencialidad para la reconstrucción paleoceanográfica y paleoecológica. Un pequeño acantilado marino y una plataforma de abrasión de suave pendiente con predominancia de arena y grava, sugieren un fondo submareal somero de 3,5 m de profundidad a 80 m de distancia de la orilla. La distribución de los registros calcáreos *in situ*, sobre el fondo de la paleolaguna sugiere un patrón de zonación ecológica. La abundancia de *Argopecten purpuratus* en los conchales demuestra su dominancia y la presencia de un antiguo y muy productivo banco natural de concha de abanico con una estructura de tallas 40 -140 mm. La preservación de las conchas permitió el análisis de sus anillos o líneas de crecimiento y la reconstrucción de sus ritmos y patrones de crecimiento que son valiosos para la reconstrucción de la variabilidad ambiental.

PALABRAS CLAVE: estudios paleontológicos, *Argopecten purpuratus*, paleolaguna, Otuma, Pisco, Perú.

### Abstract

FERNÁNDEZ E, VELAZCO F, SOLÍS J. 2011. Otuma paleolagoon as potential for reconstruction of Pisco paleoceanographic conditions. *Bol Inst Mar Perú*, 26(1-2): 7-18.- The geomorphology of Otuma paleolagoon is described; it calcareous records preservation and potential for paleoceanographic and paleoecology reconstruction were assessed. A low sea cliff and a soft slope abrasion platform with sand and gravel as dominant substrates suggests a shallow subtidal bottom 3.5 m deep at 80 m off shore. The distribution of calcareous records *in-situ* over the paleolagoon bottom suggests an ecological zonation pattern. The abundance of *Argopecten purpuratus* proves its dominance and the existence of a very productive natural bank of this bivalve, the shells showed a length distribution from 40 mm to 140 mm. The degree of preservation of the shells allowed an analysis of growth rings or lines, and the reconstruction of the species growth rhythm and pattern which are valuable to the reconstruction of environment variability.

KEYWORDS: paleo studies, *Argopecten purpuratus*, paleolagoon, Otuma, Pisco, Perú.

### Introducción

En el litoral de Pisco se encuentran algunos depósitos cuaternarios marinos recientes, localizados en los extremos internos de las bahías, los más notables se encuentran en la Bahía de Paracas, en Otuma y en Bahía Independencia. Algunas de estas terrazas marinas se elevan a escasos msnm y, en ciertos sectores, ocasionalmente, pueden ser invadidas por el agua marina (FERNÁNDEZ DÁVILA 1993).

En Otuma los conchales y las características geomorfológicas asociadas a estos depósitos se pueden observar en un estado relativamente intacto (no disturbado), dado que la vegetación es casi inexistente y que la erosión del viento no ha producido ningún cambio significativo desde el levantamiento de la bahía; las

formaciones costeras que han sido preservadas en la bahía aparecen remarcadamente frescas (CRAIG y PSUTY 1971). Resultados de datos isotópicos de material del conchal de los sitios de Otuma (PSUTY y CRAIG 1970) indican que la habitación de los sitios se remonta hacia 3650 BP<sup>1</sup>.

La paleolaguna de Otuma antiguamente fue una bahía somera y un ecosistema de fondos blandos cuya productividad sustentó un banco natural de concha de abanico. Actualmente contiene registros geológicos principalmente restos biogénicos de conchas de moluscos, los más evidentes, acumulados en "conchales" o montículos de valvas de conchas ubicados en los bordes del perímetro de la paleolaguna como resultado de la recolección y alimentación de antiguos pobladores (Fig. 1).

<sup>1</sup>3600 años antes del año 1950 de la era actual



Figura 1.- Vista panorámica de la paleolaguna de Otuma. En la parte inferior de la imagen se observa una banda clara de una acumulación de conchas o "conchal" ubicado encima del borde de la paleolaguna, cuya magnitud se puede apreciar por comparación con la silueta de una persona de pie sobre el conchal. De izquierda a derecha se nota la caída de la pendiente y las diversas tonalidades de los estratos del relieve de lo que fue el antiguo fondo submarino de la paleolaguna. Al fondo se aprecia un cuerpo de agua ubicado en lo que fue el antiguo centro de la paleolaguna.

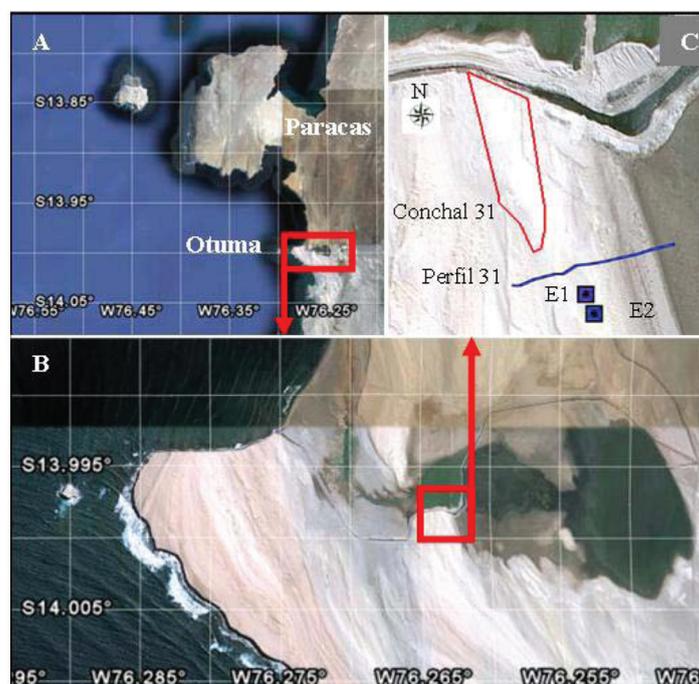


Figura 2.- Imágenes satelitales de la paleolaguna de Otuma (Fuente Google Earth). A: Ubicación de la paleolaguna de Otuma en Pisco, B: Ubicación de la zona oeste seleccionada para el muestreo, C: Ubicación del conchal, perfil y cuadrantes en la zona de muestreo

También contiene restos biogénicos de conchas de moluscos depositados sobre o dentro del antiguo fondo de la paleolaguna de Otuma que mantuvieron su antigua posición después de que los levantamientos tectónicos generaran el ascenso del fondo marino por encima del actual nivel del mar y la formación de una terraza marina (CRAIG y PSUTY 1971, FERNÁNDEZ DÁVILA 1993).

El objetivo de la presente investigación es evaluar la potencialidad de Otuma para la reconstrucción de las condiciones paleoceanográficas. Implica el estudio de

la formas del relieve de la Paleolaguna de Otuma y de los cambios sufridos en su ciclo geográfico (geomorfología), por la acción de los agentes del modelado terrestre, desde que se elevó sobre el nivel del mar. Implica también el estudio de sus registros geológicos y la reconstrucción de las condiciones paleoecológicas y paleoceanográficas que existieron alrededor del holoceno tardío. El conocimiento de las condiciones paleoceanográficas y paleoecológicas del ecosistema marino de la Paleolaguna de Otuma puede ayudar a la comprensión de ecosistemas similares de Pisco en escenarios actuales y futuros.



Figura 3.- Levantamiento del perfil 31 del relieve del antiguo fondo de la paleolaguna de Otuma. Zonas del perfil A: superior, B: media, C: inferior



Figura 4.- Detalles del muestreo de conchas de los cuadrantes. A: Zona de ubicación del cuadrante, B: cuadrante de 1 m<sup>2</sup>, C: excavación y muestreo de conchas inmersas en el sedimento

## Material y métodos

La Paleolaguna de Otuma está ubicada al sur de Pisco (13,99°S, 76,25°W) (Fig. 2A). Se realizó un reconocimiento del contorno y zonas internas de la paleolaguna, en busca de algunos de los 31 sitios de "conchales" reportados por ENGELS (1957) y por CRAIG y PSUTY, (1971) los cuales fueron georreferenciados en modo estático con un navegador GPS Garmin 12.

En el lado noroeste de la paleolaguna, cerca de la entrada de la misma, se seleccionó y caracterizó el "conchal" (=depósito, acumulación o conglomerado de conchas) N° 31 (13°59,926'S, 76°15,784'W) (Fig. 2B y 2C) y se tomaron muestras de conchas. Cerca a éste se ubicó la zona del perfil 31 (13° 59,981''S, 76° 15,758''W), donde se caracterizó el relieve litoral y sumergido del antiguo fondo de la paleolaguna y se tomaron muestras superficiales de sedimentos y conchas (Fig. 2C).

Para caracterizar el relieve de la paleolaguna se trazó un transecto perpendicular, desde el borde hacia el fondo de la paleolaguna (Fig. 3). Se establecieron niveles y segmentos en función de la variabilidad de las pendientes y los cambios en los tipos de sedimentos o roca expuesta. Para la medición de la inclinación y

amplitud de los diferentes tipos de sustratos se empleó una brújula tipo Brunton, jalones, mira y una wincha graduada. La caracterización del perfil permitió obtener información de la configuración batimétrica y espacial del relieve, así como de la ubicación, composición, y amplitud de las bandas de sedimentos y restos biogénicos.

Alrededor del perfil y en la zona de mayor abundancia de restos de conchas de moluscos, se establecieron dos cuadrantes (1 m<sup>2</sup>) de muestreo: E1 (13°59,962'S, 76°15,766'W) y E2 (13°59,969'S; 76°15,763'W) donde, se colectó restos calcáreos superficiales y enterrados (Fig. 4) excavando, con sumo cuidado, con un picota y puntas hasta 30 cm de profundidad y luego barriendo el sedimento fino con brochas. Se tomó muestra de unos 500 g de sedimento en los 5 cm superiores.

Se midió la altura valvar de las conchas de abanico *Argopecten purpuratus*, se determinó la estructura de tallas, y su estado de preservación mediante observaciones microscópicas. Se estudió algunos aspectos del microcrecimiento de las conchas a partir del análisis de imágenes estereoscópicas de sus peculiares "anillos de crecimiento" formados por la disposición espa-

cial de las crestas u ornamentaciones superficiales de las conchas. Al respecto se tomaron microfotografías (10x) de la superficie externa de las conchas, se realizó una composición de las imágenes, se trazó un eje en la costilla central de la concha, sobre el cual se realizó el conteo de las crestas y se midieron las distancias entre ellas para establecer el micro crecimiento.

Se realizó el análisis granulométrico de las muestras de sedimento, para determinar el contenido de las fracciones de grava, arena y fango (limo + arcilla) mediante tamizado según INGRAM (1971); también se determinó el contenido de materia orgánica total y de carbonatos totales mediante el método de calcinación de DEAN (1974).

## Resultados y discusión

### GEOMORFOLOGÍA DE LA PALEOLAGUNA DE OTUMA

El perfil 31 del relieve de la Paleolaguna de Otuma presentó de modo general una configuración de dos niveles sub-horizontales separados por una zona de abrupta pendiente (Figs. 5, 6 y 7). El nivel superior ubicado en el segmento 1-3 del perfil presentó una inclinación de 12 a 22% y una amplitud de 31,5 m; debajo de este nivel y en el segmento 3-5 del perfil se observó una zona intermedia de abrupta pendiente con una fuerte inclinación de 34 a 62% y una amplitud de 5,5 m. El nivel inferior (segmento 5-12) presentó una suave inclinación (1 a 9%) y una gran amplitud (78,71 m). Mas allá del perfil, con dirección hacia el centro de la paleolaguna se observó una muy suave inclinación de alrededor del 1%.

La zona intermedia de abrupta pendiente corresponde a un acantilado de 2,2 m de altura, el cual forma parte del acantilado descrito por CRAIG y PSUTY (1971) que bordea casi en forma continua el perímetro de la paleolaguna. El acantilado está compuesto por dos tipos de superficie: (i) en el segmento 3-4, se observó un afloramiento de roca expuesta intemperizada y venillas de sales, así como suelo, canto y grava; (ii) en el segmento 4-5 se observó roca y canto rodado y la predominancia de rocas limolita.

**Por encima del acantilado**, en la banda superior del perfil del relieve, en la zona 1-2 se observó una capa de suelo sobre la roca intemperizada, con presencia de cantos, grava y arena, y una disminución de tamaños con dirección hacia la paleolaguna. En la zona 2-3 se observaron sedimentos intemperizados y la presencia de grava y arena fina.

**Por debajo del acantilado**, en el segmento 5-6, se observó roca expuesta con 1/3 de su superficie cubierta con suelo; el segmento 6-7 presentó roca expuesta (limolita) y grava; el segmento 7-8 presentó suelo formado por gravas hasta arcillas en el primer tercio y suelo fragmentado de roca expuesta en los dos tercios restantes. En el segmento 8-9 se halló un afloramiento de roca limolita expuesta, intemperizada y muy alte-

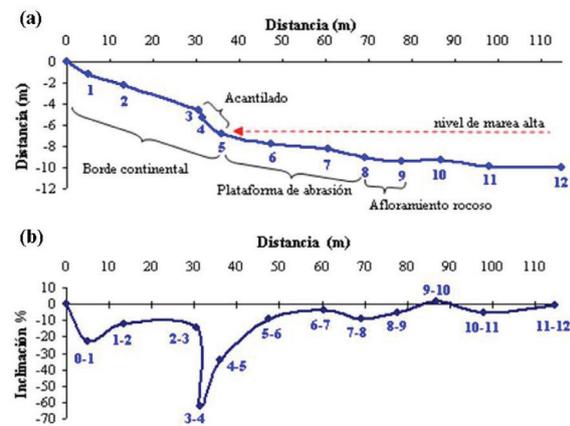


Figura 5.- Relieve de la Paleolaguna de Otuma en el perfil 31. (a) dimensiones (b) inclinación.

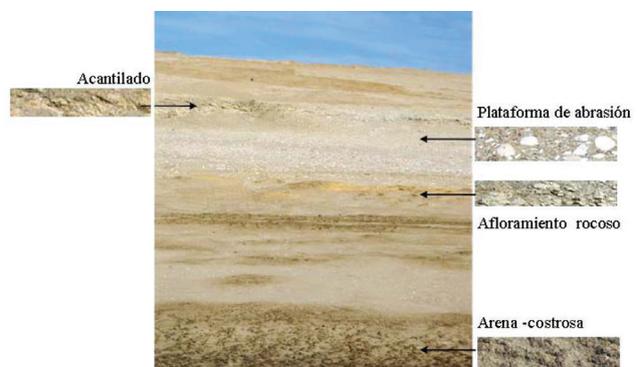


Figura 6.- Vista frontal del relieve del antiguo fondo de la Paleolaguna de Otuma



Figura 7.-Vista lateral del relieve del antiguo fondo de la Paleolaguna de Otuma A: imagen satelital del relieve y de los puntos georreferenciados del perfil 31, B: detalles del acantilado, C: de la plataforma de abrasión, D: del afloramiento rocoso y E: de la arena costrosa.

rada; además, suelo cubierto de grava, arena y arcilla así como una costra de sales; en el segmento 9-10 se registró suelo con grava angular, grava fina, arena, fango y presencia de sal, en esta zona se presentó una inclinación positiva (1%) que se manifestó como una elevación o montículo. En el segmento 10-11 se halló grava, arena y costras de sal, en la zona 11-12 se encontró suelo de grava gruesa y fina hasta arcilla, sales y fango. En el segmento 12-13 se observó suelo de arena mezclada con sal en relieve irregular, costro-

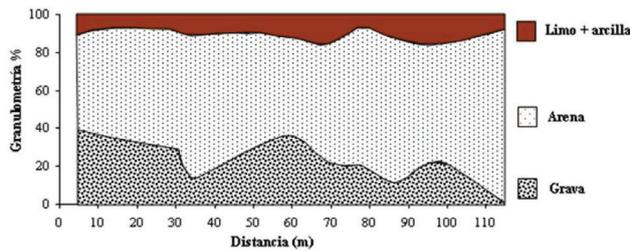


Figura 8.- Textura de los sedimentos en el relieve de la paleolaguna de Otuma.

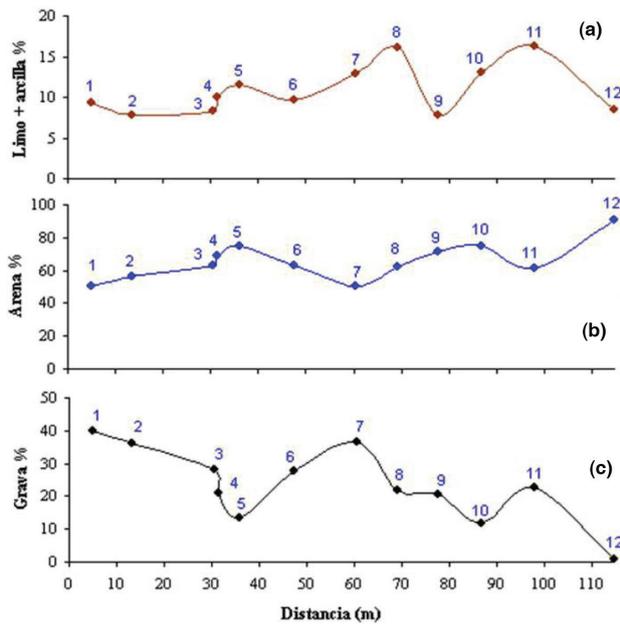


Figura 9.- Variabilidad granulométrica en el relieve de la paleolaguna de Otuma. (a) limo + arcilla, (b) arena, (c) grava

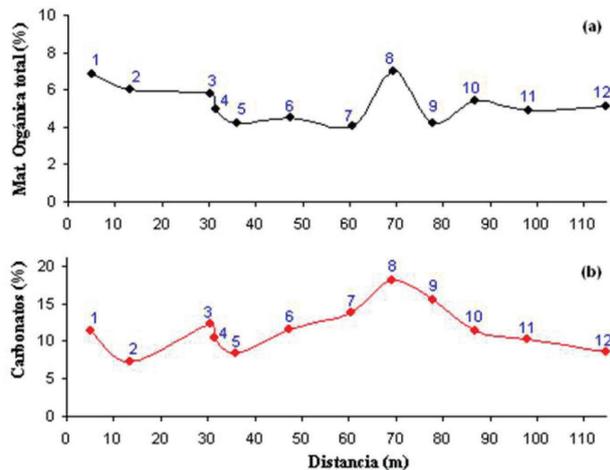


Figura 10.- Materia orgánica total (a) y carbonatos (b) en los sedimentos del relieve de la paleolaguna de Otuma.

so, fracturado, que se proyectó en forma similar con dirección hacia el centro de la paleolaguna. En el segmento 11-12 se observaron ciertas áreas humedecidas con evidencias del alcance de la zona de máxima inundación y en el segmento 12-13 el suelo presentó apariencia húmeda. En el segmento 11-12 se hallaron en el sedimento ondulaciones conformadas por arena y costras de sal, estructuras originadas por efecto del transporte por el viento de esta zona emergida y la compactación y dureza de la superficie es transferida al evaporarse las sales de esta zona húmeda.

Hacia el centro de la paleolaguna se observó un cuerpo de agua correspondiente a una laguna actual y moderna (de menor dimensión que la paleolaguna) formada como consecuencia del suministro de agua de mar por canalización hacia la pozas de evaporación solar de las Salinas de Otuma por actividades antrópicas para la producción y comercialización de sal.

El acantilado se formó por la acción del oleaje de la paleolaguna, sobre la base de la roca, ocasionando su socavamiento y derrumbe, favoreciendo su desintegración y descomposición (meteorización). Luego en la plataforma de abrasión, el oleaje y el transporte de las mareas favorecieron la erosión de la roca particulada y la formación de sedimentos. El punto de quiebre de la pendiente en la base del acantilado (punto 5) es el nivel de referencia que permite definir la posición del antiguo nivel de marea alta de la paleolaguna.

Cabe mencionar que en el lado sur de la paleolaguna de Otuma, los bordes o acantilados observados no son tan marcados como en el lado norte; la pendiente es menos pronunciada y los bordes son suavizados, no abruptos.

La suave pendiente del relieve en el perfil de la estación 31, estaría indicando en general un oleaje más suave o moderado en los bordes del lado sur de la paleolaguna. Al respecto, CRAIG y PSUTY (1971) mencionan que en el otro extremo de la paleolaguna hacia el borde norte hay evidencias de sedimentación y formación de un frente de playa arenosa.

**TEXTURA DE LOS SEDIMENTOS**

Los sedimentos en el perfil muestran una predominancia de la fracción arena (diámetro de partícula entre 2 mm a 63 micras), seguida por la abundancia de partículas de grava (mayores a 2 mm) y una menor proporción de fango (<63 micras) (Fig. 8). En términos generales, se observaron tendencias creciente y ligeramente creciente en la proporción de arena y de limo + arcilla, respectivamente, a medida que aumentó la distancia a la orilla en el perfil. En cambio en la grava sucedió lo contrario, la tendencia fue decreciente.

Es destacable la presencia de dos picos mínimos de grava entre 30-40 m y 80-90 m de distancia, ambos asociados a afloramientos rocosos, el primer pico aso-

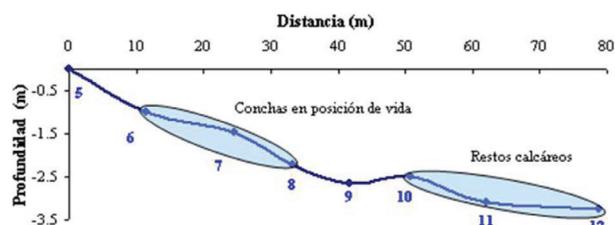


Figura 11.- Zonación submareal de moluscos bentónicos en la paleolaguna de Otuma.

ciado a la base del acantilado ubicado entre 30-40 m y el segundo pico asociado al afloramiento y probable punto de quiebre de la ola (70-80 m y 90 m de distancia, respectivamente).

En ambos casos la inclinación del relieve y el transporte de masas de agua por el impacto del oleaje y mareas (en el primer pico) o por efecto de arrastre de la masa de agua en el posible punto de quiebre de la ola (en el segundo pico) fueron probablemente los agentes responsables de la disminución de la proporción de partículas grandes del tamaño de la grava en estas zonas.

Por el contrario los picos máximos de grava encontrados a 60 y 100 m de distancia posiblemente responden a la acumulación de la roca meteorizada por erosión marina en la zona inferior de la plataforma de abrasión (cerca a los 70 m de distancia) en el caso del primer pico máximo y al proceso de acumulación detrás del montículo del probable punto de quiebre de la ola en el caso del segundo pico máximo.

El patrón de variabilidad granulométrica de los sedimentos a lo largo del relieve de la paleolaguna (Fig. 9), mostró un comportamiento inverso entre la proporción de grava y arena; por ejemplo zonas con disminución en la acumulación de grava presentaron un aumento en la acumulación de arena y viceversa.

En el patrón de variabilidad del limo+arcilla es destacable la tendencia ascendente en la zona 6-8 y un pico máximo a 70 m de distancia así como un segundo pico máximo alrededor de 100 m de distancia en la zona 10-12.

La textura en las muestras de sedimentos del perfil presentó ciertas coincidencias con la de los cuadrantes. Así por ejemplo, los porcentajes de grava (31,67 y 35,84%) y arena (59,57 y 46,34%) obtenidos en los cuadrantes E1 y E2, respectivamente, fueron cercanos al rango de valores de los porcentajes registrados en el segmento 6-7 del perfil. Los porcentajes de limo+arcilla (8,76 y 17,82%) de los cuadrantes E1 y E2 respectivamente fueron cercanos al rango de valores de los porcentajes registrados en el segmento 6-8.

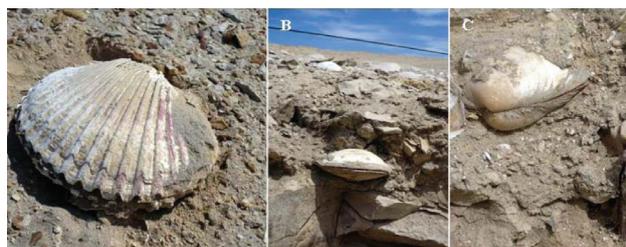


Figura 12.- Conchas de moluscos bentónicos en posición de vida en la paleolaguna de Otuma. A: concha de abanico sobre el sedimento en la zona 6-8 del perfil, B y C: conchas de almeja y navaja enterradas dentro del sedimento en los cuadrantes E1, E2.

### GEOQUÍMICA DE LOS SEDIMENTOS

Los picos máximos de materia orgánica (7,01%) y carbonatos totales (18,04%) se presentaron alrededor de 70 m de distancia en el punto 8 y estuvieron asociados al primer pico máximo de limo+arcilla (Fig. 10a). De otro lado, en la concentración de carbonatos (Fig. 10b) se observó una tendencia ascendente en la zona 1-8, un pico máximo en 8 (17%) y luego una tendencia descendente entre la zona 8-12. En general (con excepción del segmento más distal de la orilla) los contenidos de materia orgánica y carbonatos mostraron similar tendencia probablemente asociada a la presencia de comunidades de moluscos gasterópodos y pelecípodos.

Los resultados de materia orgánica (2,73 y 3,91%) de las muestras de sedimentos de los cuadrantes E1 y E2 respectivamente fueron en general menores a los valores observados a lo largo del perfil y específicamente menores a los registrados en las zonas 6-8 (4,09-7,01% respectivamente); sin embargo, los resultados de carbonato de los cuadrantes (13,31 y 15,60%) estuvieron dentro del rango observado (11,58-18,04) en las zonas 6-8 del perfil.

### ZONACIÓN SUBMAREAL DE REGISTROS BIOGÉNICOS CALCÁREOS

Se observó cierta zonación en la distribución espacial de los restos biogénicos, así en los segmentos 6-8 y 10-12 del perfil del relieve se encontraron conchas de bivalvos bentónicos principalmente de concha de abanico, almeja y navaja (Fig. 11). La ausencia de registros calcáreos en el segmento 8-10 representó una discontinuidad del parche de distribución de los moluscos bentónicos.

En el segmento 6-8 se encontraron valvas sueltas dispersas sobre el sedimento, pero también se encontró ejemplares con las dos valvas unidas y cerradas en "posición de vida"; es decir, en la posición natural que tuvieron en su hábitat, a una profundidad de 1 a 2,5 m. Así por ejemplo, ejemplares de concha de abanico fueron encontrados en posición horizontal sobre la superficie del sedimento, y ejemplares de navaja en posición vertical con una porción de sus valvas enterradas en el sedimento.

Tabla 1.- Reconocimiento de conchales en la Paleolaguna de Otuma

Código	Lat. S	Long W	Descripción
(1) I	13° 59,707' 13° 58,767'	76° 15,987' 76° 15,212'	"Conchal" 1 Punto Norte de la carretera con dirección hacia Paracas
II	13° 59,226'	76° 15,308'	Conchal afectado por tractores camino de trocha (destruido), abundancia de organismos, 30 m de extensión aproximadamente.
III	13° 59,148'	76° 15,227'	Depósito superficial disperso de concha de abanico, almejas, navajas, fragmentado, 50 m largo
IV	13° 59,179'	76° 15,245'	Pequeño depósito superficial de concha de abanico, almejas, al lado de la carretera, afectado por excavación de cargador frontal.
VII	13° 59,392'	76° 15,034'	Conchal de conchas de abanico bien preservadas
VIII	13° 59,366'	76° 15,060'	Pequeño conchal de 8 m de largo
IX	13° 59,284'	76° 15,047'	Depósito semi circular de concha de abanico y almeja, diámetro 10 m x 15 m, al costado de huellas de tractor o camino de gente, podría ser un conchal.
X	13° 59,685'	76° 14,710'	Cruce del canal de agua con la carretera, paralelo a la carretera hay un conchal
XI	14° 00,200'	76° 15,129'	Conchal de 20 a 30 m de extensión en el borde sur de la paleolaguna. Se encontró una concha de choro zapato desenterrado de la arena.
XII	14° 00,160'	76° 15,449'	Conchal grande de 30 m de extensión en el lado sur de la paleolaguna, muestra una buena secuencia de acumulación de conchas de 1m de altura, aproximadamente.
XIII XIII-b	14° 00,136' 14° 00,042'	76° 15,677' 76° 15,725'	Conchal sur, amplio depósito (40 x 15 m) de poco espesor. Abundancia de concha de abanico, almeja, navaja
XIV	13° 59,981'	76° 15,758'	Amplia área de patrones de zonación de concha de abanico y navaja en posición de vida, zona seleccionada para perfil
(31)	13° 59,926'	76° 15,784'	"Conchal 31". Depósito de gran extensión (40 m aproximadamente) en el extremo sur-oeste de la paleolaguna cerca de la boca de entrada y al canal, con buena secuencia de conchas de aproximadamente 2m de altura.
XVI	13° 59,895'	76° 15,832'	Punto topográfico del canal de la Salinera por encima del borde de la paleolaguna al extremo sur-oeste del cuerpo interior de la paleolaguna.
XVII	14° 0,085'	76° 14,736'	Punto Sur de la carretera con dirección hacia Laguna Grande

En el segmento 10-12 se encontraron principalmente valvas sueltas y restos de las mismas dispersas sobre el sedimento en un rango de profundidad de 2,5 a 5,5 m.

En el segmento 8-10, una depresión-elevación en el relieve, situado aproximadamente a 40 m de distancia de la orilla y a 3 m de profundidad, sugiere la probable ubicación del punto de quiebre del oleaje y un ambiente submareal rocoso inestable que podría explicar en esta zona la ausencia de restos de moluscos bentónicos de fondos blandos.

Los picos máximos de limo+arcilla encontrados en los puntos 8 y 11 del fondo de la paleolaguna, coinciden con los segmentos 6-8 y 10-12, donde se determinó la presencia de registros calcáreos. Los picos máximos de materia orgánica y carbonatos registrados en el punto 8 sugieren también una asociación con los registros biogénicos calcáreos de la zona 6-8.

Aun cuando sobre el fondo del segmento 6-8 yacen principalmente fragmentos de roca angular y conchas de mayor peso, se presume que originalmente la paleolaguna presentó mayor proporción de sedimentos finos como fango, típicos de fondos blandos, tal como actualmente se caracterizan los sustratos de los bancos naturales de concha de abanico, almeja y navaja en el litoral de Pisco.

Al respecto, la erosión eólica de los vientos del sur,

principalmente los vientos "Paracas", debieron haber removido la mayoría de los sedimentos finos superficiales de la paleolaguna, después de su levantamiento. Sin embargo, debajo de la superficie dura y compactada del relieve, junto o incluso dentro de las valvas de almejas y navajas se encontraron sedimentos finos.

En los cuadrantes E1 y E2 se encontraron conchas navaja y almeja con sus dos valvas juntas y unidas en "posición de vida" enterradas en el sedimento a una profundidad de 0 a 30 cm; en el caso de la navaja, ésta se encontró en varias capas a diversos niveles de profundidad (Fig. 12).

#### CONCHALES O ACUMULACIÓN DE CONCHAS

Durante el reconocimiento de la paleolaguna de Otuma se ubicaron y georreferenciaron 11 "conchales" (Fig. 13, Tabla 1) de los 31 registrados por CRAIG & PSUTY (1971): 6 "conchales" ("conchal" 1, II, III, IV, VII y VIII) se ubicaron en el borde norte de la paleolaguna, 1 "conchal" (X) se ubicó en el borde este y 4 conchales (XI, XII, XIII, conchal 31) se ubicaron en el borde sur de la paleolaguna.

Algunos "conchales" fueron pequeños de sólo algunos metros de magnitud (longitud) pero otros fueron de gran tamaño, alrededor de una centena de metros de magnitud. Todos los conchales estuvieron dispuestos en forma paralela al borde de la paleolaguna.

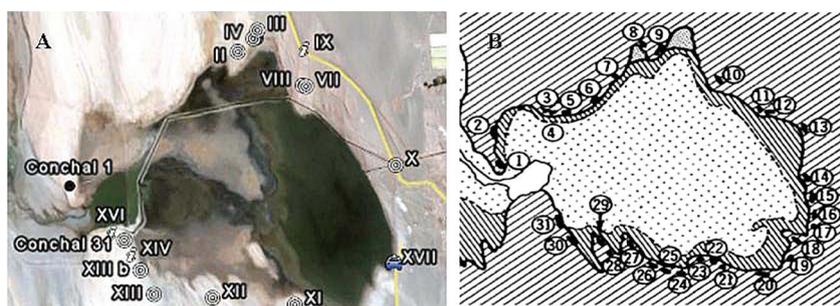


Figura 13.- Imagen satelital y esquema, de los "conchales" de la paleolaguna de Otuma  
A: reconocimiento en el presente estudio, B: CRAIG y PSUTY (1971)

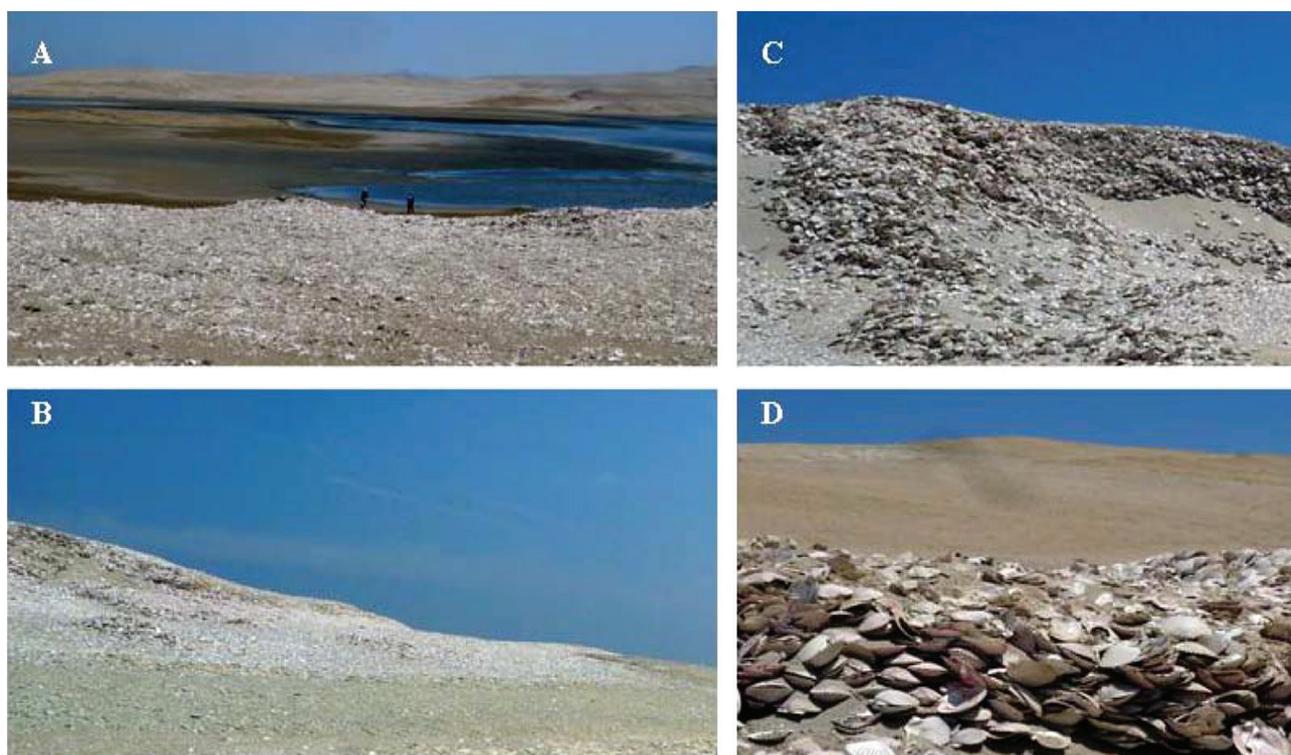


Figura 14.- Vistas del "conchal" 31 en el extremo sur-oeste de la paleolaguna de Otuma A: vista posterior del conchal sobre el borde de la paleolaguna, B: vista lateral del "conchal", C y D: detalles de la secuencia de capas y composición del "conchal"

Aunque no se estudiaron los "conchales" ni se tomaron muestras de los exoesqueletos durante el reconocimiento, se pudo apreciar que en todos ellos fue evidente la dominancia de concha de abanico. También se observaron algunas conchas de almeja y en el conchal XI se encontró y recolectó una valva de "choro zapato".

Dadas sus características y su cercanía al camino quedan dudas si el depósito IX corresponde a un "conchal" de la paleolaguna o a un montículo o acumulación actual ("moderna") de restos de conchas arrojados por algún vehículo en su camino de Laguna Grande a Pisco.

Con respecto al conchal 31, se encontró una gran acumulación de valvas predominantemente de concha de

abanico en un área aproximada de 400 m<sup>2</sup>, formando un gran montículo o "conchal", cuya altura varía desde pocos centímetros hasta alrededor de 3,0 m, ubicada a niveles paralelos a las de las zonas 1 a 4 del perfil 31, es decir por encima y sobre el acantilado (Fig. 14).

El conchal 31 está ubicado en el borde continental, a nivel de las zonas 1-3 del perfil 31 y sobre parte del acantilado (zonas 3-4). Al parecer, las valvas de las conchas recolectadas del fondo somero de la paleolaguna, y consumidas por los antiguos recolectores de Otuma fueron acumuladas sobre el mismo borde de la paleolaguna y en el área superior del acantilado (Fig. 15).

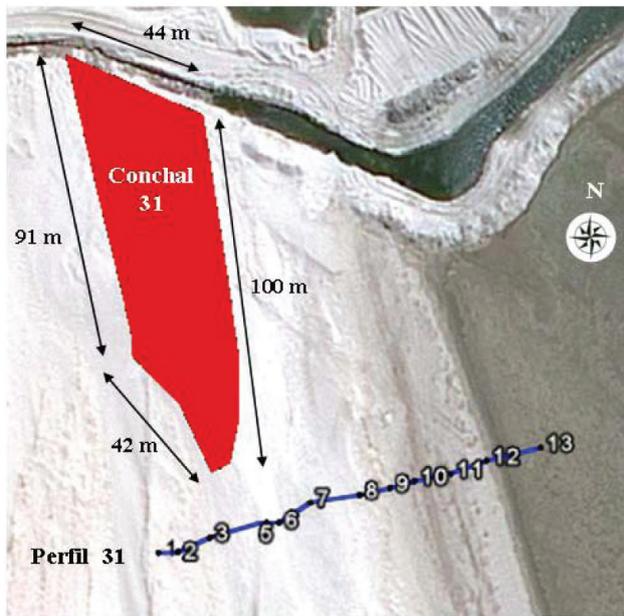


Figura 15.- Dimensiones del "conchal" 31 y su ubicación en la paleolaguna de Otuma

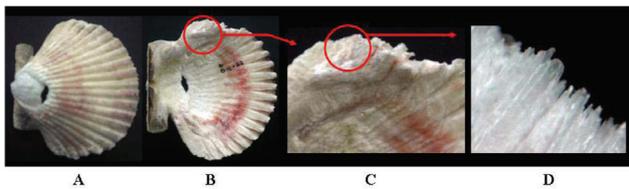


Figura 16.- Desintegración de una concha de abanico del conchal. A: vista superficial, B: vista interior, C: detalle del borde, D: minerales de calcita

#### ESTADO DE PRESERVACIÓN DE LAS CONCHAS

En algunas conchas recolectadas de la superficie del conchal 31 se observó un alto grado de desintegración y corrosión del material calcáreo, principalmente en los bordes y en la curvatura convexa cercana al umbo. Las conchas se tornaron débiles y quebradizas, perdieron la estructura superficial de sus líneas y anillos de crecimiento y dejaron al descubierto los minerales de calcita (Fig. 16).

Sin embargo, se encontraron también conchas bien preservadas (Fig. 17) en muy buen estado de conservación, con buena dureza del material calcáreo y manteniendo intactas sus líneas y anillos de crecimiento, incluso en varias de ellas se mantuvo su coloración rosácea original. Los factores de deterioro de los exoesqueletos son varios: (i) en la capa externa del conchal son la intemperización por radiación solar y la erosión eólica; (ii) en las capas interiores, es la sal y la humedad que al contacto con el material calcáreo lo corroe químicamente.

En el fondo de la paleolaguna 31 se encontraron valvas con coberturas de algas y tubos de poliquetos (Fig. 18). Dichas coberturas sirvieron de protección



A



B

Figura 17.- Conchas de abanico del conchal mal preservadas (A) y bien preservadas (B)

a las conchas ante la intemperización. Luego de limpiarse las coberturas, las valvas presentaron un buen estado de preservación (Fig. 19B). Varias conchas que se encontraron con las dos valvas juntas y cerradas presentaron en su interior sedimentos o una costra de sal pegada a la valva. También se observaron valvas izquierdas mal preservadas (Fig. 19A) probablemente por corrosión salina y la abrasión al contacto con el sedimento pero también se encontraron valvas derechas mal preservadas por intemperización de la fuerte radiación solar y la intensa erosión eólica.

En las conchas bien preservadas, provenientes de los registros arqueológicos del "conchal" así como del registro geológico del fondo de la paleolaguna, se detectaron con claridad (a simple vista y bajo aumentos al estereoscopio) los anillos y líneas de crecimiento en la superficie externa de las conchas, principalmente en las porciones central y del borde ventral de la concha. En la porción cercana al umbo, en varias conchas se observó un desgaste superficial que no permitió la visualización de las líneas o anillos de crecimiento en dicha porción.

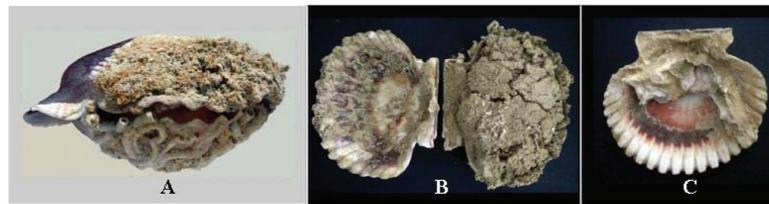


Figura 18.- Conchas de la paleolaguna A: con cobertura de algas y poliquetos, B: sedimentos y (C) sal.



Figura 19.- Conchas de abanico de la paleolaguna. A: mal preservadas y B: bien preservadas.

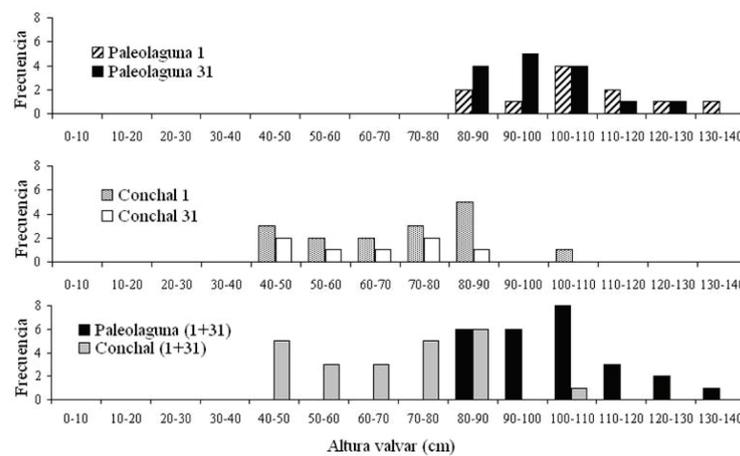


Figura 20.- Frecuencia de tallas (altura valvar) en conchas de *A. purpuratus* de Otuma

### ESTRUCTURA DE TALLAS DE LAS CONCHAS

La estructura de tallas de conchas de *Argopecten purpuratus* de Otuma (Fig. 20) presentó altura valvar con un rango de 40 a 140 mm; las menores procedentes de los conchales (40-110 mm), y las de mayor tamaño provenientes del fondo de la paleolaguna (80-140 mm); en la zona de la boca norte de la paleolaguna (paleolaguna 1) fue ligeramente mayor (80-140 mm) que la talla alcanzada en la boca sur (paleolaguna 31) (80-130 mm). Similar comportamiento se observó en la talla de las conchas del conchal 1 (40-110 mm) y del conchal 31 (40-90 mm).

### MICROCRECIMIENTO EN CONCHAS DE *ARGOPECTEN PURPURATUS*

La abrasión de la superficie de la valva en la porción de la curvatura del tercio dorsal, cercano al umbo, imposibilitó la detección de las líneas y anillos de

crecimiento en esta zona. Solamente se pudieron detectar los anillos del tercio medio y del tercio cercano al borde ventral, por tanto los conteos de las líneas y las mediciones de los microincrementos sólo se efectuaron en las zonas mencionadas y no en la totalidad de la longitud del eje de la altura valvar de la concha (Fig. 21).

Así por ejemplo en la concha 7 se detectaron anillos de crecimiento en 66 mm del eje de medición, desde el borde ventral hacia el umbo y no se detectaron anillos en los restantes 23 mm cercanos al umbo. La altura valvar de la concha fue de 89 mm por tanto se logró cuantificar anillos en el 74% del total de la altura valvar. Por otro lado en la concha 35 se detectaron anillos de crecimiento en 29 mm del eje de medición, desde el borde ventral hacia el umbo y no se detectaron anillos en los restantes 23 mm cercanos al umbo. La altura valvar de la concha fue de 52 mm por tanto se logró

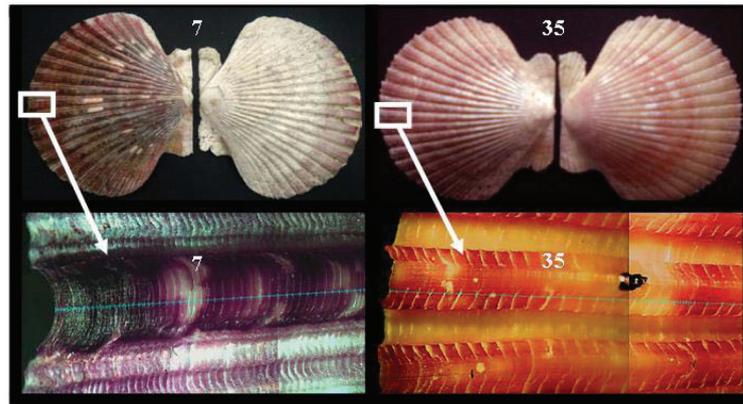


Figura 21.- Anillos o líneas de crecimiento (aumento 10 x) de *A. purpuratus* en Otuma 7: concha del fondo de la "Paleolaguna 1", 35: concha del "Conchal 31"

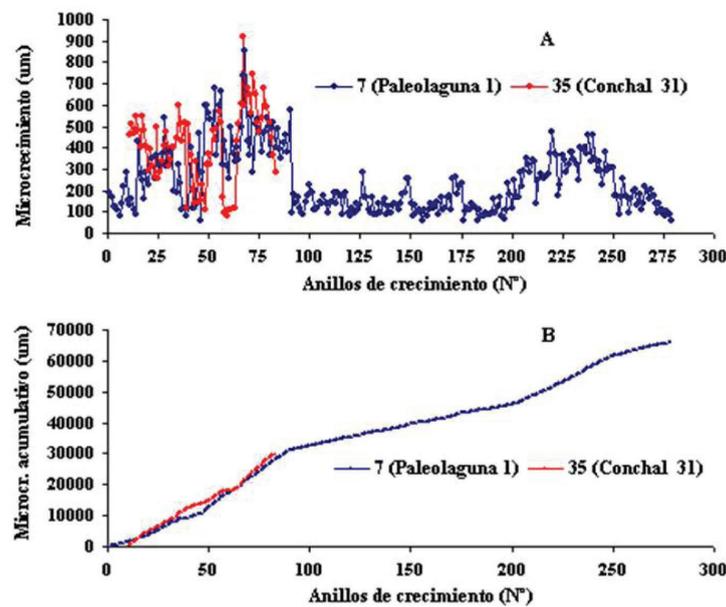


Figura 22.- Microcrecimiento de *A. purpuratus* en Otuma A: Patrón de variabilidad del microcrecimiento, B: Microcrecimiento acumulativo.

cuantificar anillos en el 56% del total de la altura valvar. Cabe destacar la similitud en ambas conchas de los 23 mm de la longitud de la valva sin detección de anillos, aun cuando ambas conchas fueron de diferentes dimensiones, lo cual podría explicarse, independientemente del tamaño de la concha, por la marcada curvatura de la superficie convexa de la concha en sus primeros meses de vida, que la expone abiertamente a la abrasión del sedimento principalmente en la valva izquierda que toma la posición inferior y está en continuo contacto con el sedimento.

Es importante notar ciertas diferencias entre las conchas 7 y 35, una de ellas es su ubicación en la paleolaguna, la concha 7 provino del fondo de la misma en la zona "Paleolaguna 1" ubicada en el lado sur de la boca de entrada de la paleolaguna, en cambio la concha 35 provino de un conchal, específicamente del "Conchal 31" ubicado en el lado norte de boca de en-

trada de la paleolaguna. Otra diferencia es el tamaño de las conchas, al respecto la concha 7 fue de mayor tamaño y presento una altura de 89 mm, un ancho de 100 mm y una longitud de 39 mm, en cambio la concha 35 presento dimensiones de 52 mm, 55 mm y 20 mm, respectivamente.

Según los patrones de variabilidad del microcrecimiento (Fig. 22A) y la tendencia de la curva acumulativa del mismo (Fig. 22B), se observaron ciertas coincidencias entre la concha 7 proveniente de la "Paleolaguna 1" y la concha 35 proveniente del "Conchal 31" en el periodo comprendido entre los primeros 100 anillos de la concha 7 y los 73 anillos de la concha 35, las cuales se ajustaron mejor al coincidir el primer anillo de la concha 35 con el anillo 13 de la concha 7 y el último anillo de la concha 35 (anillo 73) con el anillo 83 de la concha 7.

En esta secuencia de ajuste el patrón de variabilidad del microcrecimiento en la concha 35 fluctuó en el rango de 59 a 922  $\mu$  y en la concha 7 en el rango de 59 a 853  $\mu$ , coincidiendo temporalmente ambos picos máximos en el anillo 67. Al respecto THEBAULT et al. (2008) reportó un menor rango de variabilidad del microcrecimiento de la concha de aproximadamente 100 a 600  $\mu$  asumiendo tasas diarias en un banco natural de concha de abanico en La Bahía de la Rinconada, cerca de Antofagasta, al norte de Chile.

Además se observó en ambas conchas un carácter cíclico de picos máximos y mínimos con una periodicidad de aproximadamente quince anillos. Al respecto THEBAULT et al. (2008) mediante análisis espectral (transformación de Fourier) de supuestas tasas diarias de microcrecimiento de *Argopecten purpuratus* reportó una oscilación periódica del microcrecimiento de 31,6 días (ó 31,6 anillos).

En las curvas acumulativas de microcrecimiento se observaron similitudes en los rangos de valores en las tendencias y en la pendiente. Así por ejemplo, en la concha 7 el rango del microcrecimiento acumulativo fue de 1,717 a 28,046  $\mu$  y en la concha 35 de 461 a 29,757  $\mu$ .

En la concha 7 con un periodo de reconstrucción de 279 anillos fue posible observar cambios a largo plazo, así luego del primer periodo de aproximadamente 100 anillos, en el cual se registraron grandes fluctuaciones y elevados crecimientos, se observó también un periodo de aproximadamente 100 anillos de estabilización y menores crecimientos (58 a 284  $\mu$ ).

Finalmente en el último periodo (de aproximadamente 100 anillos) se repitieron, aunque con menor intensidad, las fluctuaciones y mayores crecimientos. Este patrón de comportamiento también se manifestó claramente en los cambios de pendiente de la curva de microcrecimiento acumulativo, durante los tres periodos mencionados.

Es probable que la ontogenia y la edad de la concha 7 hayan influido en la diferencia de intensidades entre el primero y el tercer periodo, sin embargo las diferencias de la estacionalidad entre el invierno y verano pueden también haber influido en los resultados tomando en cuenta que probablemente el periodo de 279 anillos debió haber comprendido una ventana temporal de cerca de un año o más.

## Conclusiones

La geomorfología y registros sedimentológicos y calcáreos del fondo de la paleolaguna de Otuma en Pisco y de los conchales, mantienen una adecuada preservación y gran potencialidad para la reconstrucción paleoceanográfica y paleoecológica de lo que anti-

guamente fue un ecosistema somero y protegido de fondos blandos altamente productivo con un gran banco natural de concha de abanico y otros recursos bentónicos como almeja y navaja.

La potencialidad de reconstrucción que contienen los registros calcáreos del antiguo fondo de la paleolaguna de Otuma en Pisco, comprende las escalas diaria, estacional, anual e interanual (ENSO). En cambio la potencialidad de los registros de los conchales comprende además la escala decadal, tomando en cuenta que la ventana de tiempo de acumulación de las conchas en los "conchales" (por la actividad extractiva y de subsistencia de los antiguos pobladores) fue de alrededor de una centena de años ubicada hace aproximadamente 3600 años BP, periodo que está comprendido en los objetivos de reconstrucción paleoceanográfica de PALEOMAP.

**Agradecimientos.-** Al Blgo. JORGE ZEBALLOS, Jefe de la sede IMARPE Pisco, por las facilidades brindadas en las instalaciones del Laboratorio, durante las salidas de campo a Otuma. Al Sr. ROBERTO VALDEZ por su participación y colaboración en los muestreos durante las salidas de campo a Otuma.

## Referencias

- CRAIG A, PSUTY N. 1968. The Paracas paper Studies in Marine Desert Ecology Vol.1, No.2 Reconnaissance Report Occasional Publication No. 1 of the Department of Geography Florida Atlantic University.
- CRAIG A, PSUTY N. 1971. Paleoecology of shell mounds at Otuma, Peru Geographical Review, Vol. 61, No. 1 (Jan., 1971), pp. 125 - 132.
- DEAN W. 1974. Determination of Carbonate and Organic matter in calcareous sediments and rocks by loss on ignition: Comparison with others methods. In: Journ. Sed. Petrology 44 (1): 242-248.
- ENGEL F. 1957. Early sites on the Peruvian Coast Southwestern Journal of Anthropology Vol 13, No. 1: 54-68.
- FERNÁNDEZ DÁVILA M. 1993. Geología de los cuadrángulos de Pisco, Guadalupe, Punta Grande, Ica y Córdoba INGEMMET Boletín No. 47 Serie A: Carta Geológica Nacional.
- INGRAM R. 1971. Sieve Analysis. In: Procedures in Sedimentary Petrology. Eds. Carver, RE, de. Cap. 3. P.49-67. New York.
- PSUTY N, CRAIG A. 1970. University of Wisconsin Radiocarbon Dates VII Radiocarbon Vol. 12 1970 p. 110 idem: Isotopes Radiocarbon Measurements VIII ibid pp 344-345.
- THEBAULT J, THOUZEAU G, CHAUAUD L, CANTILLANEZ M, AVENDAÑO M. 2008. Growth of *Argopecten purpuratus* (Mollusca: Bivalvia) on a natural bank in Northern Chile: sclerochronological record and environmental controls Aquat. Living Resour. Volume 21, Number 1, January-March 2008.

# pH como un trazador de la variabilidad biogeoquímica en el Sistema de Humboldt

## pH as a tracer of biogeochemical variability in the Humboldt System

VIOLETA LEÓN<sup>1</sup>MICHELLE GRACO<sup>1</sup>AURELIAN PAULMIER<sup>2</sup>GEORGINA FLORES<sup>1</sup>JESÚS LEDESMA<sup>1</sup>OCTAVIO MORÓN<sup>1</sup>PETER CROOT<sup>3</sup>JOSÉ TENORIO<sup>1</sup>

### Resumen

LEÓN V, PAULMIER A, LEDESMA J, CROOT P, GRACO M, FLORES G, MORÓN O, TENORIO J. 2011. *pH como un trazador de la variabilidad biogeoquímica en el Sistema de Humboldt*. *Bol Inst Mar Perú*, 26(1-2): 19-24.- Se analizó información sobre parámetros biogeoquímicos como pH, CO<sub>2</sub> parcialmente disuelto, clorofila-a, oxígeno, salinidad y temperatura, obtenidos en el Sistema de Humboldt frente a Perú en los años 2007-2009, a fin de comprender la importancia del pH como una variable clave para trazar la variabilidad biogeoquímica del Sistema de Afloramiento de Humboldt. Las Aguas Costeras Frías (ACF) ricas en nutrientes evidencian una relación inversa con el pH, en ese sentido valores de 7,6 a 8,0 se encontraron asociados a la ocurrencia de eventos de afloramiento; en condiciones frías como La Niña 2007 el pH predominante se encuentra por debajo de 8,0, y en el caso de las Aguas Subtropicales Superficiales presentan un pH entorno a 8,3. La productividad en los veranos se incrementa debido a factores como la intensidad de luz generándose núcleos de clorofila-a superiores a 10,0 µg.L<sup>-1</sup>; como constituyentes de la reacción bioquímica de fotosíntesis se tiene en cuenta la forma inmediata del compuesto CO<sub>2</sub> y el consumo de iones hidronio; en situaciones extremas de fertilización, se tiene elevado pH entre 8,2 e inclusive 9,0, en donde los contenidos de oxígeno disuelto superan los 6,0 mL.L<sup>-1</sup>.

PALABRAS CLAVE: pH, afloramiento, productividad, Sistema de Humboldt, Perú.

### Abstract

LEÓN V, PAULMIER A, LEDESMA J, CROOT P, GRACO M, FLORES G, MORÓN O, TENORIO J. 2011. *pH as a tracer of biogeochemical variability in the Humboldt System*. *Bol Inst Mar Perú*, 26(1-2): 19-24.- We analyzed information on biogeochemical parameters such as pH, CO<sub>2</sub> partially dissolved, chlorophyll-a, oxygen, salinity and temperature, obtained in the Humboldt system off Peru in the years 2007-2009, in order to understand the importance of pH as a variable key to tracing the biogeochemical variability of the Humboldt upwelling System. Cold Coastal Waters (ACF) rich in nutrients show an inverse relationship with pH, in that sense values from 7.6 to 8.0 were associated with the occurrence of upwelling, in cold conditions and La Niña 2007, the pH is predominant below 8.0, and for Subtropical Surface Waters have a pH around 8.3. Productivity in the summer increases due to factors such as light intensity cores generating higher chlorophyll-a to 10.0 µg.L<sup>-1</sup>, as constituents of the biochemical reaction of photosynthesis takes into account the CO<sub>2</sub> compound immediately and consumption of hydronium ions, in extreme situations of fertilization, has a high pH between 8.2 and even 9.0, where the dissolved oxygen content exceeding 6.0 mL.L<sup>-1</sup>.

KEYWORDS: pH, upwelling, productivity, System of Humboldt, Perú.

### Introducción

Las altas emisiones de CO<sub>2</sub> originadas por la actividad humana, y su incorporación en el océano, resultan preocupantes al desconocer los cambios químicos del océano y el impacto de la acidificación sobre los ecosistemas marinos. En este sentido, la disminución del pH en los océanos ha sido objeto de trabajos (CALDEIRA y WICKETT 2003, ORR et al. 2005) que demostraron que el pH promedio mundial de todos los océanos ha disminuido a lo largo del siglo XX; y de los modelos se predice una mayor disminución en un futuro próximo hasta en 0,5 unidades para el año 2100.

El gran ecosistema marino de afloramiento de Humboldt es uno de los de mayor productividad biológica del mundo (CAÑÓN y MORALES 1985, SUMMERHAYES et al. 1995, GONZÁLEZ et al. 1998, IRIARTE et al. 2000), que se sustenta en los eventos de surgencia que ocurren en forma periódica en la zona costera (SHERMANN 1994, SHAFFER et al. 1997). Los centros de surgencia juegan un rol fundamental en los ciclos geoquímicos y biológicos; son particularmente sensibles al fenómeno de acidificación marina por presentar en forma natural, niveles bajos de pH, asociada a la presencia de Zona de Mínima de Oxígeno (ZMO) que corresponden a Zona de Máximo de CO<sub>2</sub> (ZMC; PAULMIER et al., 2011). Esta condición de "acidificación natural" es consecuencia de la presencia

<sup>1</sup> Instituto del Mar del Perú. Esq. Gamarra y Gral. Valle. Chucuito, Callao, Perú / Telefax: +51-01-6250800, email: vleon@imarpe.gob.pe

<sup>2</sup> Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales (LEGOS, IRD, France)

<sup>3</sup> Plymouth Marine Laboratory (PML), United Kingdom.

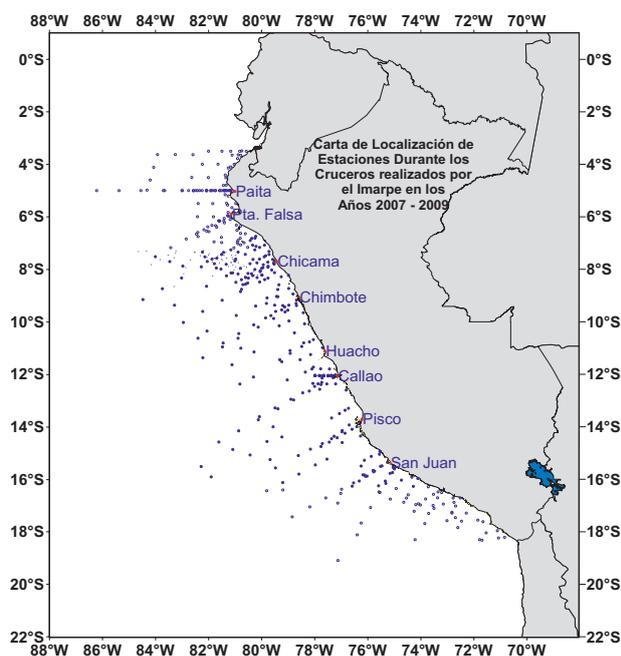


Figura 1.- Carta de Localización de las Estaciones Oceanográficas realizadas por el IMARPE. Cruceros efectuados entre 2007 – 2009. Los datos químicos provienen de diversos cruceros realizados donde se obtuvo información de: Potencial Hidronio (pH), Oxígeno Disuelto, CO<sub>2</sub> Parcialmente Disuelto, Temperatura, Salinidad, Densidad, Clorofila-a y Nutrientes.

de aguas subsuperficiales que muestran un alto contenido de carbono inorgánico disuelto, las cuales por eventos de surgencia son advectadas a la superficie determinando condiciones de pH inferiores al promedio estimado para el océano mundial (pH 8,1). De acuerdo a esta condición, en el contexto del cambio climático resulta preocupante al desconocer los potenciales efectos de la acidificación para los distintos componentes de un ecosistema y en consecuencia hacen de estas áreas zonas prioritarias de investigación.

Por su parte en el caso particular del Sistema de Afloramiento de Humboldt existe una fuerte variabilidad climática tal como la influencia de los eventos El Niño y La Niña, los cuales determinan una importante dinámica oceanográfica, cambios en la distribución espacial de masas de agua y a su vez los procesos biogeoquímicos claves para el sistema, tal como la producción primaria y el intercambio de CO<sub>2</sub> lo que se espera se refleje en la variabilidad del pH. El propósito de este trabajo es explorar la información integrada en el parámetro de pH, como una variable clave para trazar la Variabilidad Biogeoquímica del Sistema de Humboldt.

### Material y métodos

Se utilizaron los datos registrados durante los cruceros de investigación IMARPE en los BICs Olaya y Humboldt de los años 2007 al 2009 (Fig. 1).

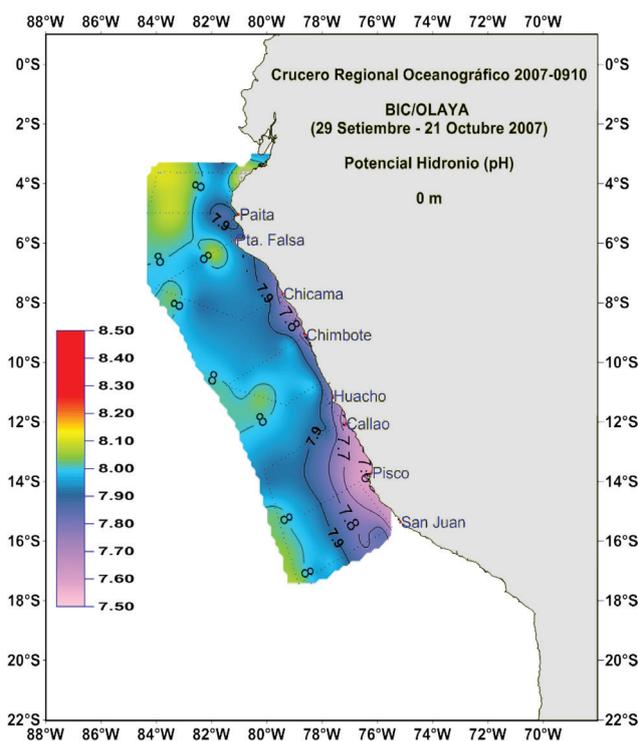


Figura 2.- Distribución Superficial del Potencial Hidronio (pH), Crucero Regional Oceanográfico 0709-10, donde se aprecia los valores de 7,6 a 7,9 asociados al afloramiento costero, enmarcado en La Niña 2007 de primavera, este periodo frío evidencia la disminución del pH en las zonas costeras.

La medición del pH se realizó a bordo, con el método de DICKSON (1993), usando la técnica potenciométrica, con un pH-metro Mettler Toledo modelo SevenMulti, que posee un electrodo de vidrio InLab 413 SG/2m. Se colectaron muestras para determinar el oxígeno disuelto, salinidad y clorofila-a. Para la determinación de clorofila-a, las muestras de agua fueron filtradas a bordo, utilizando filtros Wathman GF/F, procesados con el método fluorométrico HOLM-HANSEN (1965).

El oxígeno disuelto se determinó a bordo, por el método de Winkler modificado por CARRIT y CARPENTER (1966). Para la salinidad se usó el método de inducción con el Portasal 8410A Guildline. La temperatura superficial del mar (TSM, °C) se midió con el sensor de temperatura FURUNO modelo T-2000; para las capas sub-superficiales se tomó la información de los registros continuos de CTD, que fueron procesados con el software Seasoft del equipo. Para la determinación del dióxido de carbono parcialmente disuelto en el agua de mar, se empleó el equipo LI-COR/MODELO LI-6262 CO<sub>2</sub>: 0-3000 ppm.

### Resultados y discusión

La información de pH registrada en los años 2007–2009, relacionándola con variables, como la temperatura, el CO<sub>2</sub> parcialmente disuelto, oxígeno, salinidad y clorofila-a, permite trazar procesos físicos y biogeoquímicos en el ecosistema de Humboldt. Los datos indican una gran variabilidad espacial, en el que

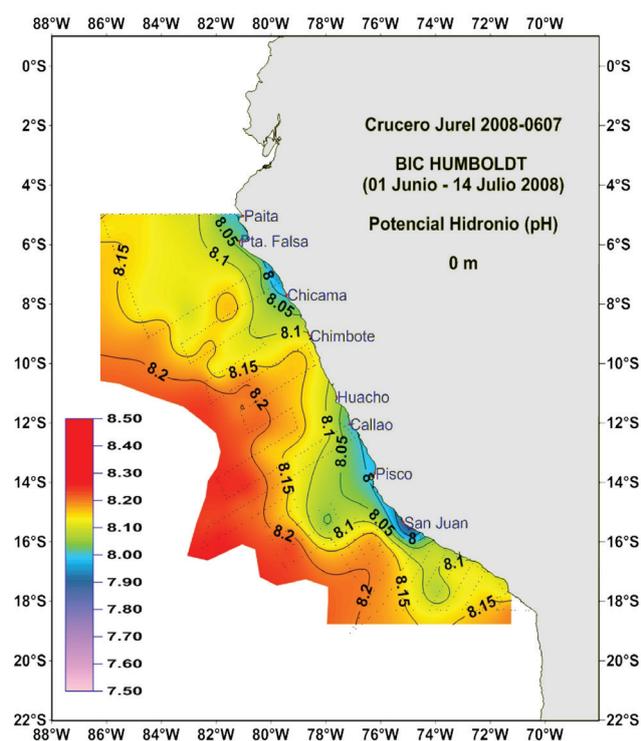


Figura 3.- Distribución Superficial del Potencial Hidronio (pH). Crucero de Evaluación del Jurel 0806-07. Mayor intensidad de afloramiento costero: Chicama y San Juan, ligeramente cálido al norte de Huacho con Anomalías Térmicas Superficiales del Mar entre +1,0 °C a +2,0°C, reflejándose en las masas de agua frente a Chimbote que registran pH 8,1 a 8,15.

el pH es menor en la zona costera, esta característica se acentuó en la costa de Callao (12°S) y Pisco (14°S) con valores de 7,6 a 7,9, que coincidió con los núcleos de afloramiento y la presencia de aguas costeras frías, mientras que en Paita (5°S) estos valores fluctúan entre 7,8 a 8,2 dentro de las 50 millas náuticas; en este caso, los mayores valores superficiales de pH estarían asociados a la influencia de la Extensión Sur de la Corriente de Cromwell (ESCC), la cual mantiene oxigenada la columna y profundiza la distribución de la zona de mínima de oxígeno (ZMO), que se caracteriza por su alto contenido del total de CO<sub>2</sub> y bajos valores de pH asociados a una remineralización de materia orgánica. Los datos también muestran una fuerte variabilidad interanual, en el 2007 se registró condiciones La Niña y un intenso afloramiento con valores de pH hasta 7,52 para la temporada de otoño, es decir, 0,58 unidades de pH por debajo de la medida global del océano.

#### CONDICIONES DE EL NIÑO, LA NIÑA Y CAMBIOS EN EL pH

Los valores de pH registrados a lo largo y frente a la costa del Perú durante la primavera 2007, periodo que presentó condiciones La Niña, mostraron una significativa variabilidad temporal y espacial, evidenciándose bajos valores de pH a nivel superficial (hasta 7,52) asociados a eventos de surgencia y altos contenidos de CO<sub>2</sub> total (Fig. 2).

Durante el invierno 2008, las condiciones oceanográficas se tornaron ligeramente cálidas debido a la proyección hacia el sur y el acercamiento de las Aguas Ecuatoriales Superficiales en la zona norte y de las Aguas Subtropicales Superficiales en la zona centro del Perú. Estas masas de agua generaron cambios en el patrón habitual de las características hidroquímicas, al restringirse la influencia del afloramiento costero a zonas por dentro de las 35 mn de la costa y obtenerse un pH máximo de 8,30 a nivel superficial, asociado a una temperatura de 20,1 °C y 5,56 mL/L de oxígeno disuelto (Fig. 3). La TSM varió de 15,9-24,8 °C, influenciada por una onda Kelvin, presentando temperaturas con anomalías positivas y el incremento del pH.

#### DISTRIBUCIÓN DE MASAS DE AGUA Y pH

En la Fig. 4, se muestra el Diagrama de Masas de Agua Superficiales (ZUTA et al. 1970), temperatura, pH y densidad, en base a la información de los cruces realizados por IMARPE entre el 2007 al 2009, visualizando mayor estabilidad en las ATS y alta variabilidad del pH, en las ACF. Las masas de aguas cálidas se encontraron muy relacionadas con valores altos de pH y salinidad. El pH tuvo mejor correlación con la salinidad pues las masas de agua fría se relacionan con bajos valores de oxígeno y pH debido a los procesos de afloramiento. Los altos valores de pH en superficie (8,50) coincidieron con concentraciones supersaturadas de O<sub>2</sub> (Fig. 5), asociados a la presencia de núcleos elevados de clorofila-a que evidencian la relación de la productividad y el incremento en el pH, con valores extremos durante la ocurrencia de floraciones algales (hasta 9,00).

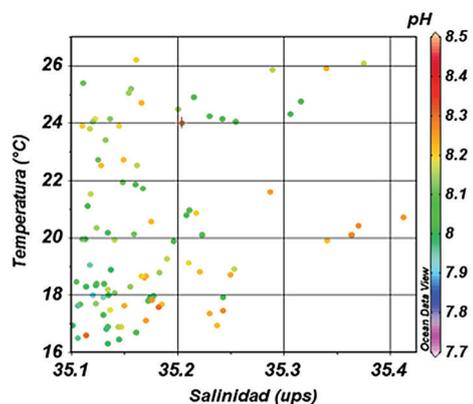
#### INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD REFLEJADO EN EL pH

Las Figs. 6 y 7, muestran la correlación de las diferentes combinaciones entre el pH y las otras variables en la superficie durante el crucero sobre recursos demersales en el verano 2008. En la zona donde hubo presencia de marea roja ésta estuvo asociada con altos valores de pH y valores por debajo de 380 ppm de CO<sub>2</sub> parcialmente disuelto, observándose también altas concentraciones de clorofila-a y de oxígeno debido al proceso de fotosíntesis relacionadas a la actividad biológica y a la productividad.

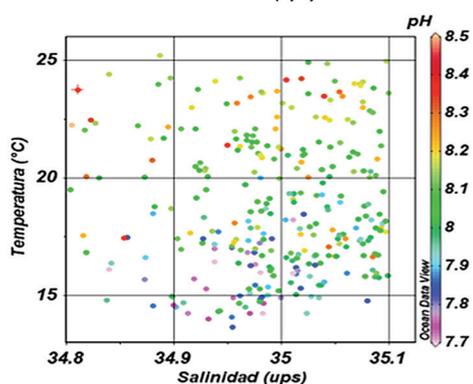
#### RELACIÓN DEL pH, TEMPERATURA Y SALINIDAD EN LA COLUMNA DE AGUA

En la Fig. 8, se puede analizar el perfil a 50 mn de Callao durante el invierno 2007 y otoño 2008, y se observa la relación entre temperatura, densidad y pH con respecto a la profundidad. En la columna de agua estas tres variables se correlacionan de manera muy similar, el pH se correlaciona de manera directa con la temperatura y la densidad es controlada por la temperatura comportándose con una tendencia opuesta a ella. De esta manera, podemos señalar que el pH es un buen trazador de la Variabilidad Oceanográfica.

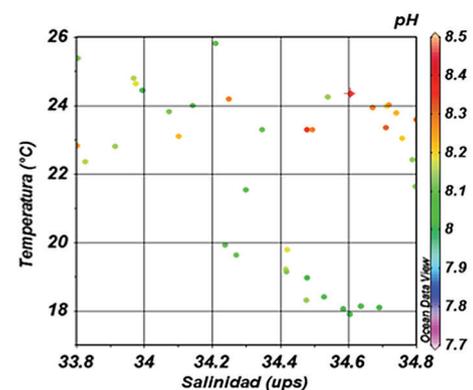
Data 2007 2009	Temperatura (°C)	pH	Densidad (kg.m <sup>-3</sup> )
Rango	16,3 - 26,2	7,91 - 8,30	1022,9 - 1025,8
Promedio	20,3	8,13	1024,7
Clasificación Zuta	a) Aguas Subtropicales Superficiales (>35,1 ups)		



Data 2007 2009	Temperatura (°C)	pH	Densidad (kg.m <sup>-3</sup> )
Rango	13,7 - 25,2	7,56 - 8,98	1023,0 - 1026,2
Promedio	18,8	8,04	1024,9
Clasificación Zuta	b) Aguas Costeras Frías (34,8 - 35,1 ups)		



Data 2007 2009	Temperatura (°C)	pH	Densidad (kg.m <sup>-3</sup> )
Rango	17,9 - 25,8	8,03 - 8,36	1022,2 - 1025,0
Promedio	22,1	8,17	1023,6
Clasificación Zuta	c) Aguas Ecuatoriales Superficiales (33,8 - 34,8 ups)		



Data 2007 2009	Temperatura (°C)	pH	Densidad (kg.m <sup>-3</sup> )
Rango	23,1 - 27,1	8,12 - 8,21	1018,7 - 1022,8
Promedio	25,5	8,17	1021,0
Clasificación Zuta	d) Aguas Tropicales Superficiales (<33,8 ups)		

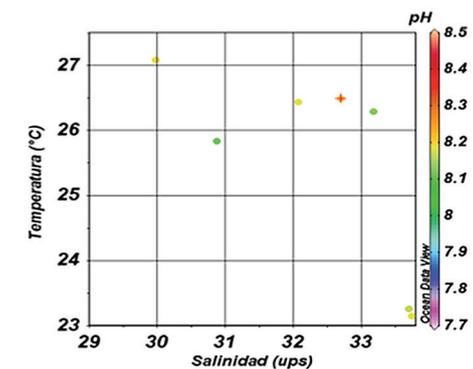


Figura 4.- Diagrama de Masas de Agua Superficiales en base a la clasificación de ZUTA et al. 1970, Temperatura, pH y Densidad. Información de cruces del IMARPE del 2007 al 2009. a) Aguas Subtropicales Superficiales (ASS); b) Aguas Costeras Frías (ACF); c) Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES); y d) Aguas Tropicales Superficiales (ATS).

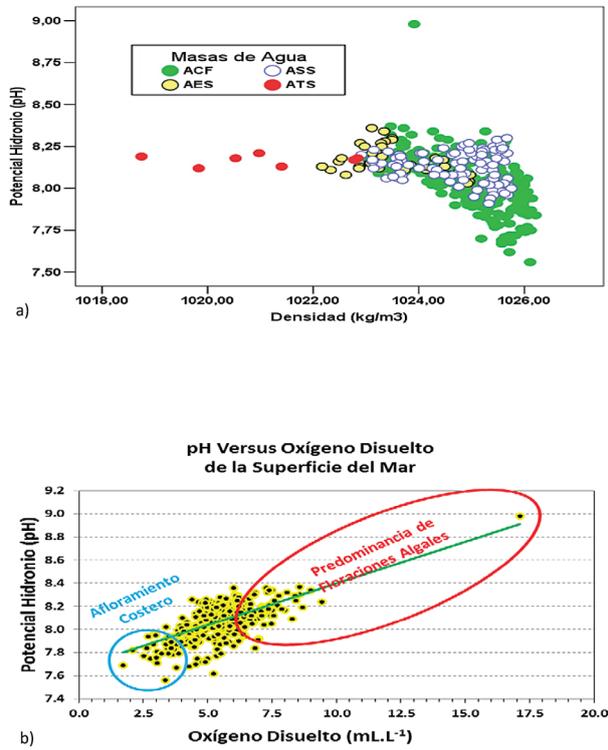


Figura 5.- Distribución superficial del potencial Hidronio (pH) en base a datos obtenidos por IMARPE durante los cruceros del 2007 al 2009: a) visualizando mayor estabilidad en las ATS y alta variabilidad del pH en las ACF; b) los procesos de afloramiento inciden en los bajos valores de oxígeno y pH, situación contraria resulta en la floraciones algales con el incrementos del oxígeno disuelto y el pH.

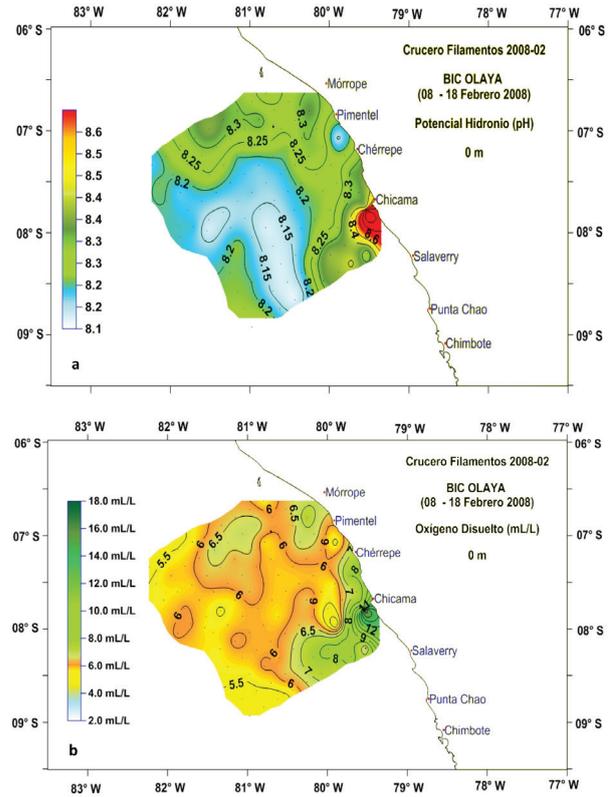


Figura 6.- Distribución superficial durante el Crucero Filamentos 2008: a) Potencial Hidronio (pH), se muestra los efectos de una alta actividad fotosintética, donde el pH se incrementa hasta los límites del sistema de carbonatos de 8,6 a 8,9, valores atípicos que se presentan durante los veranos australes, con mayor frecuencia en la costa central del Perú. b) Oxígeno disuelto (mL/L), muestra niveles de saturación superior al 100% por las floraciones algales, los contenidos de oxígeno mayor a 8,0 mL/L se asocian a pH por arriba de 8,3.

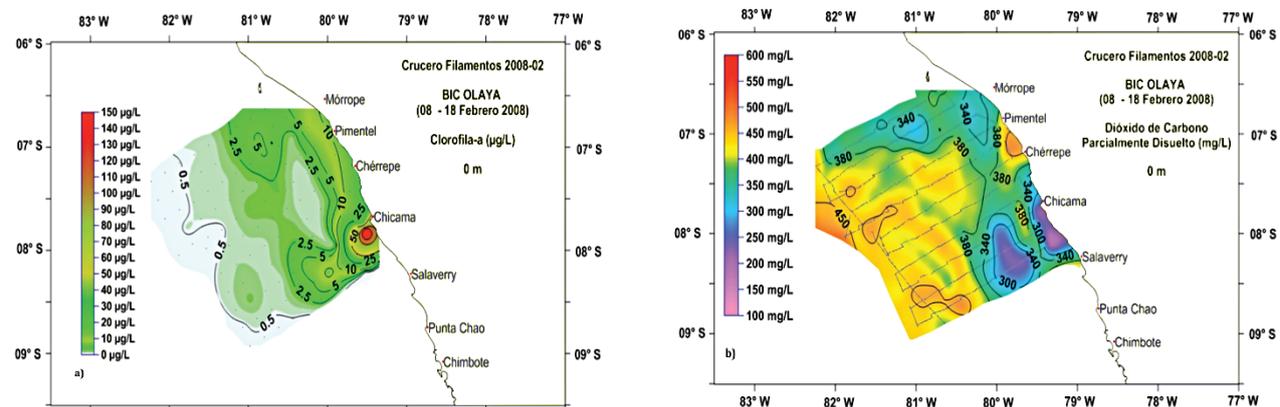


Figura 7.- Distribución superficial durante el Crucero Filamentos 2008: a) Clorofila-a (µg/L), la intensa actividad fotosintética de los veranos eleva la clorofila-a en zonas costeras hasta valores de alrededor de 150 µg/L, considerándose como áreas productivas a clorofila-a superiores a 5,0 µg/L; b) Dióxido de Carbono parcialmente disuelto (mg/L), forma del CO<sub>2</sub> que se involucra en el proceso de fotosíntesis, ante tasas elevadas disminuye por debajo de valores atmosféricos (380 mg/L), como resultado de zonas de sumideros de CO<sub>2</sub>.

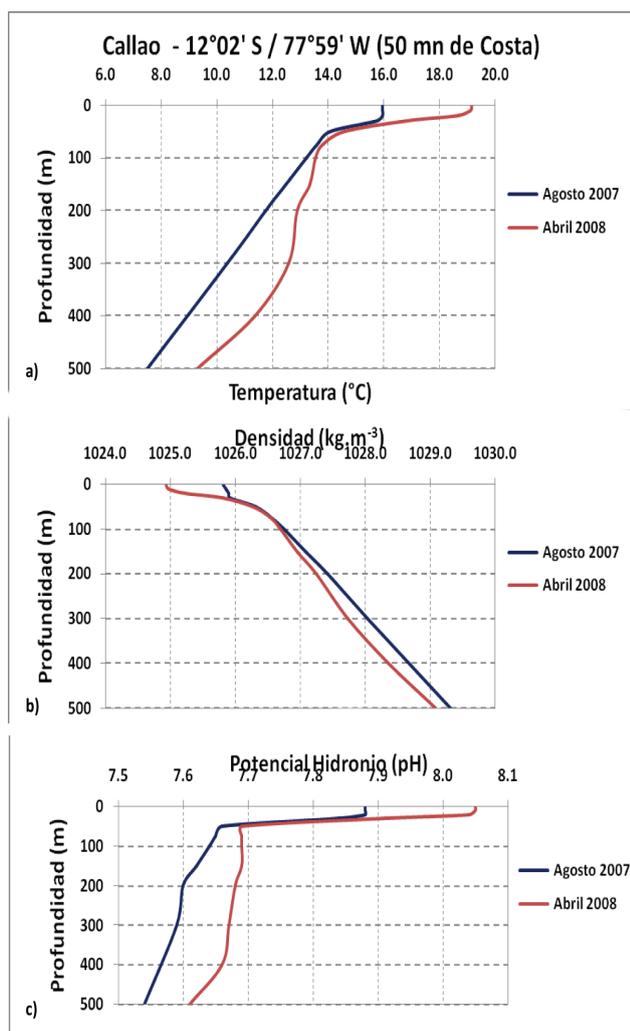


Figura 8.- Perfil a 50 mn de Callao durante el invierno 2007 y otoño 2008: a) La temperatura (°C) disminuye en relación a la profundidad (m), a la estación de invierno y durante el periodo La Niña 2007, en este período la temperatura superficial del mar presentó anomalías entre -0,5 a -2,0 °C, según el Índice Niño Oceánico (ONI 1.2) de la NOAA. b) La densidad sigue una tendencia opuesta a la temperatura, por consiguiente durante La Niña se incrementa, mostrando valores más densos en la columna de agua en año 2007. c) El potencial Hidronio se refleja como un trazador de la variabilidad oceanográfica, manteniendo un promedio 0,1 de diferencia entre el pH de invierno 2007 y otoño 2008 para la columna de agua.

## Referencias

- CALDEIRA K, WICKETT M. 2003. Oceanography: Anthropogenic carbon and ocean pH, *Nature*, vol. 425, September 25, p 365.
- CAÑÓN J, MORALES E. 1985. Geografía de Chile. Tomo IX, Geografía del mar de Chile. Instituto Geográfico Militar, Santiago, Chile. 244 pp.
- CARRIT D, CARPENTER J. 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.
- DICKSON A. 1993. pH buffers for sea water media base on total hydrogen ion concentration scale. *Deep Sea Research*, 40, pp 107-118.
- GONZÁLEZ H E, DANERI G, FIGUEROA D, IRIARTE J L, LEFEBVRE N, PIZARRO G, QUIÑONES R, SOBARZO M, TRONCOSO A. 1998. Producción primaria y su destino en la trama trófica pelágica y océano profundo e intercambio océano-atmósfera de CO<sub>2</sub> en la zona norte de la corriente de Humboldt (23°S): posibles efectos del evento El Niño, 1997-98 en Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 71: 429-458.
- HOLM-HANSEN A, LORENZEN C, HOLMES R, STRICKLAND J. 1965. Fluorometric determination of Chlorophyll. *J. Cons. Perm. Explor.* 30: 3-15.
- IRIARTE J, PIZARRO G, TRONCOSO V, SOBARZO M. 2000. Primary production and biomass of size fractionated phytoplankton of Antofagasta, Chile (23-24°S) during pre-El Niño and El Niño 1997. *Journal of Marine Systems* 26: 37-51.
- ORR J. 2005. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms, *Nature*, vol. 437, September 25, pp 681-686.
- PAULMIER A, RUIZ-PINO D, GARCON V. 2011. CO<sub>2</sub> maximum in the oxygen minimum zone (OMZ). *Biogeosciences*, 8, 239-252.
- SHAFFER G, PIZARRO O, DJURFELD L, SALINAS S, RUTLLANT J. 1997. Circulation and low frequency variability near the Chilean coast: remotely forced fluctuations during the 1991-1992 El Niño. *Journal of Physical Oceanography* 27: 217-235.
- SHERMAN K. 1994 Sustainability, biomass yields, and health of coastal ecosystem: an ecological perspective. *Marine Ecology Progress Series* 112: 277-301.
- SUMMERHAYES C, EMEIS K, ANGEL M, SMITH R, ZEITZSCHEL B. 1995. Upwelling in the ocean: modern processes and ancient records. *Environmental Sciences Research Report* 18: 1-37.
- ZUTA S, GULLÉN O. 1970. Oceanografía de las aguas costeras del Perú. *Bol. Inst. Mar Perú*. Vol. 2, N° 5: 157-324.

# Características geoquímicas de sedimentos del perfil Callao, Octubre 2008

## Profile sediment cores geochemical characteristics Callao, October 2008

JUANA SOLÍS  
ERNESTO FERNÁNDEZ

FEDERICO VELAZCO  
WILSON CARHUAPOMA

Laboratorio de Paleoceanografía. DIO. IMARPE

### Resumen

SOLÍS J, VELAZCO F, FERNÁNDEZ E, CARHUAPOMA W. 2011. *Características geoquímicas de sedimentos del perfil Callao, Octubre 2008. Bol Inst Mar Perú 26(1-2): 25-31.*- Se determinó la tendencia y variabilidad vertical de las características geoquímicas de los sedimentos y del agua intersticial en los primeros 10 cm superficiales de dos testigos de Callao, colectados en dos estaciones del perfil Callao, durante el Crucero MINIOX BIC Olaya 0810: (1) E-2, a 8 mn de la costa y 98 m de profundidad, donde la materia orgánica presentó un amplio rango de variabilidad (4,75% a 56,34%) y una tendencia al incremento con la profundización del perfil vertical, al existir condiciones geoquímicas que favorecen una mayor preservación de la materia orgánica y una lenta remineralización; y (2) E-5, a 30 mn de la costa y 178 m de profundidad, donde la materia orgánica presentó una distribución más homogénea en el perfil vertical (30,72% a 36,17%). Las elevadas correlaciones ( $r > 0,7$ ) de la materia orgánica total con el carbono orgánico total, así como con los fosfatos y los silicatos en sedimentos superficiales indican que la materia orgánica gobierna parcialmente las concentraciones de carbono y fósforo. La variabilidad en la conducta de distribución de las concentraciones de metales Redox sensitivos en los sedimentos recientes, está asociada a condiciones anóxicas y a la intensa actividad sulfato reductora característica en la zona de estudio.

PALABRAS CLAVE: biogeoquímica, sedimentos, materia orgánica, metales Redox, Callao, Perú.

### Abstract

SOLÍS J, VELAZCO F, FERNÁNDEZ E, CARHUAPOMA W. 2011. *Profile sediment cores geochemical characteristics Callao, October 2008. Bol Inst Mar Perú 26 (1-2): 25-31.*- We determined the trend and vertical variability of the geochemical characteristics of sediments and interstitial water in the first 10 cm of two sediment cores from Callao, collected in two stations of the Callao profile, during the Research Cruise BIC Olaya MINIOX 0810: (1) E -2, at 8 nm from the coast and 98 m in depth, where organic matter showed a wide range of variability (4.75% to 56.34%) and a tendency to increase along with the depth of the vertical profile, as there were geochemical conditions to favor the preservation of organic matter and slowing down the process of remineralization; and (2) E-5, 30 nm off the coast and 178 m in depth, where organic matter showed a more homogeneous distribution in the vertical profile (30.72% to 36.17%). The high correlations ( $r > 0.7$ ) of total organic matter with total organic carbon, as well as with phosphates and silicates in surface sediments, indicate that organic matter partially dominates concentrations of carbon and phosphorus. The variability in the distribution pattern of Redox-sensitive metal concentrations in recent sediments is associated to anoxic conditions and the intense sulfate-reduction activity typical in the area of study.

KEYWORDS: biogeochemistry, sediment, organic matter, Redox metals, Callao, Perú.

### Introducción

Los procesos biológicos involucrados en los grandes ciclos biogeoquímicos, están directamente relacionados a la escasez de los oligoelementos, que son elementos químicos, inorgánicos, esenciales que permiten procesos biogeoquímicos como fijación de carbono inorgánico, respiración de carbono orgánico o transformación de nitrógeno, que explican cómo los ciclos de los oligoelementos están críticamente vinculados a los principales nutrientes como el carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P). Los microorganismos (bacterias y otros) promueven la descomposición al liberar iones fosfato (NILSEN y DELANEY 2005), que

causan una acidificación del agua intersticial de los sedimentos, y promueven la disolución de los carbonatos. El fosfato liberado se forma preferentemente en la interfase carbono/microorganismos.

Las características biogeoquímicas del agua intersticial están directamente relacionadas a la presencia de los elementos trazas, que forman los oligoelementos, que participan en las funciones biológicas, actúan como activadores y se encuentran en cantidades muy reducidas como el Molibdeno (Mo). Hay un grupo de elementos cuya valencia no cambia pero bajo condiciones anóxicas forman sulfuros como el Cadmio (Cd) y el Níquel (Ni). El material orgánico que entra en las aguas costeras es sometido a degradación en la

medida que decanta. Una vez en el fondo, el sedimento es sometido nuevamente a descomposición siendo sujeto a una serie de reacciones diagenéticas, las que pueden liberar o fijar elementos y compuestos en el agua intersticial y, desde ésta, a la columna de agua suprayacente (BERNER 1980, KLUMP y MARTENS 1987, FARIAS et al. 1995, 1996). Diversos factores, como producción primaria, aporte de material alóctono, profundidad de la columna de agua, tasas de sedimentación, bioperturbación y concentración de oxígeno disuelto, son responsables por la cantidad, distribución vertical y composición química de la materia orgánica y de la variabilidad en las características geoquímicas de los sedimentos y del agua intersticial retenida en los poros.

### Material y métodos

Las muestras analizadas corresponden a dos testigos de sedimentos colectados durante el desarrollo del Crucero MINIOX BIC Olaya 0810. Las muestras se colectaron con un Multicore (MUC) en la zona del perfil Callao en las posiciones E-2 ( $12^{\circ}02,884'S$  y  $77^{\circ}17,141'W$ ) a 98 m de profundidad y en la posición E-5 ( $12^{\circ}02,399'S$  y  $77^{\circ}39,138'W$ ) a 178 m de profundidad, la primera considerada como zona micróxica y la más alejada como zona anóxica (Fig. 1).

En el laboratorio de Geología Marina del IMARPE, se analizaron 20 submuestras de sedimentos y 12 muestras de agua intersticial (extraída de los poros de los sedimentos), correspondientes a los primeros 10 cm de dos testigos de sedimentos colectados en las estaciones E-2 y E-5 del perfil Callao. Las muestras de sedimentos se cortaron cada 1,0 cm de espesor con sus respectivas réplicas (Fig. 2); el agua intersticial se colectó cada 1 cm, los primeros 5 cm y la sección de 5-10 cm como una sola (Fig. 3).

Los análisis de materia orgánica total y carbonatos totales, se realizaron en la matriz sedimento, mediante el método de pérdida de peso por ignición, según DEAN (1974). El carbono orgánico se determinó por la técnica de titulación por retroceso de GAUDETTE et al. (1974). Para determinar los fosfatos y silicatos en agua intersticial, se aplicó el método colorimétrico descrito por STRICKLAND y PARSONS (1968), modificado por PRESLEY (1971) y por GIESKES y PERESTMAN (1986) y el Manual para Agua Intersticial (ODP, Leg 102 y 201).

Para determinar la variabilidad Redox sensitiva de los metales se aplicó el método EPA 3052A (modificado) basado en la acidificación, digestión y lectura con ICP-AES, (el tratamiento y análisis de la muestra se realizó durante la estadía en Brasil, IMARPE-IRD-UFF-11/200).

Los análisis granulométricos y textura sedimentaria se realizaron mediante el método para sedimentos no consolidados de FOLK y WARD (1957), a través de un



Figura 1.- Carta de Posiciones Perfil Callao. Cr. MINIOX 0810



Figura 2.- Submuestreo sedimento



Figura 3.- Colecta de agua intersticial

contador láser de partículas en medio acuoso (CILAS 116); los resultados se interpolaron según el programa estadístico y gráfico GRADISTAT 4.0.

Tabla 1.- Resultados Geoquímicos de la Matriz, Estaciones E2 y E5 del Perfil Callao, 0810. Equipo de Muestreo: Multicore(MUC)

Est.	Datos de muestreo				Sedimentos				Metales redox			Agua intersticial		
	Fecha	Prof.(m)	Latitud	Longitud	Sección (cm)	Humedad (%)	MOT (%)	COT (%)	Cd mg/kg	Ni mg/kg	Mo mg/kg	Sección (cm)	PO4 (μmol)	SiO3 (μmol)
2	08/10/2008	98	12°02,884'	77°17,141'	0-1	85,55	4,75	3,24	23	17	39	0-1	7,20	370,30
					1-2	83,06	15,50	2,82	19	17	30	1-2	35,82	344,86
					2-3	80,00	19,48	2,99	22	17	31	2-3	59,49	336,10
					3-4	79,39	14,21	3,08	23	18	34	3-4	67,72	281,15
					4-5	75,74	13,09	2,65	20	17	29	4-5	78,02	267,15
					5-6	81,71	13,98	3,12	18	17	34	5-10	80,31	430,81
					6-7	77,08	14,24	1,77	22	18	37			
					7-8	75,40	13,91	2,49	28	20	46			
					7-8	73,90	13,99	2,87	33	22	57			
					5-10	75,36	56,34	4,68	33	21	63			
5	08/10/2008	178	12° 02,399'	77° 39,138'	0-1	84,85	32,91	5,35	51	61	35	0-1	86,25	351,06
					1-2	82,63	32,31	4,36	56	67	27	1-2	75,96	593,30
					2-3	82,47	31,99	4,40	53	62	26	2-3	73,90	823,34
					3-4	84,20	32,26	5,44	50	57	36	3-4	87,49	640,97
					4-5	86,27	33,23	6,26	53	62	28	4-5	94,49	632,63
					5-6	83,46	32,59	4,85	48	60	34	5-10	110,95	665,13
					6-7	80,93	36,17	5,60	52	64	41			
					7-8	80,53	31,52	6,00	53	65	53			
					7-8	83,26	31,12	4,51	51	65	60			
					5-10	84,22	30,72	4,85	42	53	66			

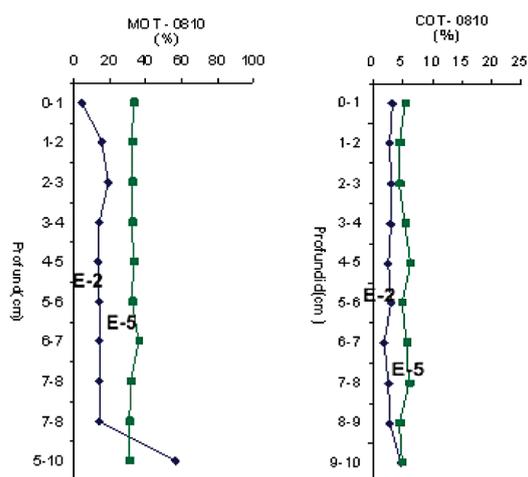


Figura 4.- Distribución de MOT y COT. Cr. MINIOX 0810

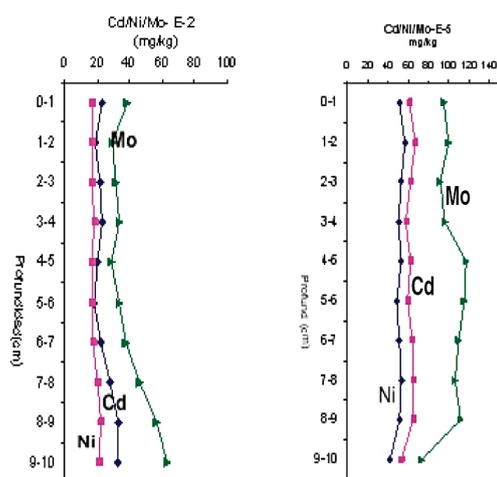


Figura 5.- Distribución de metales Redox Sensitivos Cd/Ni/Mo. Cr. MINIOX 0810

## Resultados

Con diferencias en intensidad y variabilidad entre testigos y entre la profundidad de las muestras (dentro del perfil de 10 cm), en términos generales, se observó una tendencia ascendente en la concentración de la mayoría de los parámetros analizados coincidente con la profundización de la muestra (Tabla 1).

### MATERIA ORGÁNICA TOTAL (MOT) Y CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT)

A lo largo de la sección de sedimentos analizada correspondiente al Testigo E-2, se halló que los contenidos de MOT variaron de 4,75% a 56,34%; el testigo E-5

mostró una distribución de MOT homogénea (30,72% a 36,17%). Menores valores de MOT corresponden a la presencia de partículas de mayor tamaño como arena; y los porcentajes más altos de MOT responden al dominio de partículas más finas como arcilla y limo.

Los sedimentos del Testigo E-2 muestran valores de COT que variaron de 1,77% a 4,68%, valores considerados menores a los hallados en el testigo E-5 que fluctuaron entre 4,36% y 6,26%. En la estación más alejada de la bahía la entrada de material orgánico a los sedimentos se debe principalmente a procesos naturales de surgencia (Tabla 1, Fig. 4).

### METALES REDOX SENSITIVOS (OLIGOELEMENTOS)

Las concentraciones halladas de metales Redox sen-

Tabla 2.- Coeficiente de correlación de Parsons para los parámetros geoquímicos en E-2 y E-5 (en negrita las correlación significativa >0,5). Cr. Miniox 0810

	Humedad	MOT	COT	Cd	Ni	Mo	PO4	SiO3
Humedad	10000							
MOT	0,1594	10000						
COT	0,5595	<b>0,7619</b>	10000					
Cd	0,4601	0,6938	<b>0,8565</b>	10000				
Ni	0,5694	0,6315	<b>0,8533</b>	<b>0,9760</b>	10000			
Mo	-0,2820	0,3006	0,1440	0,0943	0,0329	10000		
PO4	-0,0432	0,7419	0,5988	0,5806	0,6208	-0,2627	10000	
SiO3	0,4671	0,7352	0,6666	0,7824	0,7924	-0,3494	0,4588	10000

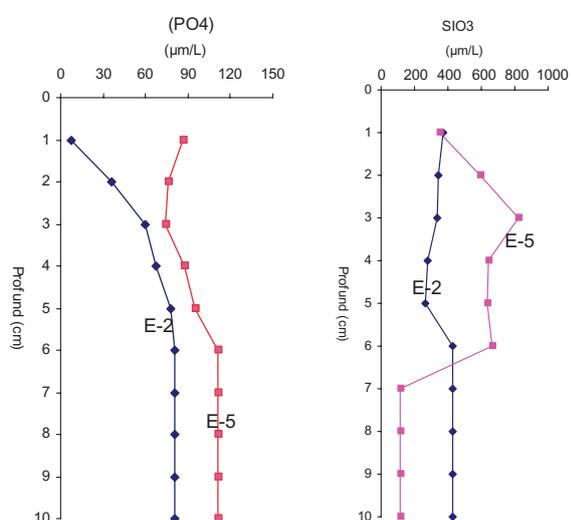


Figura 6.- Distribución de fosfatos y silicatos en Agua Intersticial. Cr. Miniox 0810

sitivos (Mo, Ni y Cd) para la estación E-2 muestran una buena correlación >0,7 en relación entre sí (Tabla 2). La conducta de distribución de Ni y Cd, conforme se profundizan, son muy similares entre sí; esto se observa en las secciones de 4-5 cm y de 5-6 cm, ya que la tendencia de distribución es la misma. El Mo se incrementa sensiblemente entre los 4 a 10 cm en la E-2. En la E-5, Ni y Cd muestran una tendencia de distribución muy similar; el Mo sí muestra una variabilidad creciente considerando que se localiza fuera de las 50 mn de la costa (Fig. 5).

**FOSFATOS Y SILICATOS (AGUA INTERSTICIAL)**

En el agua intersticial colectada en E-2 se halló concentraciones variables de fosfatos que se incrementaron con la profundidad, de 7,20 a 80,31 µmol/L. En E-5, los fosfatos variaron de 73,90 a 110,95 µmol/L, mostrando una distribución muy similar a la existente en la columna de agua, valores directamente influenciados

por la conducta de disolución de los carbonatos, con tendencia a incrementarse conforme se profundizan y están en relación inversa al pH (Tabla 1).

Los silicatos reflejan la litología de los sedimentos. En E-5 las concentraciones fluctuaron de 351,06 a 823,34 µmol/L (Tabla 1). Además, a 98 y 178 m de profundidad, mostraron una distribución variable para los testigos E-2 y E-5 reflejando una variabilidad espacial; se observó que su punto de inflexión en el segmento es de 6-7 cm de profundidad, ya que en la estación E-5 estos disminuyeron significativamente (Fig. 6).

**MATRIZ SEDIMENTO**

Los valores de las correlaciones obtenidas a partir de los parámetros geoquímicos estudiados para esta evaluación, comprobaron que el contenido de MOT en la matriz sedimento rige e influye en la conducta del COT con una correlación >0,7 (Tabla 2). A su vez, el contenido MOT muestra también su influencia en la concentración de los metales Redox sensibles como son el Cd/MOT y el Ni/MOT que presentan una correlación >0,6; y en el caso del agua intersticial la variabilidad de la concentración de fosfatos está regida e influenciada directamente por el contenido de la materia orgánica, pH y potencial Redox. Los fosfatos y los silicatos en el agua intersticial mostraron una correlación significativa >0,7 en relación al contenido de MOT.

La representación gráfica de matrices múltiples (Fig. 7) permite observar la conducta de la distribución de la MOT y el COT, correspondiente a la sección 0-10 cm del Testigo E-2, en relación a la distribución de concentraciones de los metales traza más representativos como son los oligoelementos Cd, Ni y Mo. Esta comparación es más sensible en los segmentos 2-4 y 5-6 cm, donde se encuentra el mayor número de coincidencias de distribución de MOT y COT en relación a la distribución de los metales trazas (Cd, Ni) a diferencia del molibdeno, observando lo inverso

Tabla 3.- Resultados de análisis granulométrico acumulativo por diámetro de partícula, E-2 (98 m). Cr. MINIOX 0810

AM2	0-1 cm	1-2 cm	2-3 cm	3-4 cm	4-5 cm	5-6 cm	6-7 cm	7-8 cm	8-9 cm	9-10 cm
% V coarse gravel:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Coarse gravel:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Medium gravel:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Fine gravel:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% V fine gravel:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% V coarse sand:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Coarse sand:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Medium sand:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Fine sand:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% V fine sand:	0,0	1,7	0,3	2,2	1,1	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0
% Vcoarse sand:	7,5	20,4	11,6	19,3	16,7	16,7	7,0	5,4	4,6	4,6
% Coarse silt:	17,3	16,9	12,9	15,0	15,3	15,3	12,2	12,5	11,8	11,8
% Medium silt:	17,1	13,7	15,5	13,0	14,3	14,3	16,3	17,7	18,2	18,2
% Fine silt:	21,2	14,8	22,5	15,0	16,6	16,6	24,2	25,2	25,4	25,4
% V fine silt:	15,5	12,8	16,7	13,8	15,0	15,0	17,8	18,0	18,3	18,3
% Clay:	21,3	19,7	20,4	21,7	21,0	21,0	22,5	21,3	21,7	21,7

Tabla 4.- Resultados de análisis granulométrico acumulativo por diámetro de partícula, E-5 (178 m). Cr. Miniox 0810

AM5	0-1 cm	1-2 cm	2-3 cm	3-4 cm	4-5 cm	5-6 cm	6-7 cm	7-8 cm	8-9 cm	9-10 cm
% V coarse gravel:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Coarse gravel:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Medium gravel:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Fine gravel:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% V fine gravel:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% V coarse sand:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Coarse sand:	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Medium sand:	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
% Fine sand:	5,7	1,3	1,3	5,2	5,0	3,4	0,0	1,2	0,0	0,0
% V fine sand:	10,0	7,1	7,1	7,0	7,4	7,8	1,6	6,7	0,0	0,1
% Vcoarse sand:	10,2	9,3	9,3	7,4	8,6	9,7	9,5	9,0	4,7	8,3
% Coarse silt:	10,2	12,0	12,2	11,1	12,6	13,0	12,4	11,4	10,1	10,9
% Medium silt:	11,9	12,4	12,5	12,2	13,4	11,9	12,8	11,5	13,6	14,4
% Fine silt:	15	15,2	15,4	15,2	15,5	13,8	16,1	15,2	22,7	22
% V fine silt:	14,5	15,5	15,5	15,3	14,4	14,2	17,0	16,0	19,5	17,9
% Clay:	22,3	27,1	26,8	26,5	23,4	26,1	30,6	29,0	29,5	26,3

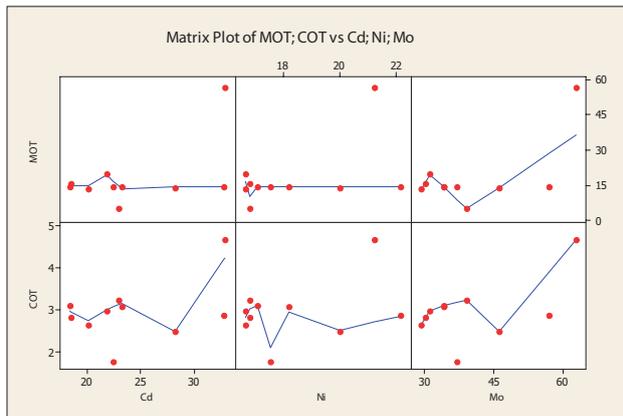


Figura 7.- Matriz MOT/COT/Cd/, Ni/Mo. Cr. MINIOX 0810

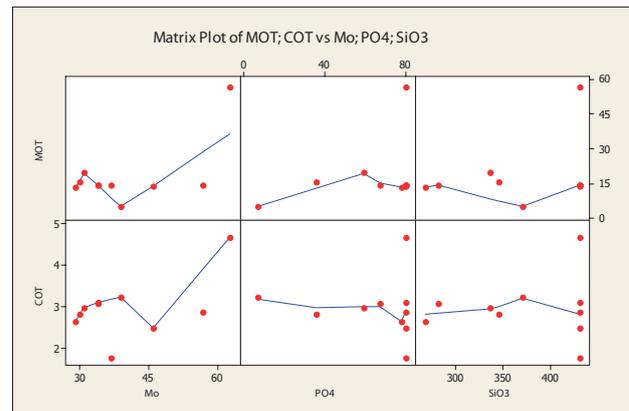


Figura 8.- Matriz MOT/COT/Mo/, PO4/SiO3. Cr. MINIOX 0810

conforme se profundizan ya que los valores muestran menores coincidencias de distribución.

En la Fig. 8 se observa la influencia que ejerce la variabilidad de la concentración de la MOT y el COT, en relación a la conducta de distribución del contenido de fosfatos y silicatos en el agua intersticial.

**GRANULOMETRÍA**

En la sección sedimentos correspondiente a E-2, predomina la presencia de partículas finas; el limo y la arcilla muestran una distribución muy similar entre sí, con una tendencia de distribución homogénea. La arena muy fina se encuentra restringida en los segmentos 2-3 y 3-4 cm. La distribución de materia or-

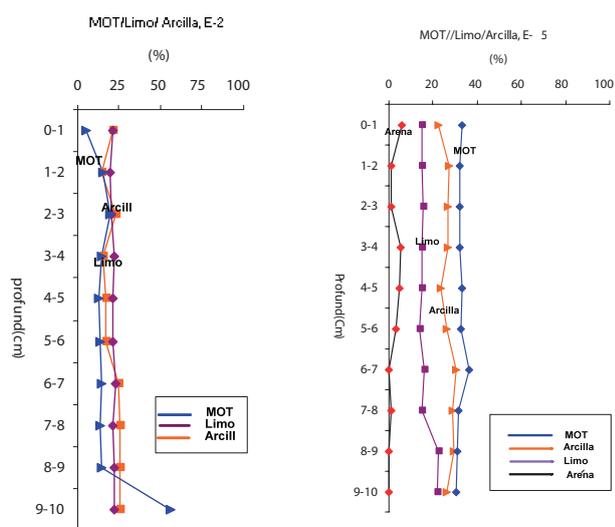


Figura 9.- Distribución granulométrica de E-2 y E-5. Cr. MINOX 0810

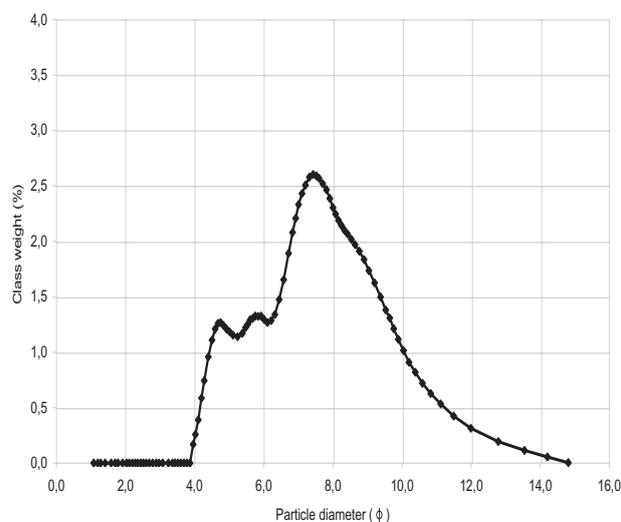


Figura 10.- Análisis granulométrico, gráfica acumulativa por diámetro de partícula, E-5 (178 m). Cr. MINOX 0810.

gánica está relacionada al tamaño de partícula; y se observan cambios de tendencia en los segmentos 0-1 y 9-10 cm (Tabla 3, Fig. 9).

El Testigo E-5 se halló dominado por partículas finas de limo y arcilla; las partículas de arena fina se encontraron localizadas en los segmentos 1-2 y 6-7 cm, pero su porcentaje en peso no fue significativo. Las arcillas mostraron conducta homogénea y constante, pero el limo se distribuyó en forma variable, con tendencia a incrementarse con la profundidad (Tabla 4 y Fig. 10).

La variabilidad en la tendencia de distribución estaría influenciada por cambios biogeoquímicos que ocurren en los sedimentos marinos que se profundizan y por la actividad sulfato reductora, como ausencia de oxígeno y presencia de bacterias, que alteran las características geoquímicas de los sedimentos.

### Conclusiones y discusión

Las características geoquímicas halladas en los sedimentos marinos recientes, correspondientes a los testigos localizados en el perfil Callao, durante el Cr. 0810, están gobernados por el contenido de la materia orgánica total (MOT) o material detrítico producto de la degradación, a partir de sedimentos continentales preexistentes junto a minerales derivados de la precipitación química o bioquímica de las sales presentes en el agua de mar. La distribución de la MOT sedimentaria sigue generalmente la misma distribución que la productividad primaria, teniendo las concentraciones más altas en zonas costeras y las más bajas en zonas de mar abierto.

La variabilidad en la tendencia de distribución estaría influenciada por: (a) los cambios biogeoquímicos que

se realizan en los sedimentos marinos que se profundizan, (b) por la actividad sulfato reductora, como ausencia de oxígeno y presencia de bacterias, alterando las características geoquímicas y biogeoquímicas de los sedimentos marinos (BERNER 1980, KLUMP y MARTENS 1987, FARÍAS et al. 1995, 1996).

Los valores de las correlaciones obtenidas a partir de los parámetros geoquímicos estudiados en relación a variabilidad espacial, permite comprobar que el contenido de materia orgánica en la matriz sedimento rigiere e influye en la conducta de otros parámetros geoquímicos, como son el carbono orgánico total con una buena correlación (> 0,7).

El contenido de materia orgánica muestra su influencia en la concentración de los metales Redox sensitivos como son el Cd/MOT y el Ni/MOT con una correlación >0,6.

En el agua intersticial se determinó que la variabilidad de la concentración de fosfatos está regida e influenciada directamente por el contenido de la materia orgánica, pH y potencial Redox. Los fosfatos y los silicatos en el agua intersticial mostraron una correlación significativa >0,7 en relación al contenido de materia orgánica total.

Los valores de fosfatos y silicatos obtenidos en el agua intersticial en las secciones de sedimentos estudiadas, mostraron concentraciones con tendencia a incrementarse conforme se profundizan. Los valores de fosfatos registraron inflexiones que se reflejaron inversamente en la distribución del contenido de silicatos, pues cuando los fosfatos incrementan, los silicatos tienden a decrecer. Las diferencias registradas pueden ser el resultado de la variabilidad espacial natural, pues los testigos fueron recolectados en dife-

rentes puntos del Perfil Callao.

Los metales Redox sensitivos como Cd y Ni (VALDEZ 2004) mostraron buena correlación, cercana a 1 y son considerados como proxies de la paleoxigenación.

## Referencias

- BERNER R. 1980. Decomposition during bacterial sulfate reduction in marine sediments, p. 35-44. *Biogeochemistry of organic matter at the sediment-water interface*. CNRS Int. Colloq.
- DEAN W. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and rocks by loss on ignition: Comparison with others methods. In: *Jour. Sed. Petrology* 44 (1): 242-248.
- EPA. Method 3052 microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. pp: 1-20
- FARÍAS L, CHUECAS L, SALAMANCA M. 1995. Chile Centro Sur: Mecanismos de intercambio químico. *Gayana Oceanol.*, 39(2): 99-118.
- FARÍAS L, CHUECAS L, SALAMANCA M. 1996 Effect of coastal upwelling on nitrogen regeneration from sediments and ammonium supply to the water column in Concepcion Bay, Chile. *Est. Coast. Sci.*, 43: 137-155.
- FOLK RL, WARD WC. 1957. Brazos river bar: a study of significant of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol.* 27: 3-26.
- GAUDETTE H, FILGH W, IONER L, FOLGER D. 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *Journal of Sedimentology and Petrology*. 44:249-253.
- GIESKES JM, PERESTMAN G. 1986. Water chemistry procedures aboard JOIDES Resolution –some comments. ODP. Technical note 15: college Station, TX (Ocean Drilling Program).
- KLUMP J V, MARTENS C S. 1987. Biogeochemical cycling in an organic-rich coastal marine basin---. Sedimentary nitrogen and phosphorus budgets based upon kinetic models, mass balances, and the stoichiometry of nutrient regeneration. *Geochim. Cosmochim. Acta* 51: 116 l-l 173
- NILSEN E B, DELANEY M L. 2005. Factors influencing the biogeochemistry of sedimentary carbon and phosphorus in the Sacramento-San Joaquin Delta. *Estuaries* 28 (5), 653-663.
- PRESLEY B J. 1971. Techniques for analysing interstitial water samples Appendix Part 1: determination of selected minor and major inorganic constituents. In: Wintered EL et al. *Init Repts. DSPP, (7)*: Washington DC (US Govt. Printing Office), 1749-1755.
- STRICKLAND JD, PARSONS TR. 1968. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Second Edition. Tech. Bull.167. Fisheries Research Board of Canada Otta. 310p.
- VALDES J. 2004. Evaluación de metales Redox-sensitivos como proxies de Paleoxigenación en un ambiente marino hipóxico, Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 77: 121-138.



# Comportamiento nictemeral del fitoplancton frente al Callao (12°S), Perú

## Phytoplankton nycthemeral behavior off Callao (12°S), Perú

AVY BERNALES

FLOR CHANG

SONIA SÁNCHEZ

JESÚS LEDESMA

NELLY JACOBO

JORGE QUISPE

VÍCTOR ARAMAYO

Instituto del Mar del Perú, Esq. Gamarra y Gral. Valle Chucuito-Callao, Perú, Callao 01  
Telefax: +51-01-6250800, email: abernales@imarpe.pe

### Resumen

BERNALES A, CHANG F, SÁNCHEZ S, LEDESMA J, JACOBO N, QUISPE J, ARAMAYO V. 2011. Comportamiento nictemeral del fitoplancton frente al Callao (12°S), Perú. *Bol Inst Mar Perú* 26(1-2): 33-38.- El estudio se realizó entre el 18 y 21 abril 2006, en dos estaciones frente a la costa central del Perú (12°S). Se colectaron muestras cada 6 horas para evaluar la distribución vertical del fitoplancton hasta los 75 m de profundidad, y se determinó la composición y abundancia del fitoplancton en relación a las concentraciones de oxígeno disuelto. Se discute el diferente comportamiento de las especies más abundantes en la columna de agua, como la diatomea *Asterionellopsis glacialis*, del dinoflagelado *Akashiwo sanguinea*, y de los fitoflagelados en la estación más costera. Las dos primeras especies profundizaron su distribución hasta los 25 m durante la noche, pero los fitoflagelados presentaron focos de concentración máximos en la Zona de Mínimo Oxígeno tanto en el día como en la noche en la estación ubicada a 30 mn.

PALABRAS CLAVE: Comportamiento nictemeral, fitoplancton, Zona de Mínimo Oxígeno, *Asterionellopsis glacialis*, *Akashiwo sanguinea*.

### Abstract

BERNALES A, CHANG F, SÁNCHEZ S, LEDESMA J, JACOBO N, QUISPE J, ARAMAYO V. 2011. *Phytoplankton nycthemeral behavior off Callao (12°S), Perú*. *Bol Inst Mar Perú* 26(1-2): 33-38.- Between April 18<sup>th</sup> to 21<sup>th</sup> of 2006, nycthemeral behavior changes in phytoplankton were studied at two stations off the central coast of Peru (12°S). Water samples were collected every 6 hours to a depth of 75 m. Phytoplankton composition and abundance were determined in relation to dissolved oxygen. Differences in the nycthemeral fluctuations are discussed, focusing mainly in the vertical distribution of the diatom *Asterionellopsis glacialis*, the dinoflagellate *Akashiwo sanguinea*, and phytoflagellates at the closest coastal station. The first two species reached 25 m in depth during the night; whereas the phytoflagellates showed highest abundances in the Oxygen Minimum Zone at both day and night times in the station located at 30 nm.

KEYWORDS: nycthemeral behavior, phytoplankton, Oxygen Minimum Zone, *Asterionellopsis glacialis*, *Akashiwo sanguinea*.

### Introducción

En el mar, la producción primaria es realizada por el fitoplancton, constituido por algas microscópicas que tienen capacidad de fotosíntesis. Es de gran importancia ecológica conocer el comportamiento nictemeral del fitoplancton, es decir, su actividad en la columna de agua durante las 24 horas continuas.

Uno de los principales centros de surgencia costera del Sistema de la Corriente de Humboldt (SCH) frente a la costa peruana es el Callao (12°S), donde se registran concentraciones pobres de oxígeno y se caracteriza por un engrosamiento de la Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO). Las bajas concentraciones en las aguas subsuperficiales, aunadas a otros parámetros físico-químicos, influyen en las interacciones biológicas del fitoplancton determinando un comportamiento nictemeral especial.

HERRERA y ESCRIBANO (2006) estudiaron la influencia de la variabilidad oceanográfica en la composición específica del fitoplancton en un centro de surgencia del norte de Chile (21°S), donde la abundancia de sus especies dominantes estuvo fuertemente correlacionada con la profundidad de la ZMO y la estratificación de la columna de agua, al implicar cambios en las condiciones redox que afectaba la disponibilidad de nutrientes. Por otro lado, fluctuaciones en la habilidad fotosintética de poblaciones algales naturales fueron reportadas en el estuario de Senix Creek en Nueva York (DOTY y OGURI 1957, HOLMES y HAXO 1958, VERDUIN 1960).

En este estudio se analizan las implicancias del comportamiento nictemeral del fitoplancton y la influencia de la ZMO en la distribución vertical de sus densidades celulares, con énfasis en las especies más abundantes del microfitoplancton (la diatomea *Asterionellopsis*

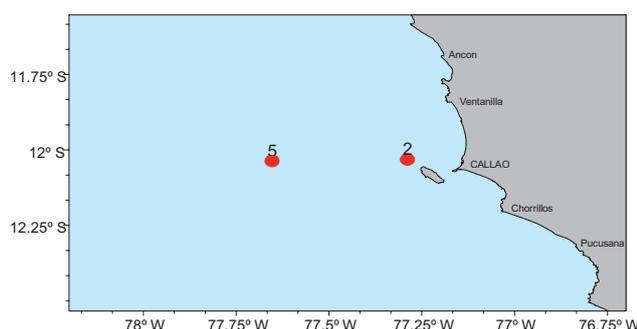


Figura 1.- Carta de posiciones. Línea Callao 2006

*glacialis* y el dinoflagelado *Akashiwo sanguinea*), así como de la comunidad del nanoplancton.

## Material y métodos

Entre el 18 y 21 de abril del 2006, en dos estaciones fijas experimentales localizadas a 10 y 30 mn frente al Callao (Estación 2: 12°02,03S, 77°17,32W y Estación 5: 12°02,4S, 77°39,1W) (Fig. 1), se realizaron lances de roseta oceanográfica, equipadas con botella Niskin de 5 L, cada 6 horas hasta los 75 m de profundidad. Luego de estimarse la zona eufótica con el disco Secchi, se determinaron las profundidades de 5, 15, 25, 43, 63, 75 m para coleccionar 35 muestras que sirvieron para el posterior análisis cuantitativo del fitoplancton con un microscopio invertido según la metodología de Utermöhl (1958) y las recomendaciones de UNESCO (SOURNIA 1978), obteniéndose los resultados en  $N^{\circ}$  célx10<sup>3</sup>/L<sup>-1</sup>. Se elaboraron gráficos de la distribución vertical del microfitoplancton y nanoplancton, así como de oxígeno disuelto para evaluar sus implicancias en la distribución de éstos para la estación costera (Est. 2, a 10 mn) y para la zona límite de la plataforma (Est. 5, a 30 mn), analizando el comportamiento nictemeral de las especies más abundantes.

El análisis del oxígeno disuelto fue realizado según la modificación de Carpenter para el método de Winkler (PARSONS et al. 1984). Se realizaron pruebas estadísticas para determinar diferencias significativas de las concentraciones totales y por grupos de la comunidad fitoplanctónica entre estaciones de muestreo y entre los períodos del día (diurno y nocturno) con el paquete estadístico Minitab 15. La data de la estación más costera fue previamente transformada a log (x+1).

Se calcularon coeficientes de correlación no paramétricos (Coeficiente de Spearman r) entre los grupos (microfitoplancton y nanoplancton) y las especies más abundantes *A. glacialis* y *A. sanguinea* con parámetros abióticos como el viento, transporte Ekman, índice de afloramiento e índice de turbulencia.

## Resultados

### ESTACIÓN 2 (10 mn)

Las mayores densidades celulares del microfitoplancton se hallaron a las 10 mn, a 25 m de profundidad, entre las 19:15 h ( $148 \times 10^3$  cel/L<sup>-1</sup>) y 01:15 h ( $316 \times 10^3$  cel/L<sup>-1</sup>). Sobresalieron blooms de diatomeas (*Asterionellopsis glacialis*, *Chaetoceros* spp.) y de dinoflagelados (*Prorocentrum micans*, *Akashiwo sanguinea*), asociados en su mayoría a valores de oxígeno disuelto >0,5 mL/L (Fig. 2). La luz no fue un factor limitante para la ocurrencia de blooms algales de las diatomeas *A. glacialis* y de los dinoflagelados *A. sanguinea* y *Prorocentrum micans*.

El nanoplancton estuvo caracterizado principalmente por los fitoflagelados con concentraciones máximas de  $342 \times 10^3$  cel/L<sup>-1</sup> (10 mn) a las 05:20 horas relacionadas a valores de oxígeno mayores a 0,2 mL/L.

### ESTACIÓN 5 (30 mn)

Las mayores concentraciones celulares de microfitoplancton se registraron a la profundidad de 5 m, a las 13:30 h, con un núcleo máximo de  $100 \times 10^3$  cel/L<sup>-1</sup>, dado por la diatomea *Leptocylindrus mediterraneus* ( $53 \times 10^3$  cel/L<sup>-1</sup>) y un bloom del dinoflagelado *Akashiwo sanguinea* ( $40 \times 10^3$  cel/L<sup>-1</sup>), asociados en su mayoría a valores de oxígeno disuelto >3 mL/L; las mínimas densidades de este grupo estuvieron por debajo de la isoxígena de 0,5 mL/L (Fig. 3). Las densidades celulares de *A. glacialis* fueron mínimas tanto en el día como en la noche con valores menores a  $30 \times 10^3$  cél/L<sup>-1</sup>.

La comunidad del nanoplancton, representados por fitoflagelados, destacó con tres grupos:

- 1) Uno con un valor máximo de  $281 \times 10^3$  cél/L<sup>-1</sup> (a las 7:17 h), a 43 m de profundidad, asociado a valores de oxígeno disuelto <0,5 mL/L, por debajo de los 20 m, en la Zona de Mínimo de Oxígeno característica del Callao (GRACO et al. 2007);
- 2) Otro núcleo de  $166 \times 10^3$  cél/L<sup>-1</sup> (a las 20:10 h), a 5 m de profundidad, asociado a valores de oxígeno disuelto >0,5 mL/L. Además, durante el día, fueron más frecuentes las concentraciones < $150 \times 10^3$  cél/L<sup>-1</sup> dentro de los 20 m de profundidad, asociadas a valores de oxígeno disuelto mayores a 1 mL/L.
- 3) Cabe destacar otro núcleo considerable de  $101 \times 10^3$  cél/L<sup>-1</sup> a los 75 m de profundidad (20:10 horas) con valores próximos a 0,25 mL/L (Fig. 4).

Así pues, para la zona límite de la plataforma, los fitoflagelados presentaron núcleos máximos en la Zona Mínima de Oxígeno tanto en el día como en la noche y a profundidades entre 40 y 75 m de profundidad.

En los resultados de la Estación 2 se aplicó un ANOVA de dos factores para evaluar la significancia de las concentraciones totales del fitoplancton con la profundidad y el tiempo (Fig. 5). Se obtuvo diferencias

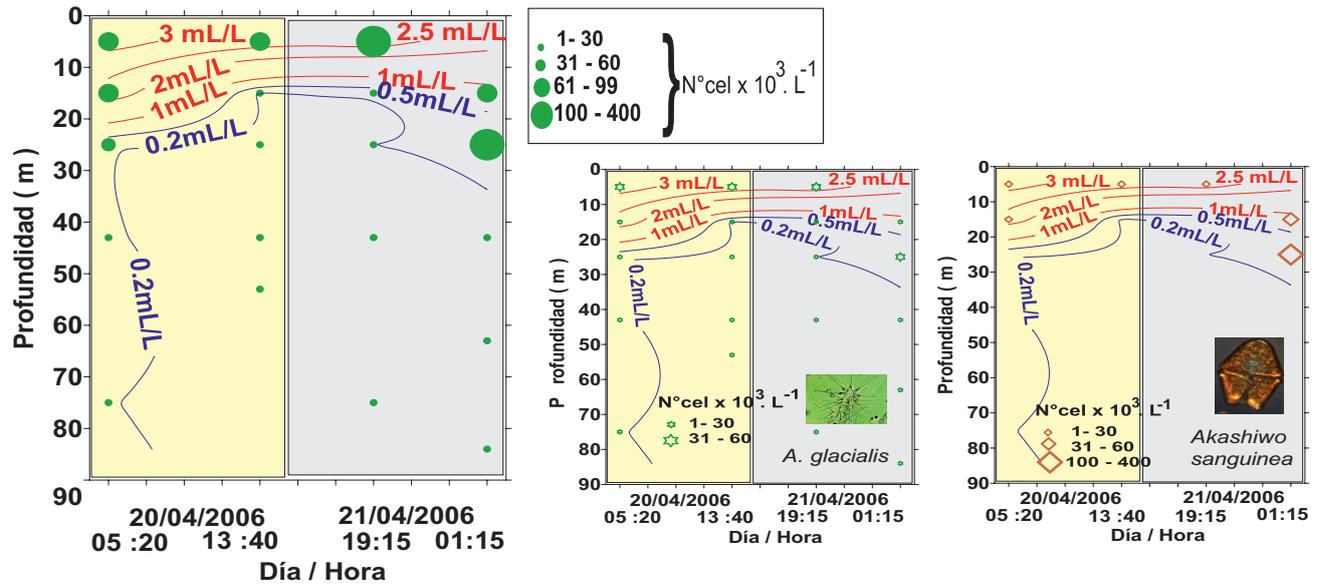


Figura 2.- Distribución vertical del microfitoplancton ( $N^{\circ} \text{cél.} \cdot 10^3 \cdot L^{-1}$ ) y oxígeno disuelto (mL/L). Abril 2006 (10 mn)

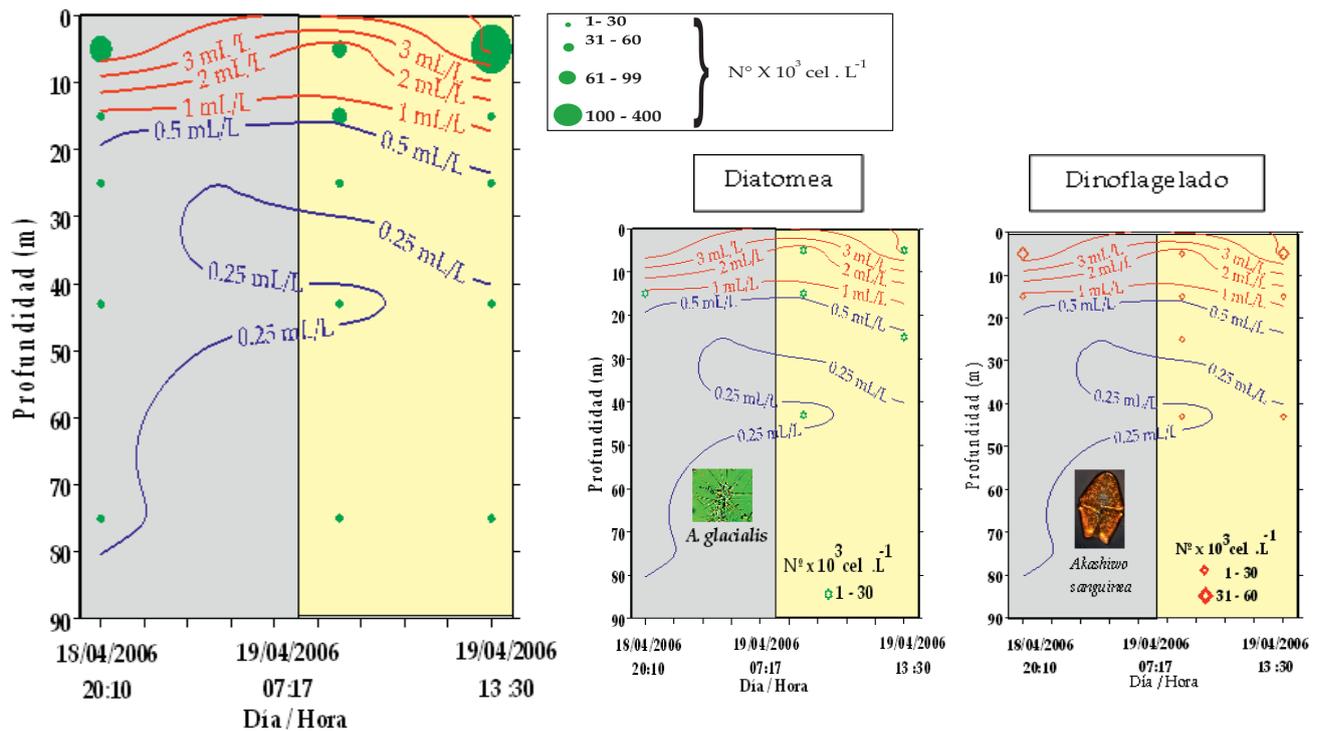


Figura 3.- Distribución vertical del microfitoplancton ( $N^{\circ} \times 10^3 \text{ cel. } L^{-1}$ ) y oxígeno disuelto (mL/L) a 30 mn de Callao. Abril 2006

significativas ( $F=9,97, p<0,05$ ) en relación con las profundidades, registrándose las máximas concentraciones principalmente dentro de los 20 m. La diferencia no fue significativa con el tiempo ( $F=1,44, p>0,05$ ) posiblemente por la necesidad de incrementar la frecuencia de muestreo.

Para la Estación 5 (zona límite de la plataforma), se realizó un ANOVA unidireccional, obteniéndose diferencias

no significativas con la profundidad ( $F=2,71, p>0,05$ ), con las máximas concentraciones del fitoplancton dentro de los 10 m, coincidiendo con la distribución y predominancia de los fitoflagelados en superficie y entre los 40 a 75 m de profundidad (Fig. 6).

En general, del cálculo de coeficientes de correlación de Spearman entre las especies más abundantes A.

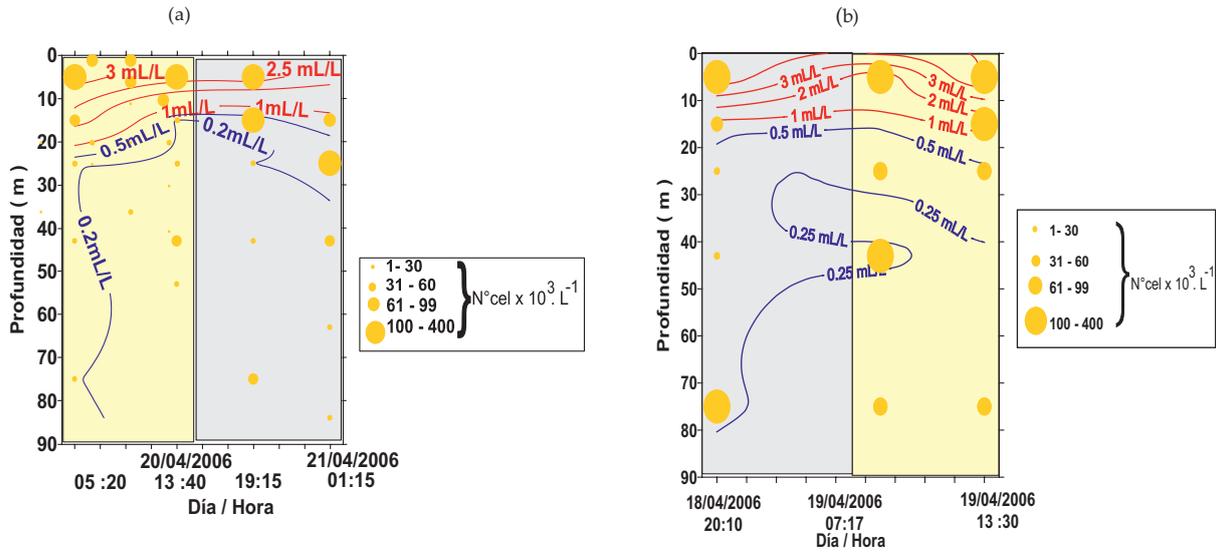
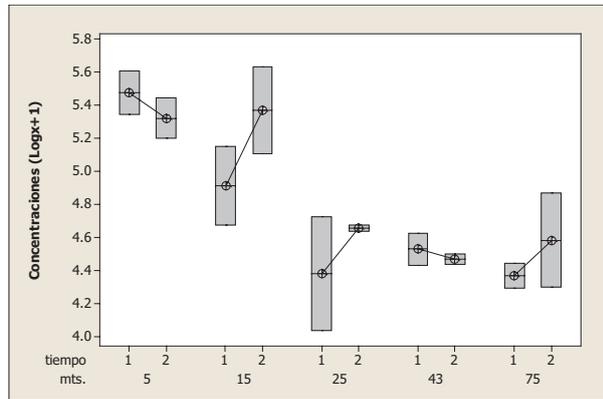


Figura 4.- Distribución vertical del nanoplancton ( $N^{\circ}$  cél. $10^3 \cdot L^{-1}$ ) y oxígeno disuelto (mL/L) a 10 mn (a) y 30 mn (b). Abril 2006

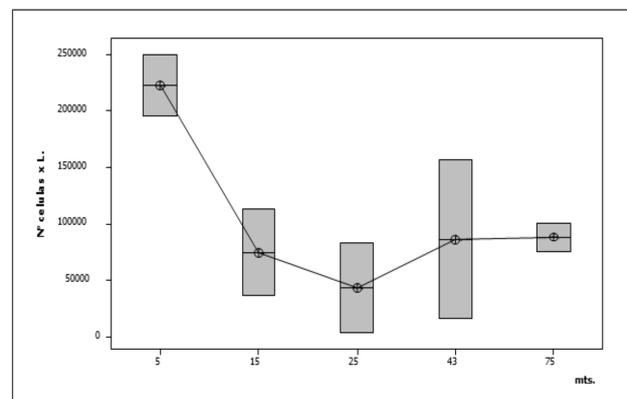


ANOVA de dos factores: Concentraciones vs. Tiempo y Profundidad (m)

Fuente	Grados de Libertad	Suma cuadrados	Media cuadrática	F	P
m	4	2.99263	0.748157	9.97	0.002
tiempo	1	0.10828	0.108281	1.44	0.257
Interacción	4	0.25122	0.062806	0.84	0.532
Error	10	0.75021	0.075021		
Total	19	4.10235			

S= 0.2739 R²= 81.71% R²(ajustado)= 65.25%

Figura 5.- Pruebas estadísticas aplicadas a Estación 2 (10 mn)



Fuente	Grados de Libertad	Suma cuadrados	Media cuadrática	F	P
m	4	38364084960	9591021240	2.71	0.152
Error	5	17701704800	3540340960		
Total	9	56065789760			

S= 59501 R²= 68.43% R²(ajustado)=43.17%

Figura 6.- Pruebas Estadísticas aplicadas a estación 5 (30 mn)

*glacialis* y *A. sanguinea* (Tabla 1) con parámetros abióticos como el viento, transporte Ekman, índice de afloramiento e índice de turbulencia, se obtuvieron correlaciones significativas con un  $p < 0,05$ .

En la estación ubicada a 30 mn, el grupo del microplancton y el dinoflagelado *Akashiwo sanguinea* se relacionaron positivamente con el oxígeno ( $r = 0,941$  y  $r = 0,867$ , respectivamente); mientras que el nanoplancton y la diatomea *Asterionellopsis glacialis* obtuvieron valores de  $r = 0,411$  y  $r = 0,454$ . Estos resultados

conducen a valores altos de oxígeno asociados a la fase inicial de la floración algal causada por *A. sanguinea* y a la producción de oxígeno producto de la actividad fotosintética del microplancton.

### Discusión

Los cambios que ocurren en la comunidad del fitoplancton regularmente cada 24 horas son conocidos como cambios nictemerales, llamándose a dichos comportamientos diurnos por la mañana y nocturnos a los

Tabla 1.- Coeficientes de correlación de Spearman (r) con  $p < 0,05$ 

Variable	Oxígeno	Índice turbulencia
Microplancton	0,999	-0,962
<i>Asterionellopsis glacilis</i>	-0,479	0,708
<i>Akashiwo sanguinea</i>	0,994	-0,984
Nanoplancton	-0,217	-0,068

Tabla 2.- Coeficientes de correlación de Spearman (r) con  $p < 0,05$ . Estación 2

Variable	Oxígeno
Microplancton	0,751
<i>Asterionellopsis glacilis</i>	0,672
<i>Akashiwo sanguinea</i>	0,778
Nanoplancton	0,525

Tabla 3.- Coeficientes de correlación de Spearman (r) con  $p < 0,05$ . Estación 5

Variable	Oxígeno
Microplancton	0,941
<i>Asterionellopsis glacilis</i>	0,454
<i>Akashiwo sanguinea</i>	0,867
Nanoplancton	0,411

que se dan por la noche. Investigaciones realizadas por PATTERSON y WILSON (1995), REYNOLDS (1996), MELO y HUSZAR (2000), hallaron que la variación nictemeral del fitoplancton así como su distribución vertical dependían de: (i) propiedades de mezcla; (ii) ocurrencia de poblaciones autorreguladoras por movimiento activo vía flagelos o movimiento pasivo a través de aerotopos; y (iii) ocurrencia de especies de rápido crecimiento capaces de cambiar en abundancia durante un ciclo de 24 horas. Asimismo, otro patrón general es la ocurrencia de densidades más altas de la población del fitoplancton durante la segunda parte del día.

La distribución en parches del fitoplancton en algunos sistemas estuarinos ha sido asociada con la influencia física de las mareas (DUSTAN y PINCKNEY 1989) por lo que las corrientes marinas también serían influenciadas por ellas. Las mareas son corrientes periódicas con ciclo diario que son producidas por la atracción lunar y en menor grado, del sol. Se muestra la serie mensual de la marea para el mes de abril del 2006 en la Bahía del Callao observándose que a partir del día 17 de abril el ciclo de marea relacionada con la amplitud se fue incrementando, estimándose que las corrientes de marea controlaron la dinámica afectando la componente biológica (Fig. 7).

Luego del período de estratificación del verano, las capas superficiales del agua vuelven a enfriarse y se hacen más densas durante el otoño, lo que produce que se hundan hacia el fondo. Los vientos que son capaces de romper la estabilidad de las capas superiores

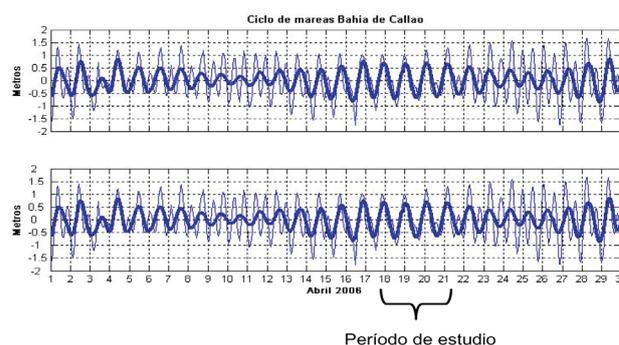


Figura 7.- Serie de la marea en Bahía de Callao para abril del 2006.

contribuyen a la mezcla completa de las aguas. Asimismo, se debería tomar en cuenta la capa de mezcla, capa donde hay activa turbulencia homogenizando algunos rangos de profundidades.

La mayor abundancia del nanoplancton en ambas estaciones coincidirían con una de las estrategias adaptativas propuesta por REYNOLDS (2006) en su modelo CSR, que considera a los nanoflagelados como estrategias C. Dichos organismos se caracterizan por ser colonistas, invasivos, de rápido crecimiento con altos radios superficie/Volumen (s/V), además de ser susceptibles al pastoreo y dominantes en aguas estratificadas con alta concentración de nutrientes y alta disponibilidad de luz (ALVES DE SOUZA 2008).

La evidencia de diferencias en el comportamiento nictemeral del dinoflagelado *Akashiwo sanguinea* y de los fitoflagelados en la estación más costera, respondería a la capacidad de locomoción de éstos vía flagelos, determinando la respiración de dinoflagelados (WIDDOWS et al. 1979) durante la oscuridad que, aunado a la descomposición bacteriana contribuirían al agotamiento del oxígeno. Así pues, el dinoflagelado *A. sanguinea*, la diatomea *Asterionellopsis glacialis* y los fitoflagelados mostraron diferencias en su comportamiento nictemeral dentro de las 10 mn, profundizando su distribución hasta los 25 m durante la noche.

Además, forzantes físicas, como turbulencia y advección afectan también la distribución y composición de especies e inducen variabilidad en el suministro de nutrientes (HERRERA y ESCRIBANO 2006).

Es conocido que las diatomeas grandes dispuestas en cadena son más efectivas en la fijación de nutrientes aflorados que los grupos más pequeños, lo que sumado a la turbulencia, favorece su desarrollo y crecimiento (HUTCHINGS et al. 1995). Al respecto, el valor de  $r = 0,708$  obtenido para la correlación de *A. glacialis* con la turbulencia coincidiría con las condiciones descritas.

La variación en la intensidad del pastoreo, medida por la distribución de la Zona de Mínima de Oxígeno (ZMO), puede ser otro mecanismo a través del cual la comunidad fitoplanctónica se vería afectada (CRIA-

LES-HERNÁNDEZ y SCHWAMBORN, 2007).

De esta manera, se puede colegir que las comunidades del microfitoplancton y del nanoplancton (10 y 30 mn) estuvieron influenciadas por el Limite Superior ZMO (0,5 mL/L), a excepción del último grupo, ubicado a 30 mn.

Para dar un mejor enfoque de la escala espacio temporal en que se da la distribución vertical del fitoplancton, y establecer patrones de comportamiento nictemeral de sus especies, sería conveniente realizar a futuro estudios que comprendan ciclos de más horas (por ejemplo 30 horas), por más días (una semana) y estacionalmente, además de involucrar otros centros de surgencia.

Además, se debería tomar en cuenta la capa de mezcla ya que su profundidad determina el nivel promedio de luz visto por el fitoplancton. En capas de mezcla muy profundas, el fitoplancton es incapaz de obtener suficiente luz para mantener su metabolismo.

## Referencias

- ALVES DE SOUZA C. 2008. Functional groups in marine phytoplankton assemblages dominated by diatoms in fiords of southern Chile. *Journal of Plankton Research*, 30 (11): 1233-1243.
- CRIALES-HERNÁNDEZ M, SCHWAMBORN R. 2007. Zooplankton vertical distribution and migration off Central Peru in relation to the oxygen minimum layer. *Helgol Mar Res* 62 (Supplement 1): 85-100.
- DOTY MS, OGURI M. 1957. Evidence for a photosynthetic daily periodicity. *Limnol. Oceanogr.* 2: 37-40.
- DUSTAN P, PINCKNEY J. 1989. Tidally induced phytoplankton patchiness. *Limnol. Oceanogr.* 34 (2): 410-419.
- GRACO M, LEDESMA J, FLORES G, GIRÓN M. 2007. Nutrientes, oxígeno y procesos biogeoquímicos en el sistema de surgencias de la corriente de Humboldt frente a Perú.
- HERRERA L, ESCRIBANO R. 2006. Factors structuring the phytoplankton community in the upwelling site off El Loa River in northern Chile. *Journal of Marine Systems* 61:13-38.
- HOLMES RW, HAXO F. 1958. Diurnal variations in the photosynthesis of natural phytoplankton populations in artificial light. U.S. Fish Wildl. Serv. Spec. Sci. Rep.: Fish. 279: 73-76.
- HUTCHINGS L, PITCHER G, PROBYN T, BAILEY G. 1995. The chemical and biological consequences of coastal upwelling. En: SUMMERHAYES CP, EMERS KC, ANGEL MV, SMITH RL, ZEITZCHEL B. (eds) *Upwelling in the ocean modern process and ancient records*. pp. 65-81. John Wiley & Sons, Nueva York.
- MELO S, HUSZAR VLM. 2000. Phytoplankton in an Amazonian flood-plain lake (Lago Batata, Brasil): diel variation and species strategies. *J. Plankton Res.*, vol. 22, no. 1, p. 63-76.
- PARSONS R, TAKAHASHI M, MARGRAVE B. 1984. *Biological oceanographic processes*. Pergamon Press, London, 330 pp.
- PATTERSON G, WILSON K.K. 1995. The influence of diel climatic cycle on the depth-time distribution of phytoplankton and photosynthesis in a shallow equatorial lake (Lake Baringo, Kenya). *Hydrobiologia*, 304, 1-8.
- REYNOLDS C S. 1996. On the vertical distribution of phytoplankton in the lakes of the val rio Doce, eastern Brazil. In Tundisi, J.G. and Saijo, Y. (eds) *Limnological Studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil*. BAS/USP/CHREA, São Carlos, pp. 227-241.
- REYNOLDS C S. 2006. *The Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press, Cap.7 (308 - 318).
- SOURNIA, 1978. *Phytoplankton manual*. Monographs on Oceanographic Methodology, N°6, 337 pp. UNESCO. Paris.
- UTERMÖHL, 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt.int. Ver. theor. angewan. Limnol.* 9:1-38.
- VERDUIN J. 1960. Phytoplankton communities of Western Lake Erie and the CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> changes associated with them. 5 (4): 372-380.
- WIDDOWS J, MOORE M N, LOWE D M, SALKELD P N. 1979. Some effects of a dinoflagellate bloom (*Gyrodinium aureolum*) on the mussel *Mytilus edulis*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 59, pp. 522-524.

# Principales corrientes marinas frente a la costa peruana durante el 2008-2009

## Major marine currents off the Peruvian coast during 2008-2009

NOEL DOMÍNGUEZ

JORGE QUISPE

LUIS VÁSQUEZ

Unidad de Investigaciones en Oceanografía Física (UIOF)  
ndominguez@imarpe.gob.pe, jquispe@imarpe.gob.pe, lvasquez@imarpe.gob.pe

### Resumen

DOMÍNGUEZ N, QUISPE J, VÁSQUEZ L. 2011. Principales corrientes marinas frente a la costa peruana durante el 2008-2009. *Bol Inst Mar Perú* 26(1-2): 39-48.- El estudio comprende cuatro corrientes marinas. La Extensión Sur de la Corriente de Cromwell (ESCC) en otoño e invierno 2008 tuvo proyección hasta los 7°30'S; en primavera y verano se ubicó sobre su posición normal, al norte de 6°S; en otoño e invierno 2009 llegó hasta 9°S, y en primavera hasta los 7°S. La Contra Corriente Peruano Chilena (CCPC) presentó pocas diferencias de ubicación durante el 2008 y 2009, localizándose por fuera de las 40 mn y por debajo de los 50 m de profundidad; pero frente a Pisco y San Juan se aproximó hasta las 20 mn de la costa. La Corriente Costera Peruana (CCP), con escasas diferencias de ubicación, se desplazó de sur a norte sobre los 50 m de profundidad en áreas cercanas a la costa con velocidad de 20 cm/s en 2008, y de 28 cm/s en 2009. La Corriente Oceánica Peruana (COP), en todos los registros se halló por fuera de las 80 mn, se proyectó hasta Punta Falsa desviándose luego al oeste, con velocidad de hasta 37 cm/s en 2008.

**PALABRAS CLAVE:** Extensión Sur de la Corriente de Cromwell (ESCC), Contra Corriente Peruano Chilena (CCPC), Corriente Costera Peruana (CCP), Corriente Oceánica Peruana (COP).

### Abstract

DOMÍNGUEZ N, QUISPE J, VÁSQUEZ L. 2011. Major marine currents off the Peruvian coast during 2008-2009. *Bol Inst Mar Perú* 26(1-2): 39-48.- The study comprises four marine currents. The Southern Extension of the Cromwell Current (ESCC) in autumn and winter 2008 extended up to 7°30'S, in spring and summer were at its normal position, north of 6°S; in the autumn and winter 2009 reached 9°S, and in spring was up to 7°S. The Chilean Peruvian Countercurrent (CCPC) showed few differences in location in 2008 and 2009, 40 nm and below 50 m in depth, but in front of Pisco and San Juan approached up to about 20 nm from the coastline. The Peruvian Coastal Current (CCP), with few differences in location, moved from south to north on the 50 m in depth in areas near the coast with a speed of 20 cm/s in 2008, and 28 cm/s in 2009. The Peruvian Ocean Current (COP), all sightings were recorded outside the 80 nm, extended up to Punta Falsa and then turned west, with speeds up to 37 cm/s in 2008.

**KEYWORDS:** South Extension Cromwell Current (ESCC), Chilean Peruvian Countercurrent (CCPC), Peruvian Coastal Current (CCP), Peruvian Oceanic Current (COP).

### Introducción

La circulación y la estructura física del mar están regidas por las mareas y el viento, que proporcionan el movimiento y dominan la circulación. En la franja costera oceánica la circulación es inducida en cierta medida por la marea, los cambios en la profundidad, los gradientes de densidad y el esfuerzo del viento.

La información sobre las corrientes marinas superficiales ayuda en el estudio de los problemas oceanográficos relacionados con actividades humanas, sobre todo cuando la información se proporciona con celeridad y de manera sinóptica, razones por las cuales los fenómenos oceanográficos y atmosféricos en la zona costera requieren del uso de nuevas tecnologías sensibles a los procesos que allí ocurren (LIPA y BARRICK 1983, HAUS et al. 1997, PADUAN y GRABER 1997). Los sistemas basados en el corrimiento *Doppler* de un pulso electromagnético son cada vez más comunes, como el perfilador de corrientes ADCP (Acoustic Doppler

Current Profiler), que estima corrientes superficiales que representan el movimiento del agua en los primeros metros de la superficie y perfiles verticales de velocidad (PADUAN y COOK 1997; PADUAN y GRABER 1997).

En este trabajo se analizan las mediciones de corrientes superficiales y por capas en la vertical, con énfasis en las corrientes marinas presentes en el sistema de Humboldt con el objeto de establecer su dinámica.

La circulación marina peruana es muy compleja, integrada por corrientes superficiales y subsuperficiales. Buena parte del conocimiento de la circulación marina peruana se sustenta en cálculos geostróficos basados en datos hidrográficos colectados durante muchos años (WOOSTER y GILMARTIN 1961, WYRTKI 1967, STRUB et al. 1998 y otros). El sistema de corrientes frente al Perú forma parte del **Ecosistema de la Corriente de Humboldt** que se extiende, de sur a norte, desde 40° - 45°S hasta 4°S, proyectándose a

veces hasta el Ecuador; en sentido este-oeste está definida desde el continente sudamericano hasta cerca de 87°W perpendicular frente al Callao. Esta corriente frente al Perú recibe el nombre de **Corriente del Perú**, por acuerdo en la Primera Conferencia Oceanográfica Iberoamericana, celebrada en Málaga en 1935.

El sistema de corrientes superficiales hacia el Ecuador está compuesto por la Corriente Costera Peruana (CCP) y la Corriente Oceánica Peruana (COP), que transportan aguas de origen subantártico.

De acuerdo a WYRTKI (1967) la CCP presenta velocidades de 4-15 cm/s, fluye entre los 78°W y la costa; es más intensa entre abril y septiembre, cuando se intensifican los vientos Alisios del SE, y transportan un volumen aproximado de seis millones de m<sup>3</sup>/s. Parte del flujo se desvía hacia el oeste a los 15°S, persistiendo luego como un flujo débil y confinado a los primeros 25-50 m.

La COP llega hasta 700 m de profundidad y alcanza mayores velocidades que la CCP, ubicada al oeste de los 82°W, fluye hacia el norte y alrededor de los 10°S gira hacia el oeste. Entre julio y octubre forma un solo flujo con la CCP, está situada al oeste de la línea máxima de acción del viento, transporta un caudal de unos ocho millones de m<sup>3</sup>/s.

Entre la CCP y la COP fluye una contracorriente, a la que se denomina **Corriente Peruana Subsuperficial (CPSS)**, o Corriente Subsuperficial Peruano-Chilena, presenta velocidades ligeramente superiores a 20 cm/s frente a Punta Falsa, debilitándose en su avance hacia el sur. Esta corriente comienza frente a Talara extendiéndose unos 250 km mar adentro, con un flujo más intenso cerca de los 100 m de profundidad.

Asociadas al sistema de Corrientes Ecuatoriales, las corrientes hacia los polos son dominantes bajo las capas superficiales en el Perú y norte de Chile. BRINK et al. (1983) demostraron que gran parte del flujo a 100 mn cerca de las costas del Perú se dirige hacia los polos, contrario a los vientos prevalecientes y al sistema de corrientes de márgenes orientales de los océanos. Esto incluso se cumple sobre el zócalo, donde la deriva de los vientos y el afloramiento hacia el Ecuador están confinados a niveles de 50 m de profundidad (GUTIÉRREZ, 2002).

LUKAS (1986) usa mediciones hidrográficas para inferir que la **Corriente Submarina Ecuatorial (CSE)** o **Corriente de Cromwell** (KNAUSS 1960) se fracciona en las islas Galápagos: un ramal se dirige al norte hasta los 3°-6°N con velocidades máximas a 100 y 200 m de profundidad. Hacia el sur, la CSE se bifurca en dos ramales: uno costero y otro fuera de la Costa próximo a los 84°W. Estos dos flujos, que se debilitan hacia el sur, están separados por una corriente débil hacia el Ecuador.

El ramal costero tiene un máximo superficial a 4°S y un máximo subsuperficial a 6°S y es el origen de la Corriente Submarina Peruana (CSP) o Corriente de Gunther o **Extensión Sur de la Corriente de Cromwell (ESCC)** descubierta por WOOSTER y GILMARTIN (1961) durante la expedición STEP-1. La CSP fluye hacia los polos paralela al zócalo continental a 5 y 25 mn mar afuera, a 5 y 10 cm/s, entre 50 y 300 m de profundidad. Además la CSP se distingue por su bajo contenido de oxígeno debajo de la termoclina, altos valores de salinidad y la profundización del termocline (isotermas de 10°-13°C). La ESCC se extiende en la zona costera hasta la altura de Pimentel - Chicama, para luego integrarse a la Corriente Peruana Subsuperficial, se puede ubicar principalmente entre Paita y Punta Falsa (5-6°S), se caracteriza por presentar temperaturas de 15 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).

El segundo ramal fluye al sudeste de las Galápagos y se ubica a 50-150 mn alrededor de los 6°-7°S formando la **Contracorriente Peruano-Chilena (CCPC)** que prevalece hasta los 35°-40°S (STRUB et al. 1998) siendo máxima en primavera y mínima en otoño. TSUCHIYA (1985) usa las lenguas de la distribución mínima de fosfatos para inferir trayectorias similares entre la CSE, la CSP y la CCPC.

El conocimiento de los desplazamientos de capas superficiales, intermedias y de fondo resulta de especial interés en distintos ámbitos, como en el estudio del movimiento de rasgos térmicos presentes sobre la superficie marina (afloramiento, frentes térmicos). Presentamos en este informe un análisis de las corrientes marinas superficiales y en las diferentes capas hasta 500 m de profundidad.

## Material y métodos

En la realización del presente trabajo se utilizaron datos provenientes de nueve cruceros de evaluación en el BIC Olaya durante el 2008 y 2009: (1) Cr. Filamentos 0802, (2) Cr. Demersal 0805-06, (3) Cr. Biomasa MPH 0808-09, (4) Cr. Vocals 0810, (5) Cr. Pelágico 0811-12, (6) Cr. Pelágico 0902-04, (7) Cr. Demersal 0906-07, (8) Cr. Biomasa MPH 0908-09 y (9) Cr. Regional 0910. Los datos fueron colectados directamente de un ADCP de fabricación RD Instruments, de 75 kHz usando software del fabricante (VMDAS, WINADCP) y procesados según metodología del CODAS (Common Oceanographic Data Access System) V3.1, desarrollada por el Instituto de Investigación Marina y Atmosférica de la Universidad de Hawai. Se utilizó para los cálculos programas basados en MatLab, Fortran y AWK, bajo el soporte de plataformas de Windows y Linux. Los gráficos se realizaron con el MatLab 7.0 y Surfer 9.0.

## Resultados

### CAPA SUPERFICIAL DE 12 A 20 m DE PROFUNDIDAD

#### Verano

En febrero 2008, (**Cr. Filamentos 0802**), los flujos predominantes de las corrientes marinas mostraron dirección nor-oeste. Fuera de las 70 mn, estuvieron asociados a la Corriente Peruana (CP), alcanzaron velocidad >30 cm/s frente a Malabrigo. Dentro de las 70 mn hubo convergencia de dos corrientes: una de norte a sur, asociada a la ESCC; y otra, de sur a norte, asociada a la CP entre Pimentel y Malabrigo, redireccionando los flujos hacia el E y con velocidad >20 cm/s (Fig. 1a).

Entre febrero-abril 2009, (**Cr. Pelágico 0902-04**), dentro de las 40 mn convergieron dos flujos: uno norte-sur asociado a la ESCC, con velocidad de 34 cm/s entre Talara y Punta La Negra; y otro sur-norte entre Callao y Punta la Negra relacionados con la CCP, y velocidades de 29 cm/s frente a Malabrigo. Fuera de las 70 mn, entre Talara y Callao se observó un flujo de norte a sur, próximo a la costa entre Pucusana y Atico, asociado a la CCPC, con velocidad >31 cm/s frente a Pimentel. Entre Cerro Azul y Sama, fuera de las 60 mn, los flujos tuvieron dirección sur a norte y nor-oeste (Fig. 1b).

#### Otoño – Invierno

En mayo, junio y julio de ambos años se registraron marcadas diferencias.

Durante el **Cr. Demersal 0805-06**, la ESCC se proyectó al sur de Punta La Negra (6°30'S) con velocidades mayores a 34 cm/s frente a Talara, y se debilitó hacia el sur hasta los 20 cm/s. La CCP se halló al norte de Casma hasta las 60 mn; al norte de Pimentel se desvió al NO, debido a la presencia de la ESCC en la zona costera. La velocidad máxima de la CCP fue alrededor de 35 cm/s entre Salaverry y Malabrigo. Entre Casma y Supe se presentaron flujos hacia el sur que estarían ligados a la CCPC (Fig. 2a).

En el **Cr. Demersal 0906-07**, la ESCC se localizó al norte de los 5°S (norte de Paita) muy pegada a la costa y con velocidad de hasta 39 cm/s frente a Punta Sal, debilitándose hacia el sur. También hubo flujos hacia el sur por fuera de las 30 mn, entre Punta La Negra y Pimentel, acercándose a la costa entre Malabrigo y norte de Chimbote con velocidad <30 cm/s. Se encontraron flujos hacia el norte dentro de las 20 mn entre Pimentel y Paita alcanzando velocidades de 23 cm/s. Flujos con dirección norte y nor-oeste se hallaron entre Huacho y Chimbote por fuera de las 15 mn (Fig. 2b).

En agosto-setiembre 2008, (**Cr. MPH 0808-09**), la CP mostró movimiento de sur a norte hasta 6°30'S, más

fortalecida que en los meses anteriores, donde se desvió debido al cambio de dirección de la línea de costa, además del encuentro con la ESCC. Al sur de Huacho se presentaron flujos hacia el sur replegando a la costa a los flujos que se desplazaban al norte, estos flujos estuvieron asociados a la CCPC (Fig. 3a).

En agosto-setiembre 2009, (**Crucero MPH 0908-09**), la CP se proyectó hasta los 5°S (posición más al norte que en el 2008) ampliando su distribución hasta las 35 mn de la costa; asimismo en el desplazamiento de esta corriente se hallaron muchos remolinos muy pegados a la costa, por incidencia de los vientos sobre la superficie del mar. La ESCC se localizó dentro de las 20 mn frente a Talara, por fuera de las 40 mn frente a Punta La Negra, y dentro de las 10 mn al sur de Pimentel alcanzando velocidades de hasta 28 cm/s. Los flujos hacia el sur se mostraron por fuera de las 60 mn entre Pimentel y Chimbote asociados a la CCPC. En ambos casos (2008 y 2009) la velocidad osciló entre 1 y 33 cm/s (Fig. 3b).

#### Primavera

A inicios de octubre 2008, (**Cr. Vocals 0810**), la CCP pegada a la línea de costa dentro de las 15 mn, tuvo flujos hacia el norte entre San Juan de Marcona y Callao. La CCPC se ubicó al sur de la bahía Independencia entre las 15 y 30 mn con flujos de norte a sur y velocidad >30 cm/s. Por fuera de las 30 mn se encontró la COP con velocidad de 37 cm/s (Fig. 4a).

En octubre del 2009, (**Cr. Regional 0910**), la CCP, muy pegada a la línea de costa, mostró flujos norte frente a Sama y San Juan de Marcona dentro de las 25 mn, proyectándose por fuera de las 50 mn hasta el Callao; la velocidad alcanzó los 36 cm/s. Los flujos de la CCPC hacia el sur se localizaron próximos a la costa entre Callao y norte de San Juan de Marcona, con velocidad de 18 cm/s (Fig. 4b).

Entre noviembre y diciembre del 2008 (**Cr. Pelágico 0811-12**), la CCP amplió sus flujos hasta las 50 mn, bien definidos siguiendo la línea de costa, con velocidad de 0,7 a 34 cm/s. Por fuera de las 80 mn los flujos de la CCPC, formaron algunos remolinos en su desplazamiento. Estos flujos hacia el sur fueron observados frente al área Pimentel a Malabrigo y al sur de Huarney, con velocidad de hasta de 28 cm/s (Fig. 5).

### CAPA INTEGRADA DE 12 A 100 m DE PROFUNDIDAD

La capa integrada de 12 a 100 m de profundidad presentó flujos bien definidos.

#### Verano

En el **Cr. Filamentos 0802**, se detectó que las corrientes marinas mostraron dos flujos contrarios: (a) uno de norte a sur, asociado a la CCPC dentro de las 70

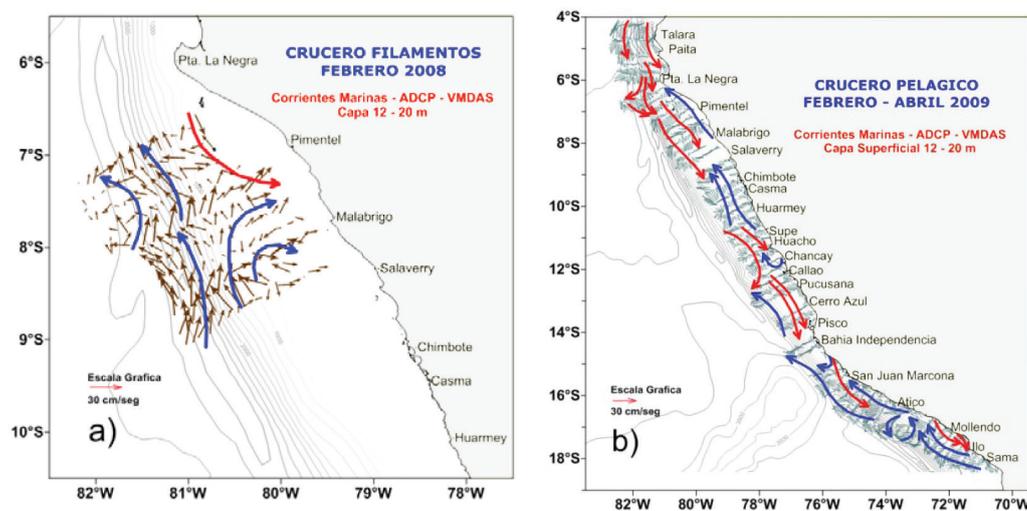


Figura 1.- Corrientes Marinas superficiales con ADCP. a) Cr. Filamentos 0802, b) Cr. Pelágico 0902-04.

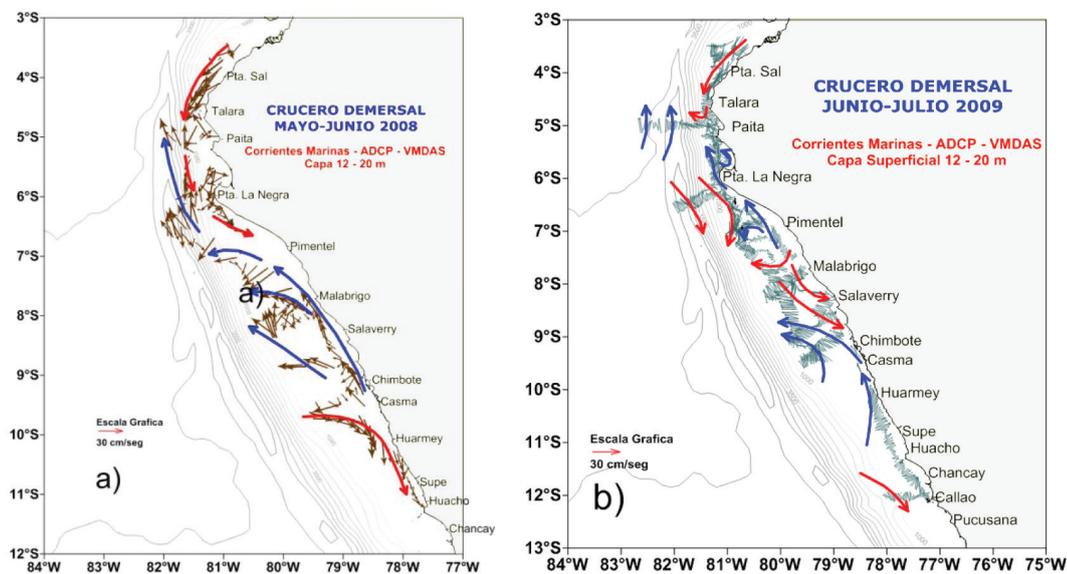


Figura 2.- Corrientes Marinas superficiales con ADCP. a) Cr. Demersal 0805-06, b) Cr. Demersal 0906-07

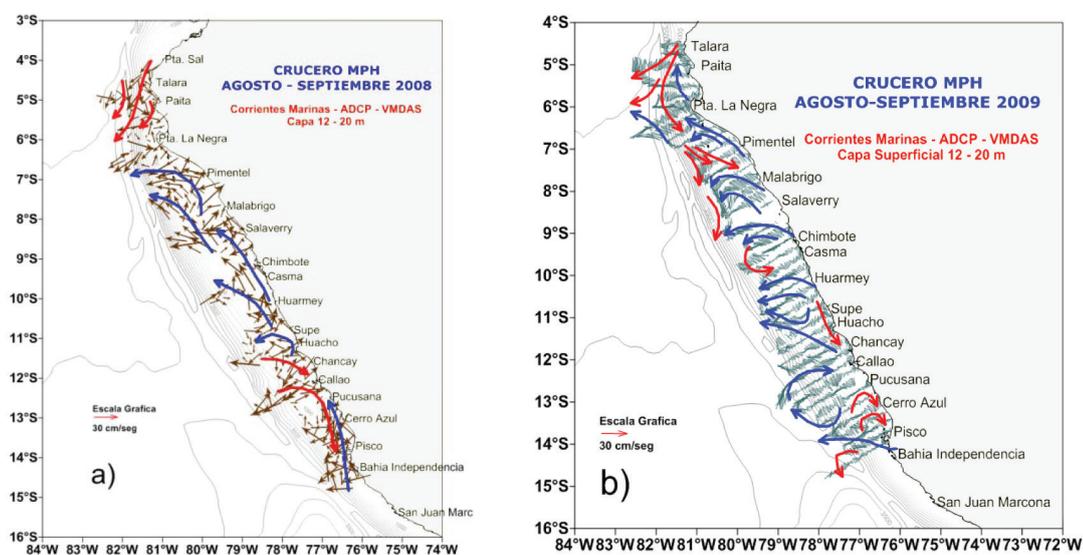


Figura 3.- Corrientes Marinas superficiales con ADCP. a) Cr. MPH 0808-09, b) Cr. MPH 0908-09.

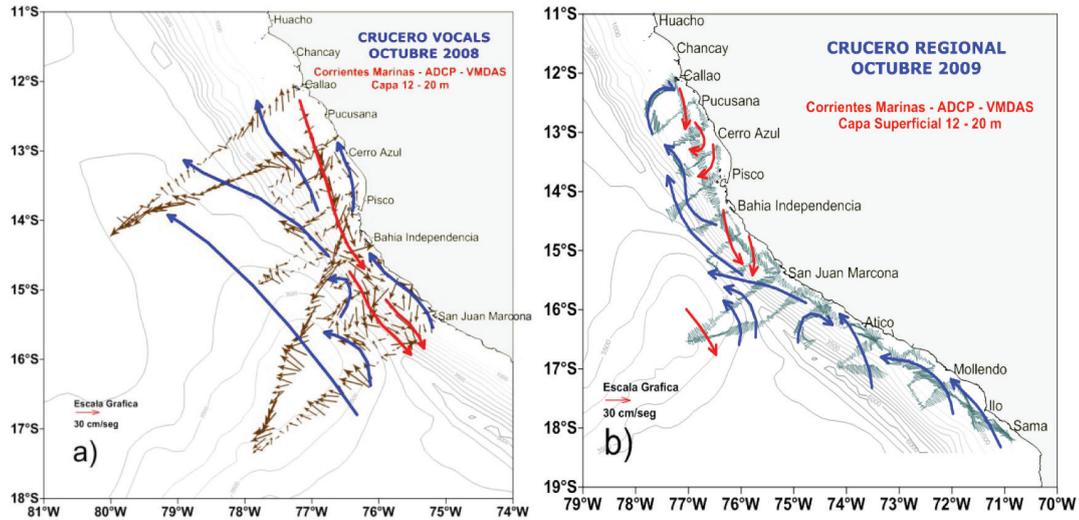


Figura 4.- Corrientes Marinas superficiales con ADCP. a) Cr. VOCALS 0810, b) Cr. Regional 0909

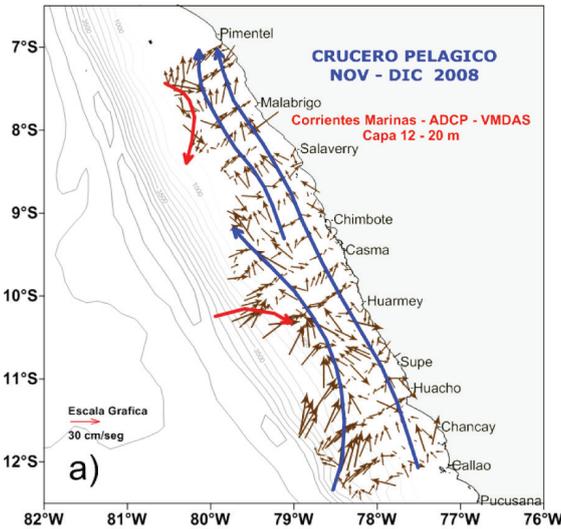


Figura 5.- Corrientes Marinas superficiales con ADCP. a) Cr. Pelágico 0811

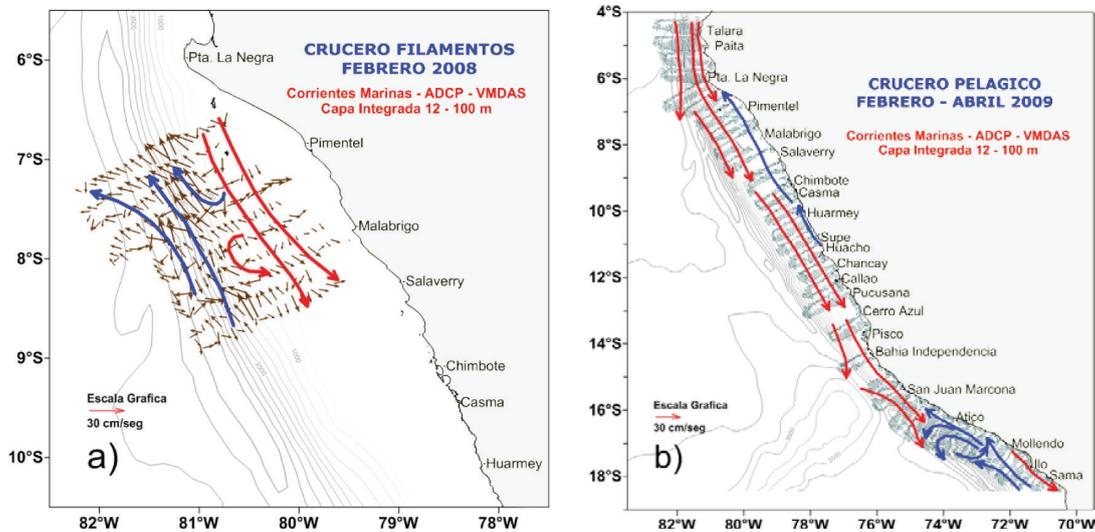


Figura 6.- Corrientes Marinas capa integrada de 12 a 100 m con ADCP. a) Cr. Filamentos 0802, b) Cr. Pelágico 0902-04.

mn, con velocidad entre 4,2 y 28 cm/s; y (b) otro hacia el norte y nor-oeste por fuera de las 70 mn, asociados a la COP, con velocidades >20 cm/s frente a Malabrigo. Entre las dos corrientes se presentó fricción de los flujos generando presencia de fuertes remolinos (Fig. 6a).

Entre febrero y abril del 2009, (**Cr. Pelágico 0902-04**), la ESCC se halló definida hasta el sur de Punta La Negra, muy pegada a la costa dentro de las 20 mn; por fuera de las 30 mn se encontraron los flujos de norte a sur relacionados a la CCPC, alcanzaron velocidad de 6 a 31 cm/s. Los flujos de la CCP, de sur a norte, muy pegados a la costa, se registraron entre Huacho y el norte de Pimentel. El encuentro de las corrientes del sur y del norte originó remolinos entre Atico y Mollendo (Fig. 6b).

### Otoño – Invierno

La ESCC, en el **Cr. Demersal 0805-06** se halló bien definida hasta frente a Pimentel (7°S), (Fig. 7a); en el **Cr. Demersal 0906-07** alcanzó el sur de Salaverry (8°45'S) (Fig. 7b). En ambos años, la ESCC alcanzó velocidades mayores de 40 cm/s entre Talara y Paita, pero al sur de Pimentel se debilitó debido a su encuentro con la CCP. La ESCC se unió a la CCPC que se desplazó por fuera de las 50 mn al sur de Punta La Negra y se aproximó a la costa al sur de Supe. En ambos años, la CCP se desplazó muy pegada a la costa entre Casma y Pimentel, luego se desvió hacia el oeste, con velocidad <40 cm/s entre Chimbote y Malabrigo.

A finales de invierno de los años 2008 y 2009, las corrientes marinas mostraron características similares: una ESCC bien definida hasta 7°30'S, que formaba remolinos al encontrarse con la CCP, dentro de las 20 mn; que se asocia con la CCPC al sur de Malabrigo. La CCPC se desplazó de norte a sur por fuera de las 40 mn de la costa hasta Cerro Azul con velocidades de hasta 33 cm/s.

La CCP durante el **Cr. MPH 0808-09** se presentó más intensa entre Huarmey y Salaverry hasta los 8°S, con alrededor de 20 mn de ancho entre Pisco y Huacho, ampliándose hasta 60 mn al norte de Huacho (Fig. 8a).

Durante el **Cr. MPH 0908-09**, la CCP se presentó más intensa entre Chimbote y Punta La Negra, 6°S, con un desplazamiento muy estrecho frente a Punta La Negra y hasta las 30 mn frente a Salaverry (Fig. 8b). Flujos hacia el norte se hallaron por fuera de las 80 mn relacionados con la Corriente Oceánica Peruana (COP) (Fig. 8b).

### Primavera

A inicios de la primavera, en ambos años (**Cr. Vocals 0810** y **Cr. Regional 0909**), al sur del Callao se diferenciaron dos corrientes bien definidas: (a) la CCPC, dentro de las 65 mn con velocidad >32 cm/s, del Callao

hasta Atico; y (b) la COP, fuera de las 60 mn al norte de Atico, con velocidad >27cm/s. Entre ellas existieron remolinos (vórtices) pronunciados, por intercambio de fuerzas contrarias (Figs. 9a y 9b).

Entre noviembre y diciembre, en toda el área evaluada (**Cr. Pelágico 0811-12**), los flujos costeros de sur a norte se mostraron dentro de las 30 mn, con una distribución menos amplia que en superficie. Frente a Casma y Huarmey, por fuera de las 30 mn, la CCPC mostró cierta sinuosidad, producida por el encuentro de masas concurrentes en el área. Al sur de Casma y por fuera de las 70 mn, se hallaron corrientes relacionadas con la COP, con velocidad máxima de 33 cm/s frente a Huacho (Fig. 10).

### CAPA INTEGRADA DE 100 A 500 m DE PROFUNDIDAD

La capa integrada de 100 a 500 m de profundidad mostró vectores representativos en la mayoría de los casos por fuera de la plataforma costera (fuera de las 40 mn).

### Verano

Los **Cruceros 0802** y **0902-04** registraron comportamiento similar de las corrientes marinas, que se mostraron muy bien definidas con flujos contrarios y vórtices o singularidades en la zona de interacción de las corrientes. El flujo asociado a la CP, de sur a norte y nor-oeste, por fuera de las 70 mn entre Sama y Punta La Negra, llegó a una velocidad de 23 cm/s frente a Malabrigo (Fig. 11a y 11b). El flujo norte-sur asociado a la CCPC se ubicó dentro de las 60 mn entre Talara y Pisco, hasta el sur de bahía Independencia, a velocidad entre 6 y 26 cm/s (Fig. 11b).

### En otoño

La circulación marina se mostró similar durante 2008 y 2009 (**Cruceros Demersales 0805-06** y **0906-07**). La capa integrada de 100 a 500 m de profundidad presentó un predominio de corrientes hacia el sur principalmente en el norte y centro. La ESCC, entre Punta Sal y los 7°S, tuvo velocidad máxima de 35 cm/s. Frente a Pimentel se presentó la convergencia de la ESCC con posibles flujos de la CP. Al sur de Malabrigo, la tendencia de los flujos fue hacia el sur (Fig. 12a). Fuera de las 20 mn se encontró la CCPC con velocidad >30 cm/s, por fuera de las 40 mn entre Pimentel y Chimbote (Fig. 12b).

### En invierno

Para finales de invierno durante el 2008 y 2009 (**Cruceros MPH 0808-09** y **MPH 0908-09**), las corrientes marinas frente a la costa peruana mostraron flujos hacia el sur por fuera de las 40 mn asociados a la CCPC, con tendencia a la formación de vórtices o remolinos ciclónicos. Entre Pimentel y Pisco, se encontró una ESCC bien definida hasta los 7°30'S e integrándose a

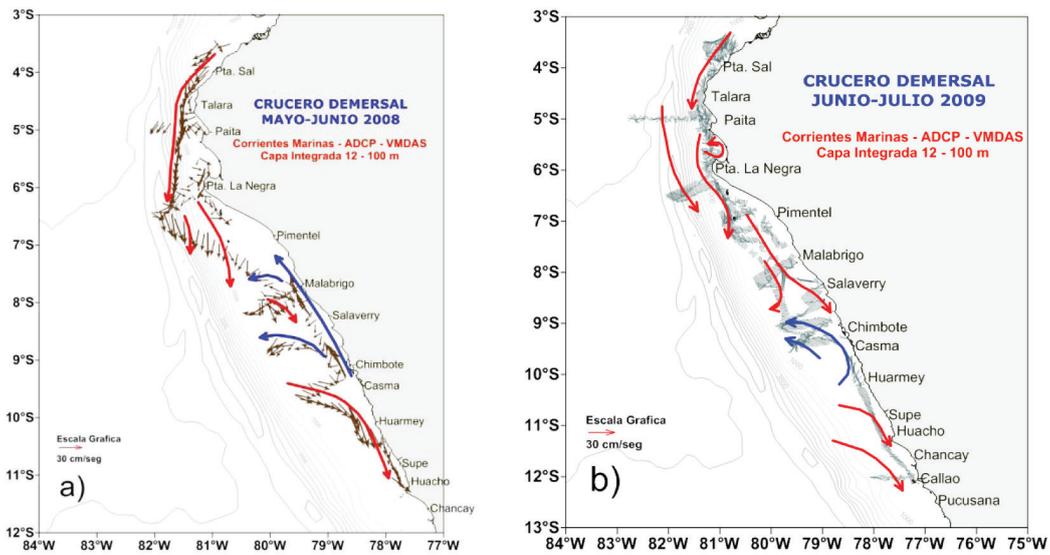


Figura 7.- Corrientes Marinas capa integrada de 12 a 100 m con ADCP. a) Cr. Demersal 0805-06, b) Cr. Demersal 0906-07

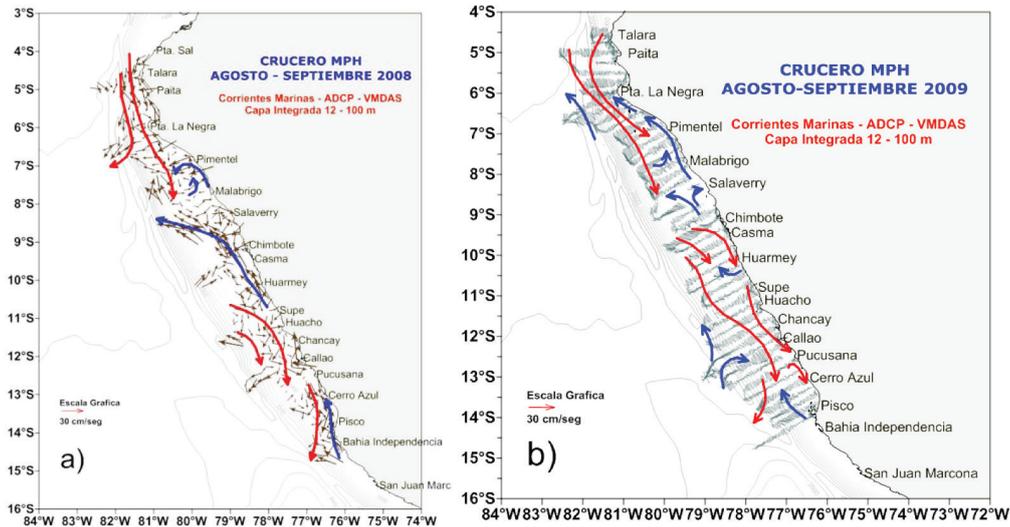


Figura 8.- Corrientes Marinas capa integrada de 12 a 100m con ADCP. a) Cr. MPH 0808-09, Cr. MPH 0908-09

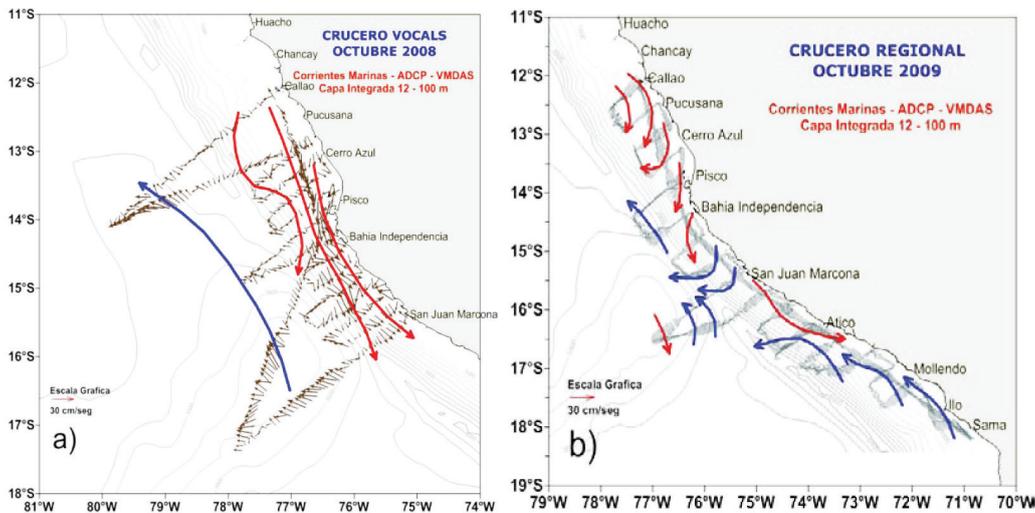


Figura 9.- Corrientes Marinas capa integrada de 12-100 m con ADCP. a) Cr. VOCALS 0810, b) Cr. Regional 0909

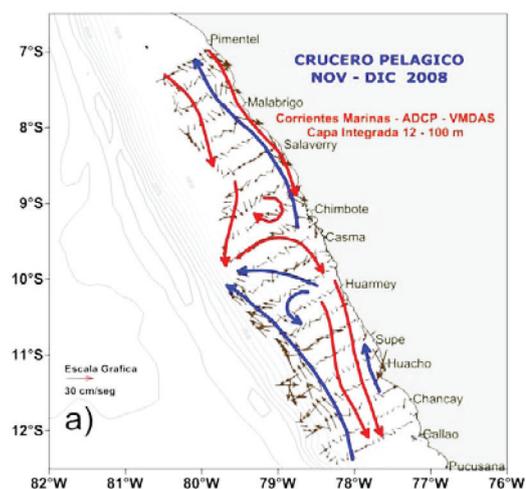


Figura 10.- Corrientes Marinas capa integrada de 12-100 m con ADCP a) Cr. Pelágico 0811

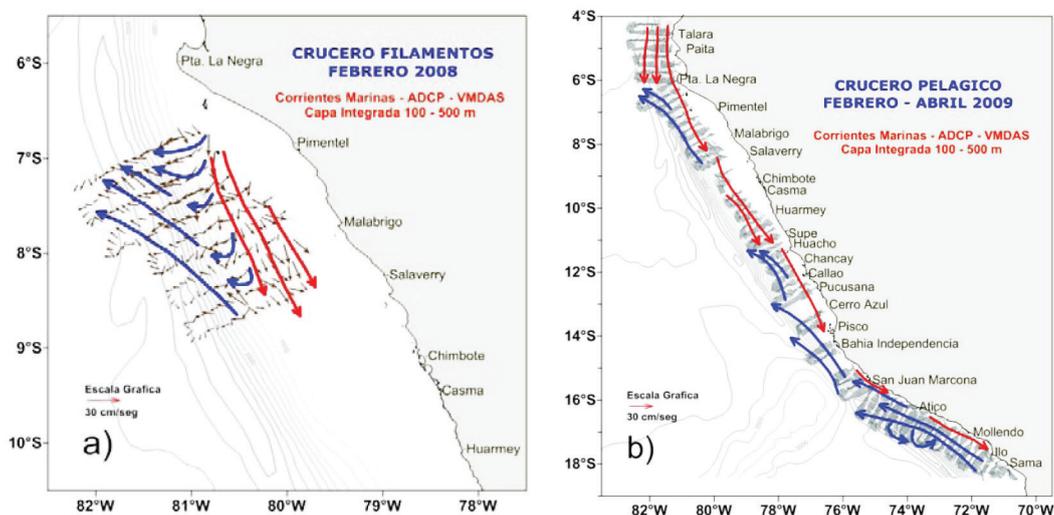


Figura 11.- Corrientes Marinas capa integrada de 100-500 m con ADCP. a) Cr. Filamentos 0802, b) Cr. Pelágico 0902-04

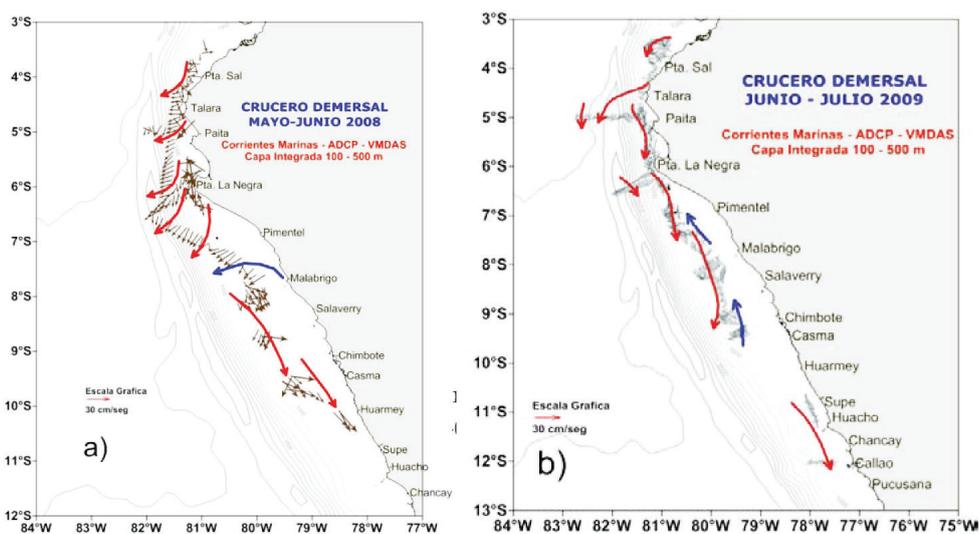


Figura 12.- Corrientes Marinas capa integrada de 100 – 500 m con ADCP. Cr. Demersal 0805-06, b) Cr. Demersal 0906-07

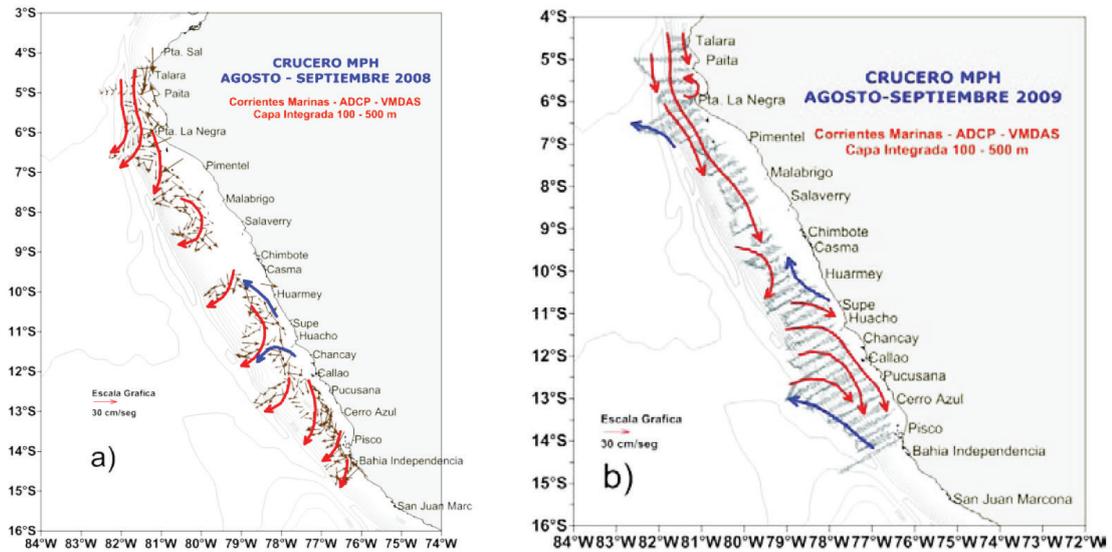


Figura 13.- Corrientes Marinas capa integrada de 100 – 500 m con ADCP. a) Cr. MPH 0808-09, Cr. MPH 0908-09

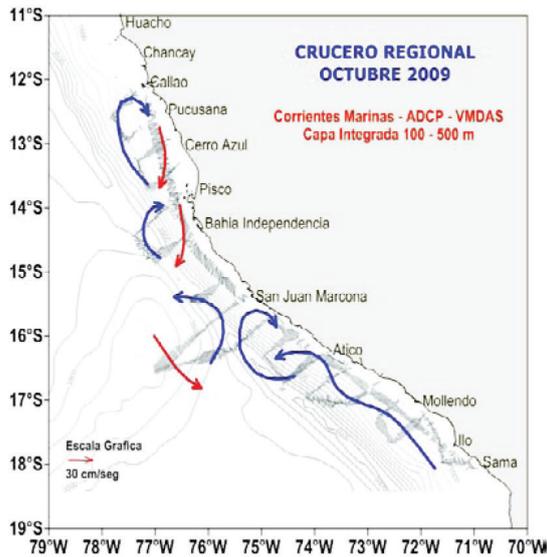


Figura 14.- Corrientes Marinas capa integrada de 100 – 500 m con ADCP. Cr. Regional 0909

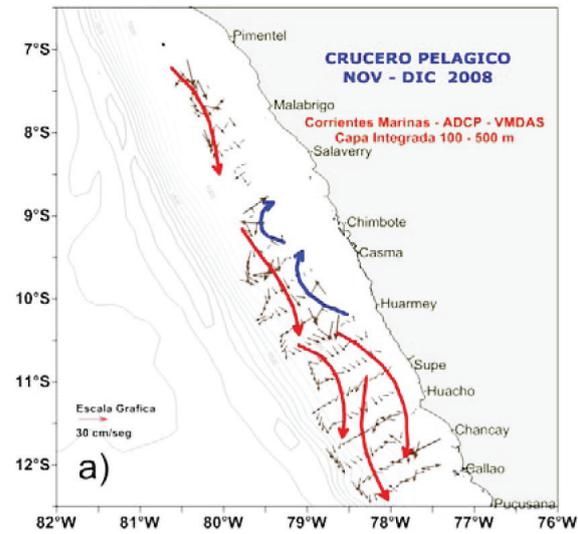


Figura 15.- Corrientes Marinas capa integrada 100 – 500 m con ADCP. Cr. Pelágico 0811-12

la CCPC por fuera de las 50 mn originando remolinos en su encuentro con la CP. La CP se presentó muy débil entre Chancay y Huarmey, desplazándose de sur a norte, desviando su trayectoria al oeste al impactar con los flujos que vienen del norte y por la morfología del fondo (Figs. 13a y 13b).

**En primavera**

A inicios y mediados de la primavera, (Cr. Regional 0910), entre el Callao y San Juan de Marcona se presentaron dos corrientes muy bien definidas por su ubicación y es la región donde mejor se definen las corrientes por no tener un fondo somero. La CCPC, dentro de las 85 mn de la costa, de norte a sur, alcanzó velocidad >25 cm/s y la COP con dirección de sur a

norte, por fuera de las 90 mn, alcanzó velocidades >20 cm/s. La CCP se desplazó muy pegada a la costa entre Ilo y San Juan de Marcona (Fig. 14).

En el **Crucero Pelágico 0811-12** se encontraron flujos costeros de sur a norte pegados a la costa dentro de las 40 mn entre Huarmey y Salaverry. Fuera de las 30 mn la CCPC se presentó desplazándose de norte a sur en toda el área evaluada. Esta corriente se desplazó con mayor intensidad frente a Malabrigo con velocidades máximas de 22 cm/s, en tanto que, hacia el sur solo alcanzaron los 15 cm/s, indicando el debilitamiento de esta corriente hacia el sur (Fig. 15).

## Conclusiones

Durante el año 2008 y 2009, las corrientes marinas del Perú, han mostrado cambios en diferentes períodos de tiempo.

La Extensión Sur de la Corriente de Cromwell (ESCC) se presentó fortalecida en los meses de otoño e invierno del 2008 con proyecciones hasta los 7°30'S y con velocidades >30 cm/s; en periodos de primavera y verano se ubicó al norte de los 6°S (sobre su posición normal), con velocidades >20 cm/s. Situación similar se mostró en el verano 2009, cuando se ubicó al norte de 6°S, con velocidades >20 cm/s, fortaleciéndose en otoño e invierno, con proyecciones hasta los 9°S y con velocidades >34 cm/s, disminuyendo su proyección para primavera hasta los 7°S con velocidades >28 cm/s.

La Contra Corriente Peruano Chilena (CCPC) se localizó, principalmente, fuera de las 40 mn y por debajo de los 50 m de profundidad, aproximándose hasta 20 mn de la costa en algunos tramos de su recorrido, como ocurrió frente a Callao, Pisco y San Juan. La máxima velocidad alcanzó hasta 33 cm/s. Esta posición de la CCPC fue muy similar en ambos años.

La Corriente Costera Peruana (CCP) se ha desplazado de sur a norte en la capa superficial (sobre los 50 m de profundidad) en áreas cercanas a la costa alcanzando velocidades de hasta 20 cm/s.

La Corriente Oceánica Peruana (COP) se ha mostrado, en todos los casos, fuera de las 80 mn, proyectándose hasta Punta Falsa desviándose luego al oeste, con velocidad de hasta 37 cm/s.

**Agradecimientos.-** A los señores Lic. ROBERTO FLORES PALOMARES, Ing. LUIS PIZARRO PEREYRA, Ing. JOSÉ TENORIO CALDERÓN, Ing. WALTER GARCÍA DÍAZ Y MAR-

CELO CRISPÍN CARPIO por su valioso aporte al informe y a la colección de información de ADCP en el BIC Olaya en sus respectivas participaciones de cruceros.

## Referencias

- BRINK KH, HALPERN D, HUYER A, SMITH RL. 1983. The physical environment of the Peruvian upwelling system. *Prog. Oceanogr.* 12: 285-305.
- GUTIÉRREZ 2002. Informe interno Proyecto integrado del Gran Ecosistema Marino de la Corriente de Humboldt. IMARPE
- HAUS B, GRABER H C, SHAY L K. 1997. Synoptic measurement of dynamic oceanic features. *Oceanography*, 10(2): 45-48.
- KNAUSS J A. 1960. Measurements of the Cromwell current. *Deep-Sea Research.* 6:265-286.
- LIPA B, BARRICK D E. 1983. Least squares methods for extraction of surface currents from codar crossed loop data, application at arsløe. *IEEE J. Oceanic Eng.*, 8(4): 226-253.
- LUKAS R. 1986. The termination of the equatorial undercurrent in the eastern Pacific. *Prog. Oceanogr.* 16:63-90.
- PADUAN J D, COOK M S. 1997. Mapping surface currents in Monterey Bay with CODAR type HF radar. *Oceanography*, 10(2): 49-52.
- PADUAN J D, GRABER H C. 1997. Introduction to high-frequency radar, reality and myth. *Oceanography*, 10(2): 36-39.
- STRUB P T, MESÍAS J M, MONTECINO V, RUTLLANT J. 1998. Coastal ocean circulation off western South America. En: Robinson, A.R. & K.H. Brink (eds). *The global coastal ocean. The Sea, Vol. 11.* Interscience, New York, p.273-313.
- TSUCHIYA M. 1985. The subthermocline phosphate distribution and circulation in the far eastern equatorial Pacific ocean. *Deep Sea Res. Part A*, 32:299-313.
- WOOSTER W, GILMARTIN M. 1961. The Perú-Chile Undercurrent. *J. Mar. Res.* 19: 97-122.
- WYRTKI K. 1967. Circulation and water masses in the Eastern Equatorial Pacific Ocean. *Int. J. Oceanol. And Limnol.* Vol.1, N°2, p. 117-147.

## Caracterización de la Zona de Mínimo de Oxígeno (ZMO) frente a la costa peruana entre 3°N y 14°S, 1999 - 2009

### Characterization of Oxygen Minimum Zone (OMZ) in front of Peruvian coast between 3°N and 14°S, 1999 - 2009

JESÚS LEDESMA  
VIOLETA LEÓN

JORGE TAM  
GEORGINA FLORES

MICHELLE GRACO  
OCTAVIO MORÓN

Instituto del Mar del Perú. Esq. Gamarra y General Valle. Callao 01, Perú. jledesma@imarpe.gob.pe

#### Resumen

LEDESMA J, TAM J, GRACO M, LEÓN V, FLORES G, MORÓN O. 2011. Caracterización de la Zona de Mínimo de Oxígeno (ZMO) frente a la costa peruana entre 3°N y 14°S, 1999 - 2009. *Bol Inst Mar Perú*. 26(1-2): 49-57.- Se analizaron datos de oxígeno disuelto, frente a las costas del Perú, para comprender las variaciones de la ZMO, caracterizadas por: a) el espesor de esa zona, limitada por las isolíneas de oxígeno de 0,5 mL.L<sup>-1</sup>; y b) la profundidad de su límite superior en la franja marino costera. Se muestran los resultados de las evaluaciones en la columna de agua, en la bahía de Callao en el periodo 1999 - 2009, y además en enero - febrero 2009 en un estudio de la ZMO, durante el Crucero Meteor 77-4 0901-02: *Interacción en el Océano Tropical, Biogeoquímica y Clima*. En la zona costera del Callao (12°S) se acentúa la hipoxia; la ZMO se ve restringida por la plataforma y su límite superior más superficial se ubicó a los 2,5 m de profundidad. A partir de la información obtenida en enero-febrero 2009 (Crucero 0901-02) se analizó la variabilidad espacial de la ZMO, en donde se halló un espesor de ~637,8 m, en la sección Punta Falsa (6°S). Se analizó la dinámica de la ZMO y su límite superior, debido al gran interés que ha tomado, por el posible incremento de su espesor, en el contexto de cambio climático, con grandes repercusiones sobre los recursos pesqueros. PALABRAS CLAVE: Zona de mínimo de oxígeno, ZMO, variabilidad, ecosistema de la Corriente de Humboldt, mar peruano.

#### Abstract

LEDESMA J, TAM J, GRACO M, LEÓN V, FLORES G, MORÓN O. 2011. Characterization of Oxygen Minimum Zone (OMZ) in front of Peruvian coast between 3°N and 14°S, 1999 - 2009. *Bol Inst Mar Perú*. 26(1-2): 49-57.- Data were analyzed for dissolved oxygen, in front of the coast of Peru, to understand the variations of the OMZ, characterized by: a) the thickness of the area bounded by the oxygen isolines of 0.5 mL.L<sup>-1</sup>; and b) the depth of its upper limit in the marine coastal strip. We show the results of evaluations in the water column in the Bay of Callao during the period 1999 - 2009, and also in January-February 2009 in a study of the OMZ during Meteor Cruise 77-4 0901-02: *Interaction in the Tropical Ocean, Biogeochemistry and Climate*. In the marine coastal zone of Callao (12°S) hypoxia is accentuated, the OMZ is constrained by the platform and its upper surface is located more than 2.5 m deep. From the information obtained in January - February 2009 (Cruise 0901-02) examined the spatial variability of the OMZ, where a thickness of ~637.8 m was found in Punta Falsa section (6°S). We analyzed the dynamics of the OMZ and its upper limit, due to the great interest taken by the possible increase of its thickness in the context of climate change, with major impact on fisheries resources.

KEYWORDS: Oxygen minimum zone, OMZ, variability, ecosystem of the Humboldt Current, Peruvian sea.

#### Introducción

La Zona de Mínimo de Oxígeno (ZMO) es un sector del océano que se distribuye a profundidades intermedias, mayormente entre los 50 a 800 m y se caracteriza por presentar condiciones de muy bajo oxígeno e incluso anóxicas, identificándose a nivel mundial ZMO en: el Pacífico Suroriental (Perú - Chile); en el Pacífico Nororiental (Tropical y Subtropical); en el Océano Índico (Mar Árabe y Golfo de Bengala). Estas ZMO se desarrollan debido a tres factores principales: (1) una alta producción fitoplanctónica, luego remineralizada (proceso de descomposición de la materia orgánica particulada) en la columna de

agua, consumiendo grandes cantidades del oxígeno disuelto; (2) una estratificación vertical intensa y permanente, por el cambio súbito en la densidad vinculado con la profundidad (picnoclina), que impide la ventilación local de las aguas subsuperficiales y (3) una circulación profunda, lenta y compleja de aguas "viejas" caracterizadas por ser pobres en oxígeno (WYRTKI 1962; KAMYKOWSKI y ZENTARA 1990). Frente a Perú, la ZMO se identifica por presentar concentraciones de oxígeno disuelto (OD), entre 0,0 a 0,5 mL.L<sup>-1</sup> en la columna de agua (GRACO et al. 2007); exhibe importantes fluctuaciones a diferentes escalas, tanto estacionales como interanuales asociadas al ciclo El Niño y la Oscilación del Sur (ENOS), cuya señal es

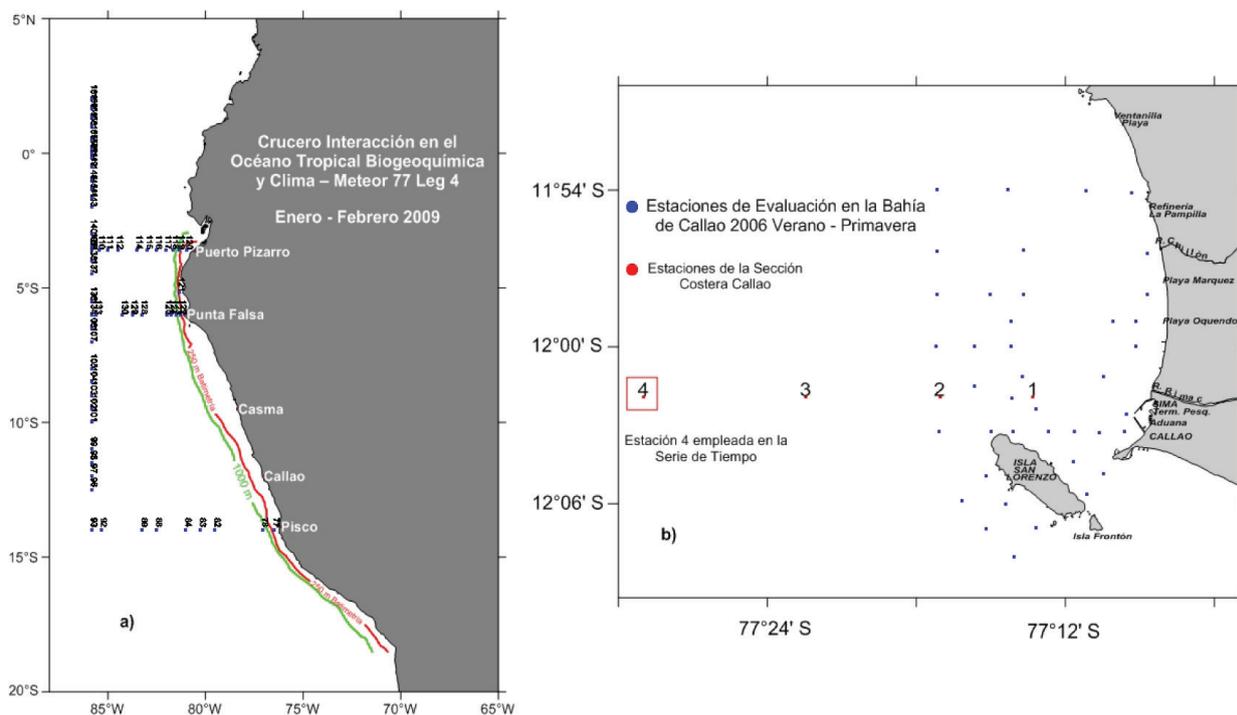


Figura 1.- Ubicación de las estaciones de muestreo: a) Crucero Meteor 77, Leg-4 0901-02; b) Estaciones costeras en verano – primavera 2006 y Estación fija de la sección Callao. 1999 - 2008.

una de las más intensas del planeta. En el ecosistema de la Corriente Humboldt se ha reportado muy poca información a niveles por debajo de los 500 m de profundidad. El Instituto del Mar del Perú (IMARPE) cuenta con una base de datos a estos niveles más profundos, que nos permitirá analizar las diferencias espaciales de la ZMO. El presente estudio explora la variabilidad de la ZMO en el norte del ecosistema de la Corriente de Humboldt.

## Material y métodos

### ÁREA DE ESTUDIO

Abarcó desde 3°N hasta 14°S. Se establecieron estaciones hidrográficas en las secciones de Puerto Pizarro, Punta Falsa, Callao y Pisco. Se tomaron muestras para medir el oxígeno disuelto a niveles estándares de: 0, 10, 20, 25, 30, 50, 75, 100, 200, 300, 500 - 4000 m. La distribución de las estaciones de muestreo se presenta en la Fig. 1: a) estación fija 4 de la sección costera Callao (12°S) a 20 mn de la costa; b) estaciones costeras en la bahía de Callao, a 10 mn de la costa; y c) Estaciones del Crucero Meteor, Leg 77-4, enero – febrero 2009 ( Cr. 0901-02).

### DETERMINACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO Y CONSIDERACIONES EN EL TRATAMIENTO DE DATOS

Se realizaron in situ empleando el método volumétrico de Winkler modificado por CARRIT y CARPENTER

(1966), las concentraciones de oxígeno disuelto se registran en mL.L<sup>-1</sup> y μM. En la interpolación se utilizó dos programas computacionales: a) Ocean Data View (ODV) versión 4.3.8 (SCHLITZER, 2011), que construye una malla de resolución variable, a partir de una rejilla rectangular, donde la red de espaciado a lo largo de las direcciones X e Y varía en función de la densidad de datos; y b) Surfer versión 9.0 (Golden Software 2009) se empleó en una menor cantidad de datos, interpolándose en base a la minimización de la varianza, en la cual se estima un valor desconocido a través de datos vecinos cercanos.

TYSON y PEARSON (1991) definieron los siguientes niveles de oxigenación:

- óxicos (8,0 a 2,0 mL.L<sup>-1</sup>)
- dióxicos (2,0 a 0,2 mL.L<sup>-1</sup>)
- subóxicos (desde 0,2 hasta 0,1 mL.L<sup>-1</sup>)
- anóxicos (0,0 mL.L<sup>-1</sup>)

En relación con las respuestas fisiológicas de los organismos se usan los términos:

- normoxia (nivel normal de oxígeno)
- hipoxia (déficit de oxígeno en un organismo).

Otros autores, como CHEN et al. (2007), clasifican a la hipoxia como valores <2,1 mL.L<sup>-1</sup>; O'CONNOR y WHITTALL (2007) definen la hipoxia como concentraciones por debajo de 1,4 mL.L<sup>-1</sup>. RABALAIS et al. (2010), en el Grupo de Trabajo WG 128 del SCOR, acordaron con-

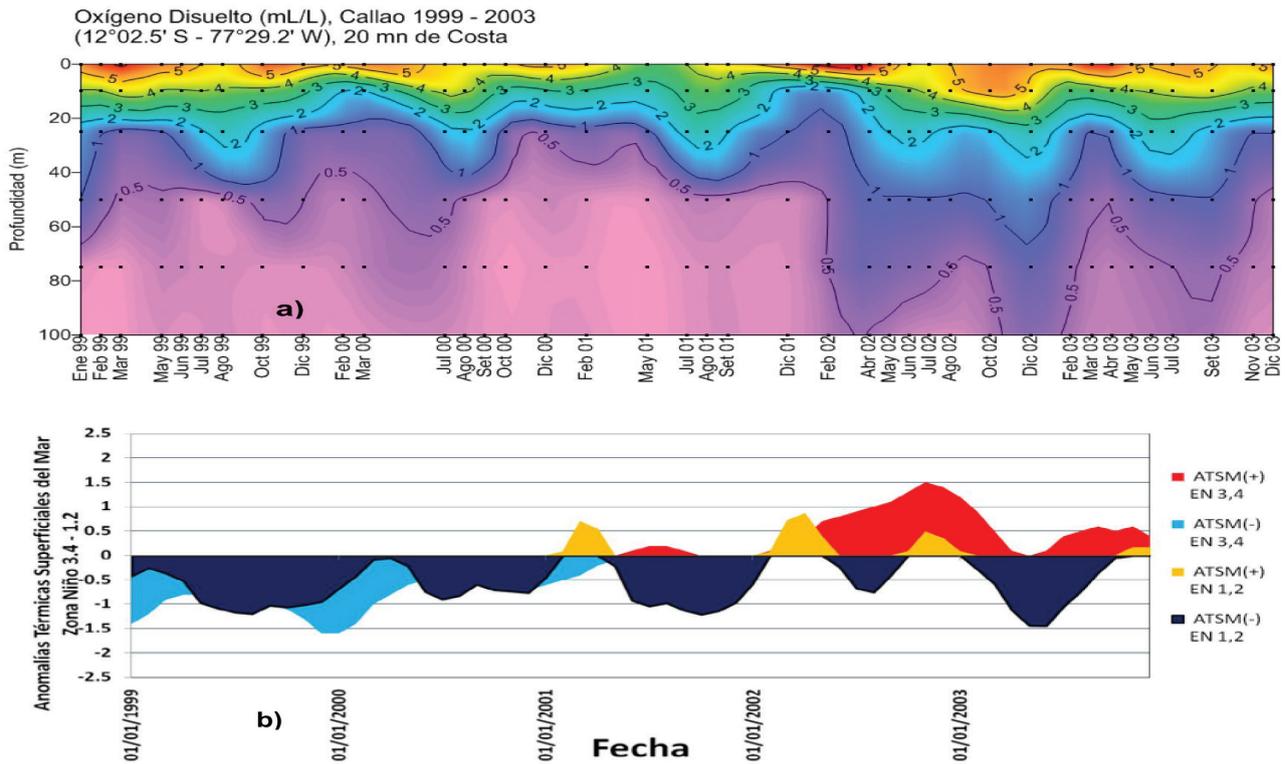


Figura 2.- a) Diagrama Hovmoller profundidad-tiempo del oxígeno disuelto a 20 mn de la costa frente al Callao (1999 – 2003); b) Serie de tiempo de las ATSM, en las regiones clasificadas por la NOAA 1,2

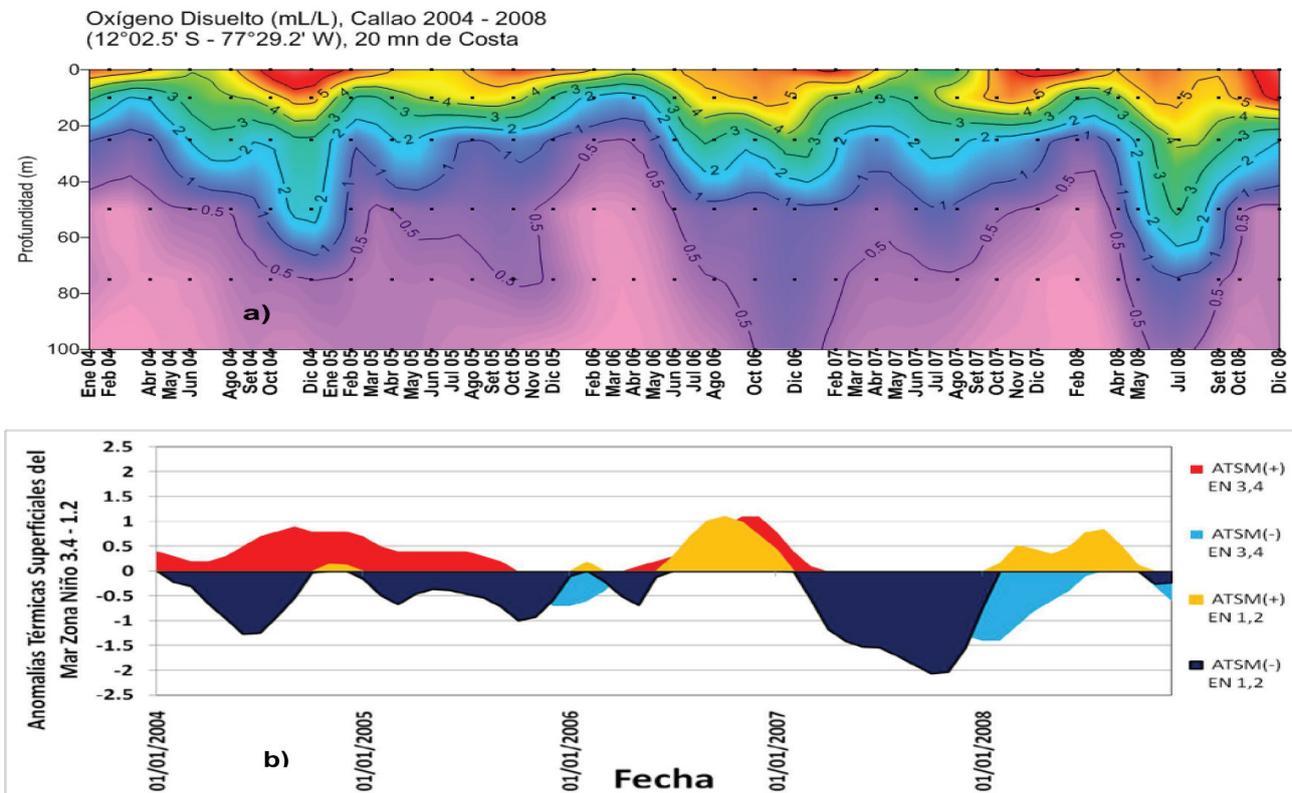


Figura 3.- a) Diagrama Hovmoller profundidad-tiempo del oxígeno disuelto a 20 mn de la costa frente al Callao (2004 – 2008); b) Serie de tiempo de anomalías térmicas en la superficie del mar, en las regiones clasificadas por la NOAA 1,2 (0 - 10°S, 90°W - 80°W) y 3,4, (5°N - 5°S, 170°W-120°W) para el periodo 2004-2008.

siderar a la *hipoxia* a los niveles de saturación de oxígeno menores a 30%, o unos  $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$  ( $1,4 \text{ mL.L}^{-1}$  ó  $63 \mu\text{M}$ ). Este valor es más relevante como un umbral para las aguas costeras y organismos que han evolucionado en aguas de *normoxia* sin condiciones severas de *hipoxia* como un estrés evolutivo.

#### LA PROFUNDIDAD DEL LÍMITE SUPERIOR DE LA ZMO

Se definió como la profundidad con contenido hipóxico de oxígeno disuelto (OD) de  $0,5 \text{ mL.L}^{-1}$  o  $22,5 \mu\text{M}$ . En este sentido el espesor de la ZMO se calculó a partir de las profundidades de las isolíneas de oxígeno de  $0,5 \text{ mL.L}^{-1}$ .

## Resultados y discusión

### OXÍGENO EN LA ESTACIÓN FIJA CALLAO A 20 mn DE LA COSTA (Figs. 2 y 3)

Se grafican dos periodos sucesivos de registros durante diez años: en la Fig. 2, los años 1999 – 2003; y en la Fig. 3, los años 2004 – 2008. La parte superior de cada figura se refiere al registro interanual del OD con la profundidad, y a la variación del límite superior de la ZMO. En la parte inferior se grafican las anomalías térmicas superficiales de mar (ATSM) durante dichos periodos, para la regiones denominadas NOAA 1,2 ( $0\text{-}10^{\circ}\text{S}$ ,  $90^{\circ}\text{W}$ - $80^{\circ}\text{W}$ ) y 3,4, ( $5^{\circ}\text{N}$ - $5^{\circ}\text{S}$ ,  $170^{\circ}\text{W}$ - $120^{\circ}\text{W}$ ). Para la interpretación, se debe relacionar la Fig. 2a con 2b y por otro lado, la Fig. 3a con 3b.

Entre 1999 – 2000, se aprecia la influencia de un periodo frío sobre el límite superior de la ZMO que alcanzó 50 m de profundidad; en verano – otoño 2001, este límite llegó alrededor de los 25 m. En el 2002, las condiciones cálidas propiciaron mayores concentraciones de OD, que profundizaron el límite superior de la ZMO por debajo de los 100 m hasta inicios del 2003 (Fig. 2a)

A partir del 2004 resalta la acentuada variación estacional, mayor hipoxia en verano y expansión de la ZMO; en el periodo de verano – otoño 2006 mostró menor profundidad del límite superior de esta zona hasta los 25 m, pero en invierno (agosto 2006) se presentó un evento cálido que profundizó la ZMO por debajo de los 100 m; una circunstancia similar se evidenció en mayo del 2008 (Fig. 3a).

Por lo anterior, puede asegurarse que en la estación costera de Callao a 20 mn, la ZMO recibe influencia de los eventos cálidos que profundizan su límite superior en cualquier estación del año. Durante los veranos, en periodos normales a fríos, la ZMO exhibe una mayor expansión, registrando menor profundidad del límite superior de la ZMO hasta los 25 m.

### DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PROFUNDIDAD DEL LÍMITE SUPERIOR DE LA ZMO EN LA BAHÍA DEL CALLAO (HASTA 10 MN) (FIG. 4)

En la bahía del Callao dentro de las 10 mn, la ZMO ha mostrado una de las mayores extensiones. La Fig. 4, grafica la distribución espacial de la profundidad del límite superior de la ZMO, registrada en dos evaluaciones costeras de verano y primavera del 2006, donde se obtuvieron valores de oxígeno disuelto en los niveles de superficie, intermedio y fondo, y a partir de esta información se realizó una interpolación logarítmica entre los contenidos de oxígeno y la profundidad, calculándose la penetración de la isolínea de oxígeno de  $0,5 \text{ mL/L}$ .

En la zona próxima al litoral, la profundidad del límite superior de la ZMO alcanzó niveles muy someros, tuvo su mayor expansión en verano 2006; predominó la hipoxia en la columna de agua; el límite superior de la ZMO fluctuó entre 30,0 hasta 2,5 m. En la primavera 2006, el nivel llegó a 7,5 m, con mayor oxigenación que en verano, por efecto de la ventilación ejercida por el viento y el menor consumo de oxígeno por descomposición de la materia orgánica. Además, la primavera 2006 estuvo asociada a un evento cálido, lo que profundizó el límite superior de la ZMO hasta los 80 m por los contenidos de oxígeno superiores a lo habitual.

### PERFIL VERTICAL DEL OXÍGENO DISUELTO (OD) HASTA LOS 4000 m DE PROFUNDIDAD (METEOR 77 LEG 4)

En la Fig. 5 se presenta el perfil vertical de oxígeno, en base a los datos obtenidos en el Crucero Interacción en el Océano Tropical, Biogeoquímica y Clima – Meteor 77 Leg 4, realizado en enero y febrero 2009 (Cr. 0901-02), que exploró la amplitud o espesor de la ZMO hasta 4000 m de profundidad.

En el perfil de 0 a 4000 m se puede observar el comportamiento típico del OD frente a la costa del Perú (Fig. 5a), con gradiente de 6,20 a  $0,04 \text{ mL.L}^{-1}$  entre la capa de 250 m de profundidad, manteniendo los valores de hipoxia  $<1,4 \text{ mL.L}^{-1}$ , hasta los 900 m, donde se inicia una tendencia clara al incremento, pues a partir de 1000 m, el contenido de oxígeno registra 1,04 a  $1,59 \text{ mL.L}^{-1}$ , y a los 4000 m de profundidad pasan de 3,14 a  $3,54 \text{ mL.L}^{-1}$ .

Las concentraciones mínimas de OD,  $0,07 \text{ mL.L}^{-1}$  (50 m) y  $0,56 \text{ mL.L}^{-1}$  (800 m), reflejan la extensión de la ZMO entre estos niveles (Fig. 5b). Destaca una zona de hipoxia permanente entre los 300 y 400 m de pro-

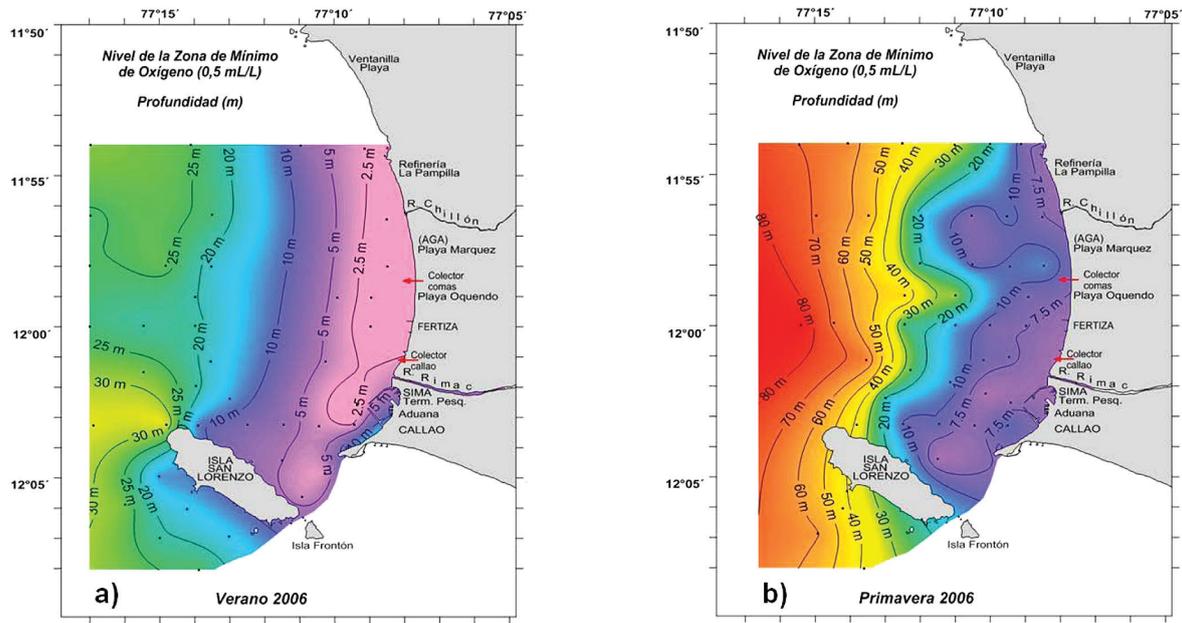


Figura 4.- Distribución espacial de la profundidad del límite superior de la Zona de Mínimo de Oxígeno, en la bahía de Callao durante: a) Verano 2006 y b) Primavera 2006.

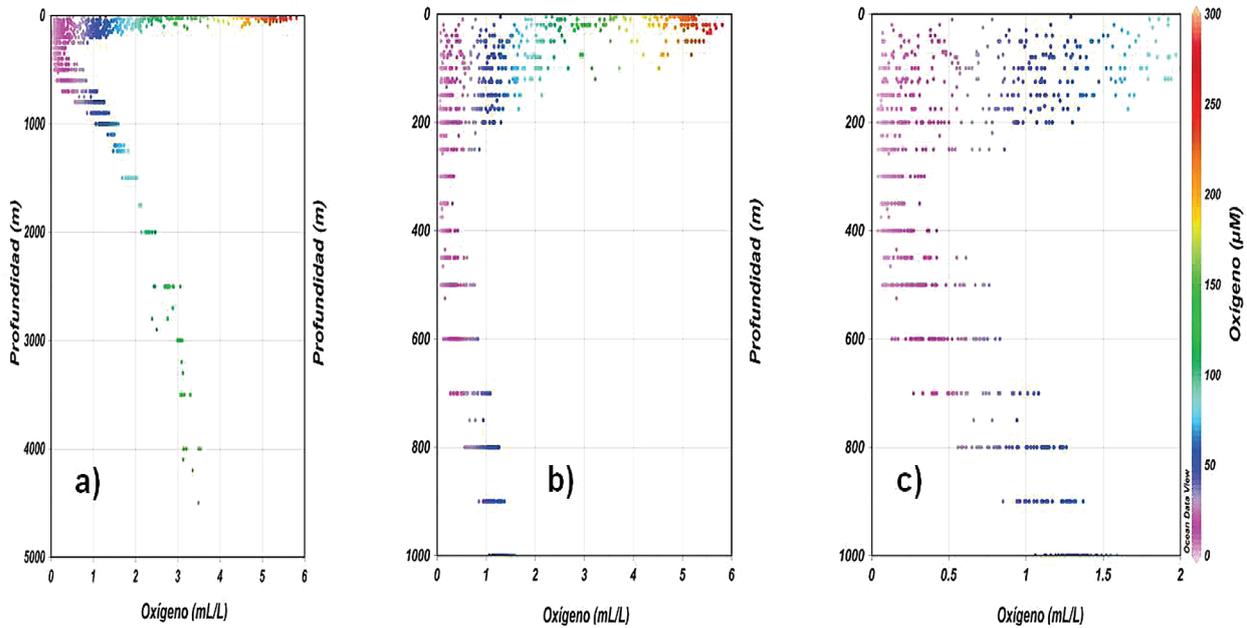


Figura 5.- Perfiles verticales de oxígeno (mL.L<sup>-1</sup> y μM), usando todos los datos del Crucero Interacción en el Océano Tropical, Biogeoquímica y Clima – Meteor 77, Leg 4, 0901-02: a) Variación de 0 a 5000 m, b) Detalle de 0 a 1000 m y c) Detalle de 0 a 1000 m y hasta 2,0 mL.L<sup>-1</sup>.

fundidad, con máximos de 0,34 a 0,42 mL.L<sup>-1</sup> de OD (Fig. 5c). Por tanto, la profundidad del límite inferior de la ZMO entre los 03°30'–14°00'S / 76°30'–85°50'W se encuentra aproximadamente a los 677,28 ± 50,90 m. A partir de los 1000 m, la columna de agua se vuelve más estable; las concentraciones de OD se van incre-

mentando y estabilizando por debajo del límite inferior de la ZMO, es así que a los 2000 m los valores de OD tienen un rango de 2,14 y 2,47 mL.L<sup>-1</sup>, en contraste con las grandes variaciones que ocurren a 50 m, donde el rango de OD es de 0,07 a 5,43 mL.L<sup>-1</sup> (Tabla 1).

Tabla 1.- Estadística descriptiva de los contenidos de oxígeno disuelto (OD) en los principales niveles de la ZMO, a partir de los datos del Crucero Interacción en el Océano Tropical, Biogeoquímica y Clima. Meteor 77 Leg 4 - 0901-02.

Parámetro	Oxígeno Disuelto (mL.L <sup>-1</sup> )													
	50	100	200	250	300	400	500	600	700	800	1000	1500	2000	4000
Profundidad (m)	50	100	200	250	300	400	500	600	700	800	1000	1500	2000	4000
Cantidad datos	50	57	54	46	49	47	54	51	32	48	51	28	13	6
Promedio OD	2,19	1,15	0,40	0,22	0,13	0,17	0,28	0,43	0,65	0,93	1,33	1,87	2,30	3,40
Desv. Est. OD	1,65	0,94	0,38	0,21	0,07	0,10	0,18	0,18	0,25	0,21	0,11	0,08	0,09	0,18
Máximo OD	5,43	4,52	1,30	0,86	0,34	0,42	0,76	0,83	1,08	1,26	1,59	2,04	2,47	3,54
Mínimo OD	0,07	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,07	0,13	0,27	0,56	1,06	1,68	2,14	3,14

Tabla 2.- Concentraciones de Oxígeno Disuelto y Niveles de Profundidad, empleados en la estimación del espesor de la ZMO, a partir de los datos del Crucero Interacción en el Océano Tropical, Biogeoquímica y Clima, Meteor 77 Leg 4, enero – febrero 2009 (Cr. 0901 02)

Profundidad (m)	OXÍGENO DISUELTO (mL.L <sup>-1</sup> )					
	SECCIÓN PUERTO PIZARRO		SECCIÓN PUNTA FALSA		SECCIÓN PISCO	
	03°35,00'S 81°20,65'W 15 mn	03°35,00'S 85°50,02'W 300 mn	05°59,99'S 81°30,09'W 15 mn	06°00,03'S 85°50,02'W 290 mn	13°59,91'S 77°03,49'W 15 mn	13°59,99'S 85°50,01'W 330 mn
0	4,25	4,92	5,05	5,04	4,94	5,08
10			1,80			5,09
20			1,16		3,00	
25	1,82	4,85		4,62		5,11
40			0,19			
50	1,32	1,47		0,82	0,08	
75	1,26			0,48		5,18
100	1,32	0,98	0,16		0,06	4,52
150	1,21	1,03	0,14	0,22		0,22
175	1,08	0,80				0,07
200	0,65	0,22	0,14	0,18	0,06	0,06
225	0,15	0,10				
250	0,13	0,10	0,08			0,06
300	0,15	0,11	0,11	0,06	0,08	0,06
400	0,16		0,09	0,06	0,06	0,12
500	0,23	0,19	0,23	0,14	0,20	0,29
600	0,47	0,30	0,40	0,40		0,56
700		0,50				
750				0,78	0,94	
800	1,10		0,68			0,87
Límite Sup. ZMO (m)	207,5	187,9	33,6	73,5	45,7	146,7
Límite Inf. ZMO (m)	609,5	700,0	671,4	639,5	601,4	577,8
Espesor ZMO (m)	402,0	512,1	637,8	565,9	555,7	431,0

**CARACTERIZACIÓN DE LOS LÍMITES SUPERIOR E INFERIOR DE LA ZMO**

En la sección Puerto Pizarro (03°35'S) la profundidad del límite superior de la ZMO se ubicó alrededor de los 200 m, en contraste de la zona costera (~15 mn) de Punta Falsa y Pisco, donde este límite superior estuvo en 33 m y 45 m respectivamente. Asimismo, en la zona oceánica de Punta Falsa (300 mn) y Pisco (330 mn), se observó un gradiente de profundización del límite superior de la ZMO hasta 73 y 146 m (Tabla 2).

En la zona costera de Puerto Pizarro, 15 mn de la costa, la ZMO tuvo menor espesor (~402 m), y en la parte

oceánica, 300 mn de la costa, fue mayor (~512 m). Situación contraria ocurrió en Punta Falsa y Pisco, donde a 15 mn de la costa, hubo mayor espesor (~637 m y ~555 m, respectivamente); y a mar abierto, a 290 mn y 330 mn, el espesor se redujo a 565 m y 431 m (Fig. 6, Tabla 2).

Durante el Crucero Meteor 77 Leg 4, enero – febrero 2009 (Cr. 0901-02), el mayor espesor de la ZMO de 688 m se encontró en la parte central de la costa de Perú, frente a Casma (9°30'S - 85°50'W), situación que nos permite especular que, en la zona más próxima a la costa central y delimitada por la plataforma, la ZMO alcanzaría los 700 m de espesor. Estos resulta-

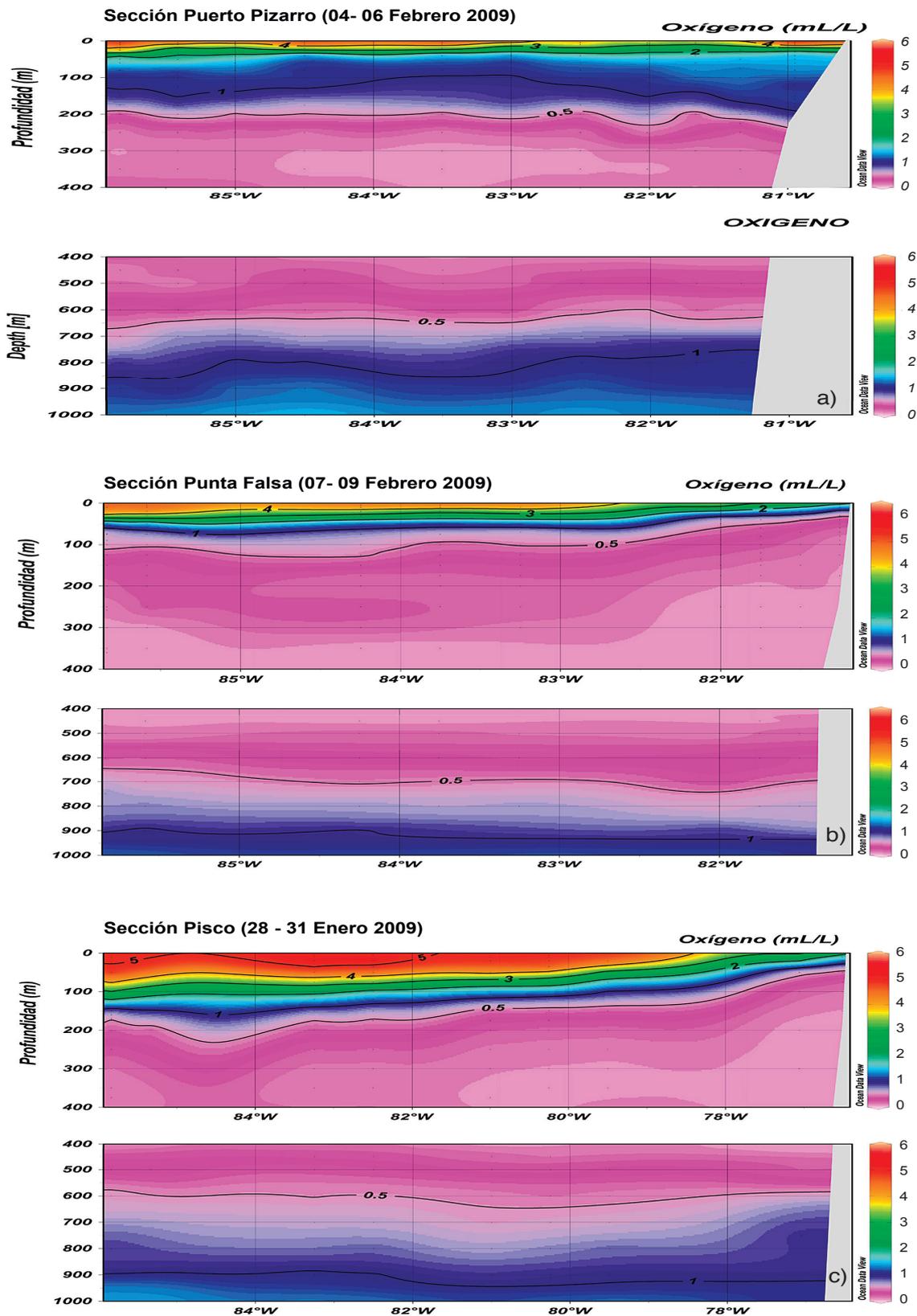


Figura 6.- Distribución vertical longitudinal de oxígeno disuelto (mL.L<sup>-1</sup>) durante el Crucero Interacción en el Océano Tropical, Biogeoquímica y Clima – Meteor 77 Leg 4 0901-02: a) Sección Puerto Pizarro en los 81°20' – 85°50'W, 03°35'S, b) Sección Punta Falsa en los 81°30' - 85°50'W, 06°00'S y c) Sección Pisco en los 77°03' – 85°50'W, 14°S.

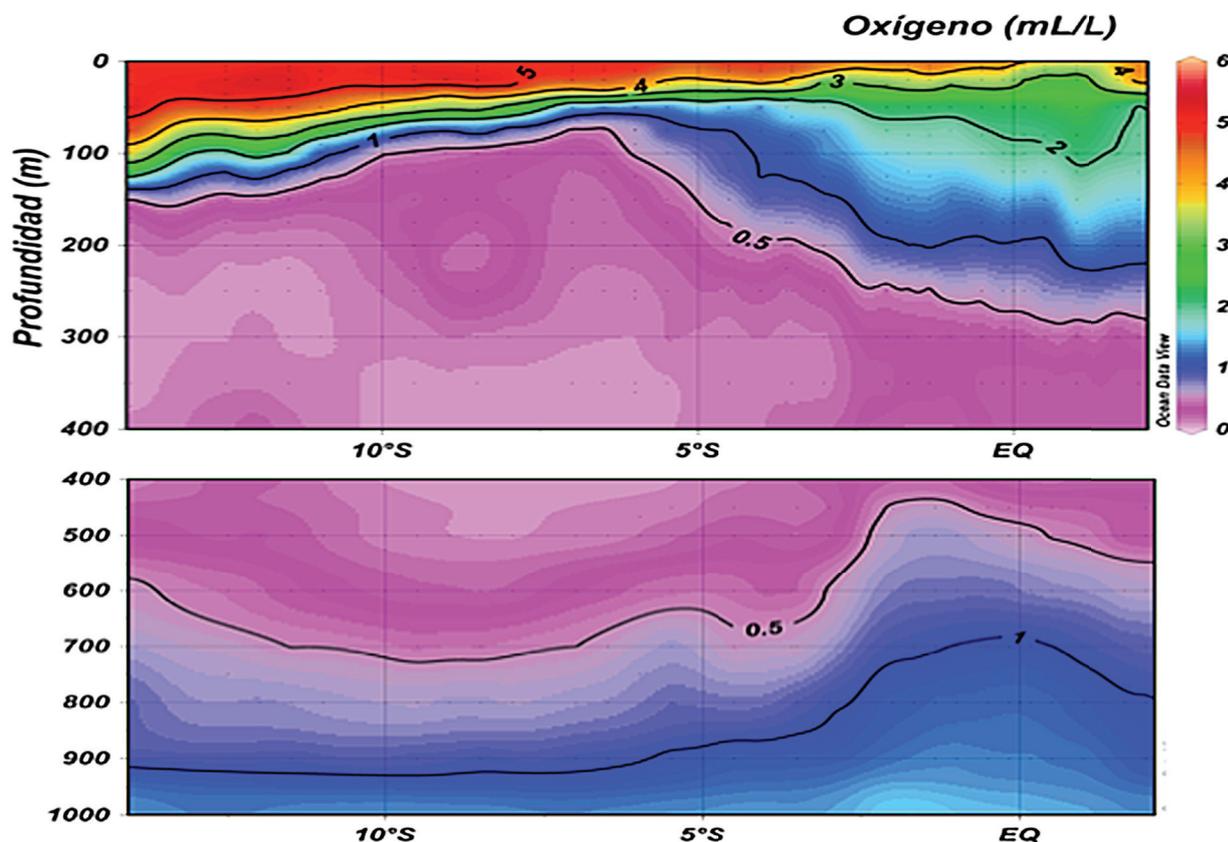


Figura 7.- Distribución Vertical latitudinal de Oxígeno Disuelto ( $\text{mL.L}^{-1}$ ) durante el Crucero Interacción en el Océano Tropical, Biogeoquímica y Clima – Meteor 77 Leg 4 0901-02: Sección Oceánica en los  $85^{\circ}50'W$ ,  $14^{\circ}S$  -  $03^{\circ}N$ .

dos concuerdan con Fuenzalida et al. (2009), quienes encontraron que el espesor de la ZMO es más amplio ( $> 600$  m) frente al Perú entre  $5$  y  $13^{\circ}S$ , a unas  $600$  mn de la costa.

En la sección Puerto Pizarro ( $3^{\circ}35'S$ ) la profundidad del límite superior de la ZMO se encontró a  $\sim 200$  m, se profundizó ligeramente en la zona costera a los  $250$  m, notándose en general un espesor de la ZMO de  $\sim 450$  m (Fig. 6a).

En la sección Punta Falsa se observa un espesor de la ZMO entre  $550$  y  $640$  m, y la profundidad de su límite superior se ubica a los  $15$  m en la zona costera. Se marca así una gran diferencia con el espesor de la ZMO de  $250$  m de la sección Puerto Pizarro. A su vez el gradiente de  $2,0$  a  $1,0 \text{ mL.L}^{-1}$  ( $3^{\circ}35'S$ ) presenta un espesor de  $100$  a  $150$  m, y en Punta Falsa ( $6^{\circ}S$ ) dicho gradiente fluctúa por los  $25$  m (Fig. 6b).

En la sección Pisco el espesor de la ZMO osciló de  $430$  m a  $550$  m, presentando una tendencia similar a la sección Punta Falsa; sin embargo, la profundidad del límite superior de la ZMO se encontró por los  $200$  m en el extremo oceánico a  $330$  mn de la costa, ascendiendo

hasta los  $45$  m en la zona costera a  $15$  mn (Fig. 6c).

Merece un comentario, el hecho que en la Fig. 2a del diagrama Hovmoller a  $20$  mn de Callao ( $12^{\circ}S$ ), se observe que la profundidad del límite superior de la ZMO ocurre a los  $25$  m, durante los veranos  $2000$  y  $2001$ . Esta profundidad es muy similar a la registrada durante el verano  $2009$ , en el Crucero Meteor a  $15$  mn de Punta Falsa ( $6^{\circ}S$ ), que se localizó a  $33$  m de profundidad. GUTIÉRREZ et al. (2005), situaron el límite superior de la ZMO a  $20$  mn de San José ( $7^{\circ}S$ ) al borde de los  $25$  m de profundidad para los veranos  $2000$  y  $2001$ , demostrándose la somerización de la ZMO en los periodos de verano, en años normales sin El Niño.

En la sección vertical latitudinal de OD a la longitud  $85^{\circ}50'W$  (Fig. 7), entre los  $14^{\circ}S$  y  $3^{\circ}N$  ( $31$  enero –  $13$  febrero  $2009$ ), se observó un espesor o amplitud de la ZMO de  $\sim 450$  m en el extremo sur ( $14^{\circ}00'S$  -  $85^{\circ}50'W$ ); en la costa central del Perú se amplió a  $\sim 680$  m, por una mayor intensidad de la ZMO. A los  $6^{\circ}S$  se registró una reducción del espesor, que a los  $5^{\circ}S$  fue  $\sim 450$  m, y continuó reduciéndose hasta la línea ecuatorial donde llegó a  $\sim 250$  m (Fig. 7).

## Conclusiones

1. En el Callao (12°02'S - 77°29'W) a las 20 mn, la profundidad del límite superior de la ZMO durante los veranos sin El Niño (1999 - 2008), se ubica en promedio a los  $30,6 \pm 8,8$  m y de manera general el promedio anual se ubica a los  $47,5 \pm 20,2$  m. En particular, los valores hipóxicos se acentúan hacia el centro de la bahía de Callao (2 mn), registrándose el límite superior más somero de la ZMO a 2,5 m durante el verano 2006. Para el verano 2009 frente a las costas del Perú (03°30' - 14°00'S / 76°30' - 85°50'W) el espesor de la ZMO fue en promedio de  $677,28 \pm 50,90$  m.
2. La variabilidad de la profundidad del límite superior de la ZMO y su espesor son indicadores clave para monitorear los cambios biogeoquímicos en el Ecosistema de la Corriente de Humboldt, a diferentes escalas temporales y espaciales. Finalmente, es trascendental continuar investigando la dinámica de la ZMO, teniendo en cuenta el posible efecto de intensificación de la ZMO frente al cambio climático, tal como lo sugirió STRAMMA et al. (2008), lo cual traería grandes repercusiones sobre los recursos pesqueros.

## Referencias

- CARRIT D, CARPENTER J. 1966. Comparison and evaluation of currently y employed modifications of Winkler method for determination dissolved oxygen in sea water. *J. Mar. Res.* 24:286-318.
- CHEN C-C, GONG G-C, SHIAH F-K. 2007. Hypoxia in the East China Sea One of the largest coastal low-oxygen areas in the world, *Mar. Environ. Res.*, 64, 399-408.
- FUENZALIDA R, SCHNEIDER W, GARCÉS J, BRAVO L, LANGE C. 2009. Vertical and horizontal extension of the oxygen minimum zone in the eastern South Pacific Ocean.
- GOLDEN SOFTWARE. 2009. Surfer Getting Started Guide. Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers. 56 p.
- GRACO M, LEDESMA J, FLORES G, GIRON M. 2007. Nutrientes, Oxígeno y Procesos Biogeoquímicos en el Sistema de Surgencias de la Corriente de Humboldt frente a Perú. *Rev. Perú. Biol.* 14(1).
- GUTIÉRREZ D, ARONÉS K, CHANG F, QUIPÚZCOA L, VILLANUEVA P. 2005. Impacto de la variación oceanográfica estacional e inter-anual sobre los ensambles de microfitoplancton, mesozooplancton, ictioplancton y macrozoobentos de dos áreas costeras del norte del Perú entre 1994 y 2002. *Bol. Inst. Mar Perú* (22): 3-60.
- KAMYKOWSKI D, ZENTARA S J. 1990. Hypoxia in the world ocean as recorded in the historical data set. *Deep-Sea Research* (37): 1861-1874.
- O'CONNOR T, WHITALL D. 2007. Linking hypoxia to shrimp catch in the northern Gulf of Mexico, *Mar. Pollut. Bull.*, 54, 460-463.
- RABALAIS NN, DÍAZ RJ, LEVIN LA, TURNER RE, GILBERT D, ZHANG J. 2010. Dynamics and distribution of natural and human-caused hypoxia, *Biogeosciences*, 7, 585-619.
- SCHLITZER, R. 2011. Ocean Data View User's Guide Version 4.3.8
- STRAMMA L, JOHNSON G, SPRINTALL J, MOHRHOLZ V. 2008. Expanding Oxygen-Minimum Zones in the Tropical Oceans. *Science* V 320-2:655-658.
- TYSON RV, PEARSON TH (eds.). 1991. Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia. Geological Society of London Special Publication No. 58, 470 p.
- WYRTKI K. 1962. The oxygen minima relation to ocean circulation. *Deep sea research* (9): 11-23



# Aspectos hidrológicos en el fondo marino peruano asociados a la Extensión Sur de la Corriente Cromwell (ESCC) entre 3° y 7°S

## Hydrological aspects in the Peruvian seabed associated with the Cromwell Current Southern Extension (CCSE) between 3° and 7°S

JOSÉ TENORIO<sup>1</sup>

ROBERTO FLORES<sup>1</sup>

NOEL DOMÍNGUEZ<sup>1</sup>

Unidad de Investigación en Oceanografía Física. DIO. IMARPE. jtenorio@imarpe.gob.pe

### Resumen

TENORIO J, FLORES R, DOMÍNGUEZ N. 2011. Aspectos hidrológicos en el fondo marino peruano asociados a la Extensión Sur de la Corriente Cromwell (ESCC) entre 3° y 7°S. *Bol Inst Mar Perú*. 26(1-2): 59-64.- Para determinar la variabilidad estacional y espacial en el fondo marino del norte peruano, durante los últimos 30 años (1980-2009), se estudió la temperatura y el oxígeno disuelto entre las latitudes 3°-7°S. Se halló una mayor proyección latitudinal del oxígeno disuelto (OD), superior a 1,0 mL/L en la estación de otoño, delimitada por la isoterma de 15 °C al borde de la plataforma. Esta proyección estaría asociada a los flujos subsuperficiales hacia el sur, que constituyen la Extensión Sur de la Corriente de Cromwell (ESCC), a profundidades de 90-180 m. La oxigenación estaría influenciada por el incremento o repliegue de la ESCC presente en el área. La variación media de oxígeno registra valores de 0,7-1,3 mL/L en verano y 0,8-1,6 mL/L en otoño. Paita (5°S) presenta valores promedio de 1,0 mL/L en verano y de 1,4 mL/L en otoño. Los mayores valores de OD se asocian a latitudes menores en ambas estaciones; la estación de otoño presenta los mayores tenores de oxígeno, asociados a una mayor intensidad de la ESCC.

PALABRAS CLAVE: variabilidad, flujos subsuperficiales, Extensión Sur de la Corriente Cromwell.

### Abstract

TENORIO J, FLORES R, DOMINGUEZ N. 2011. Hydrological aspects in the Peruvian seabed associated with the Cromwell Current Southern Extension (CCSE) between 3° and 7°S. *Bol Inst Mar Perú*. 26 (1-2): 59-64.- To determine seasonal and spatial variability on the seabed in northern Perú during the last 30 years (1980-2009), we studied the temperature and dissolved oxygen between latitudes 3°-7°S. We found a higher latitudinal projection of the dissolved oxygen (DO), greater than 1.0 mL/L in the fall season, bounded by the isotherm of 15 °C at the edge of the platform. This projection would be associated with subsurface flows to the south, which form the Southern Extension of the Cromwell Current (SECC), at depths of 90-180 m. The oxygen would be influenced by the increase or withdrawal of the SECC present in the area. The mean change from 0.7 to 1.3 oxygen values recorded mL/L in summer and 0.8 to 1.6 mL/L in the fall. Paita (5°S) presents average values of 1.0 mL/L in summer and 1.4 mL/L in the fall. The highest DO values are associated with lower latitudes in both seasons; the fall season provides the highest oxygen content associated with a greater intensity of ESCC.

KEYWORDS: variability, subsurface flow, Southern Extension of the Cromwell Current.

### Introducción

El sistema de corrientes ecuatoriales del Pacífico, ha sido estudiado por diversos oceanógrafos que esclarecieron las relaciones entre los flujos superficiales y subsuperficiales (WYRTKI 1964).

Según los esquemas de corrientes zonales en el Pacífico ecuatorial, se tiene un flujo subsuperficial dirigido hacia el Este (E) denominada Corriente Cromwell (CC) que presenta su eje en la línea ecuatorial entre los 3°N-3°S (DIETRICH et al. 1975, WOLFF et al. 2003, KRAUSS 1960, ICOCHEA y ROJAS 2001) que en su recorrido al acercarse a las islas Galápagos se bifurca en dos ramales, la Extensión Norte de la Corriente de Cromwell (ENCC) y la Extensión Sur de la Corriente

Cromwell (ESCC) que llega a la zona costera del Perú (FLORES et al. 2009).

La ESCC se propaga hacia el sur con el eje principal en el borde de la plataforma continental, y ha sido estudiada por BROCKMANN et al. (1980), ZUTA y GUILLÉN (1970), HUYER (1991) y otros.

La mayor parte de la plataforma continental frente a Perú se caracteriza por fondos de hipoxia/anoxia debido a la deposición de materia orgánica procedente de la superficie producida por la muy alta producción primaria (ARNTZ y FAHRBACH 1996). La ESCC, corriente bien oxigenada, fluye desde el Ecuador hacia el sur, por debajo de los 100 m de profundidad, mejorando la productividad de las comunidades bentónicas en

la plataforma continental (ZUTA y GUILLÉN 1970, SAMAMÉ 1981).

La zona de Paita (5°S) es el punto geográfico de referencia al límite entre las dos grandes regiones biogeográficas del mar peruano. La región al norte de los 6°S es de alta diversidad con condiciones ambientales tropicales en la superficie. Al sur de los 6°S, la región peruano-chilena es de menor diversidad, influenciada por el sistema de la Corriente de Humboldt asociada a la surgencia costera que origina una zona de alta productividad con aguas frías y templadas. Este patrón es dinámico, porque se trata de una frontera ecológica o ecotono, donde la variabilidad oceanográfica es alta, estacional e interanualmente, cuyas manifestaciones más notables son los eventos El Niño (EN) y La Niña (LN) (GUEVARA-CARRASCO y LEONART 2008).

La abundancia y distribución de los recursos demersales están estrechamente ligadas a la variabilidad de la ESCC, es por ello que conocer sus principales variables ambientales permitirá apreciar el comportamiento de estos recursos. Para ello se ha analizado la estructura térmica y el contenido de oxígeno disuelto en sus aguas, además de la intensidad del flujo subsuperficial (esquema de la ESCC y cálculos de flujos geostroficados), que nos permiten explicar el comportamiento del ramal sur de la Corriente Cromwell.

## Material y métodos

Se colectó la información de los Cruceros de Investigación de Evaluación Demersal de la base de datos del IMARPE (1980-2009) de los periodos verano y otoño, principalmente de la capa subsuperficial. Los datos fueron separados y procesados por grados latitudinales desde 3°S hasta 7°S. Para los valores calculados se utilizó el método de interpolación Kriging mediante los softwares Surfer 8,0 y Matlab.

Se procesaron las variables ambientales de temperatura y oxígeno disuelto, de los estratos 40 a 90 m y de 90 a 180 m; se determinaron medias ambientales estacionales de verano y otoño; además de medias espaciales entre 3° y 8°S (Fig. 1).

Se determinaron las velocidades relativas de corrientes en la columna de agua, mediante el cálculo geostrofico, que utiliza el campo de densidad (temperatura y salinidad) de la estructura vertical, realizando esquemas de proyección del núcleo de la ESCC. Así como el análisis estacional de las secciones de Paita y Punta Falsa.

## Resultados y discusión

ZUTA y GUILLÉN (1970) señalaron que la situación geográfica de la costa del Perú hace que sus aguas costeras subsuperficiales tengan gran influencia de las aguas de la región ecuatorial, predominantemente hacia el

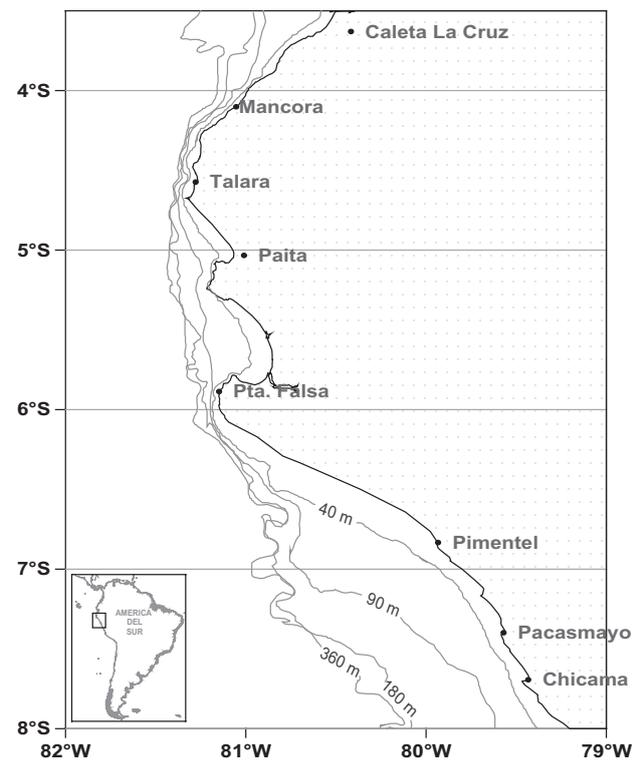


Figura 1.- Localización geográfica y estratos del área de estudio.

norte de Punta Falsa (6°S). Estas aguas, con relativo alto contenido de oxígeno, provienen del ramal sur de la Corriente Cromwell y se encuentran entre los 50 - 300 m de profundidad. Tienen una proyección latitudinal sur hasta los 7°S, con rangos de oxígeno disuelto entre 0,5 a 1,5 mL/L en otoños de periodos normales; pero se desplazan más hacia el sur durante los eventos cálidos El Niño, tal como ocurrió en los años 1982-83, 1987, 1992, 1997-98, oxigenando el fondo marino con valores >2,0 mL/L. El aumento térmico del fondo marino varía del mismo modo, alcanzando temperaturas >16 °C entre 90-180 m de profundidad, y >18 °C en estratos menores a 90 m (Fig. 2). Efectos contrarios se manifiestan en el evento frío La Niña, disminuye el oxígeno disuelto y ocurre un repliegue de la ESCC hacia el norte.

El estudio de la profundización de la isoterma de 15 °C como variable indicadora de la ESCC, permite discernir que, en la década de los años 1980, esta corriente habría estado más profunda, favoreciendo una mayor oxigenación del fondo marino (GUEVARA-CARRASCO y WOSNITZA-MENDO 2009). A fines de los años 1980 y comienzos de los 1990, esta corriente se habría hecho menos profunda, provocando efectos contrarios a los de la década anterior. Esta hipótesis se refleja en la Fig. 2, donde en ambas décadas se presentaron eventos El Niño, aumentaron notablemente los tenores de oxígeno y temperatura del fondo marino, situaciones claramente manifiestas en los estratos de profundidades <90 m. En la década de los 2000,

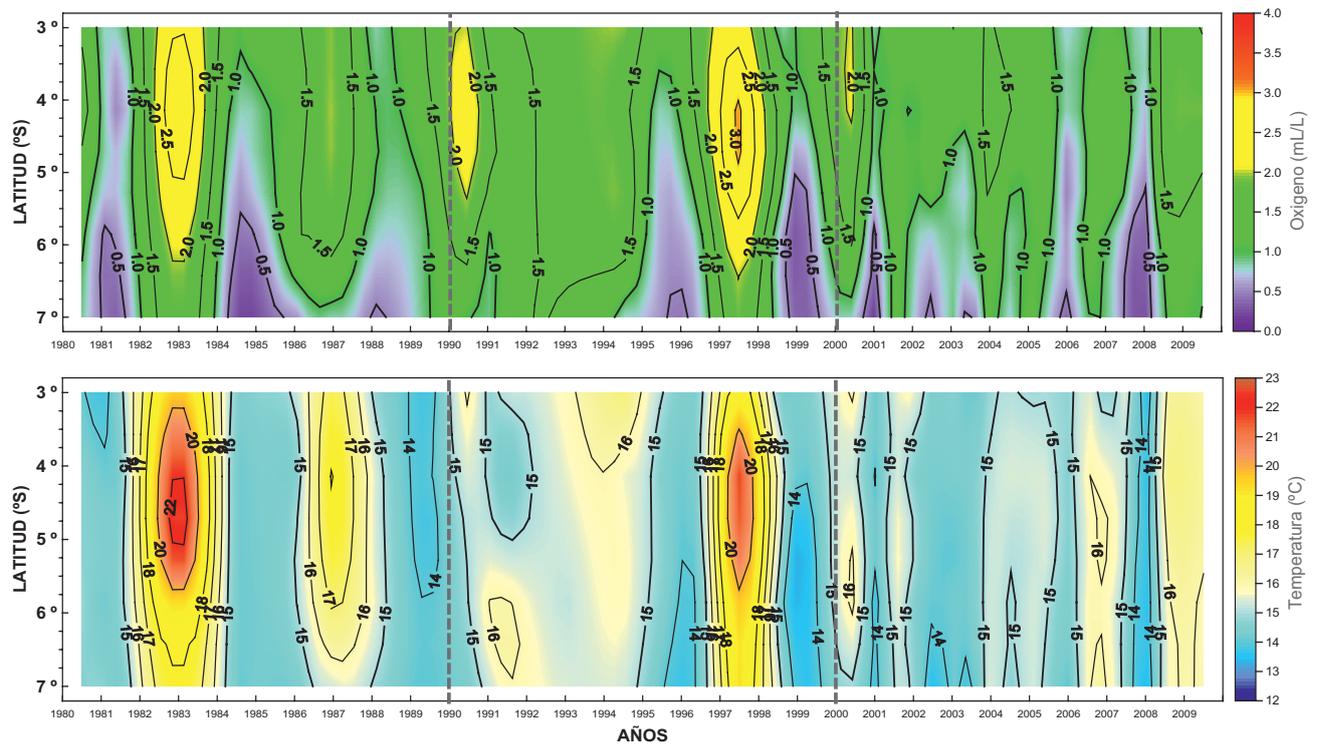


Figura 2.- Variación espacio-temporal de la distribución de oxígeno disuelto (mL/L)-arriba y temperatura (°C)- abajo, en profundidades de 90 a 180 m. 1980-2009.

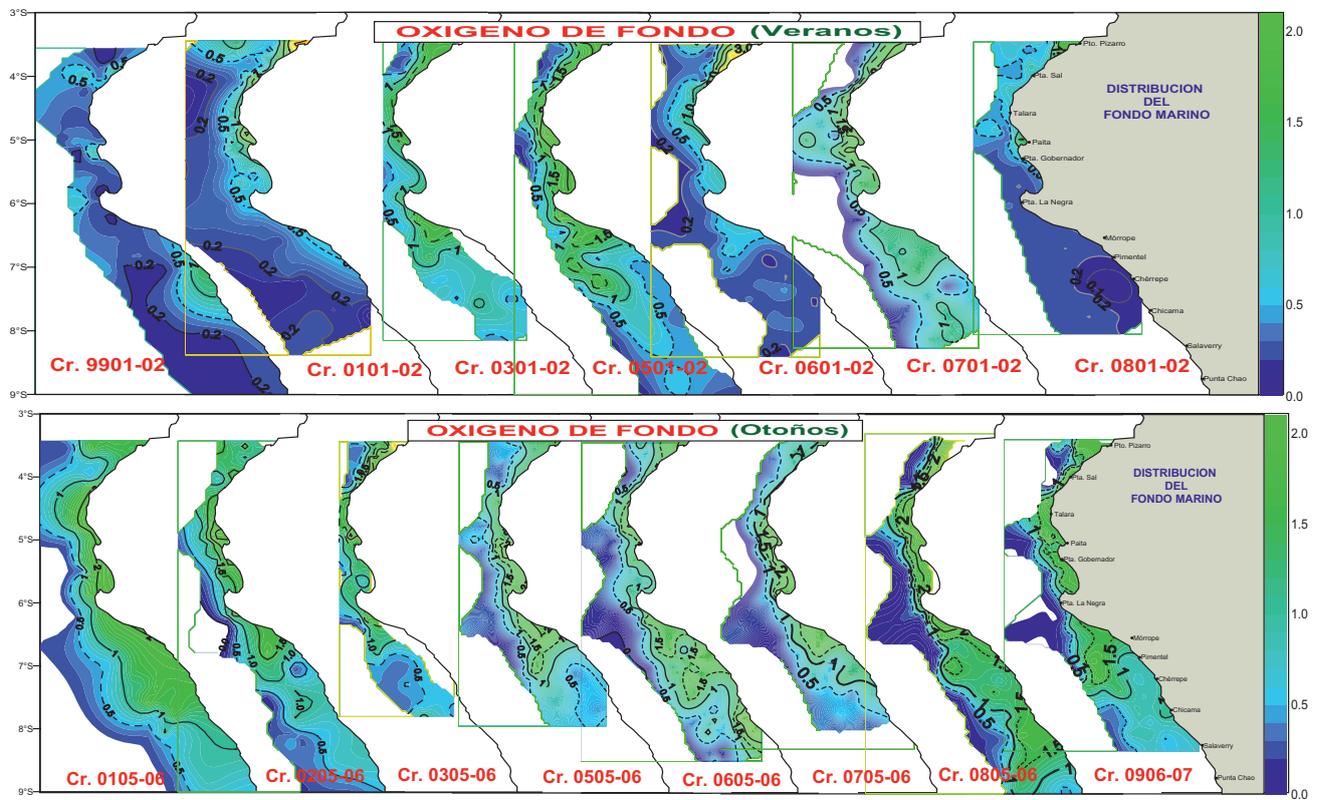


Figura 3.- Distribución de oxígeno disuelto en fondo (mL/L) asociado a proyección de la ESCC frente a la costa peruana. Cruces Demersales de 1999-2008 veranos (arriba) y 2001-2009 otoños (abajo).

las variaciones térmicas y los contenidos de oxígeno disuelto fueron más estables. En este periodo se presentaron eventos anómalos de corta duración, catalogados como El Niño de intensidad débil a moderado, que mantuvieron las concentraciones de oxígeno con valores promedio de ambas décadas, estas características determinaron los cambios abióticos y bióticos en las décadas de los años 1980, 1990 y 2000.

Las variaciones entre décadas tendrían coherencia con una serie de otros indicadores abióticos, como el contenido medio de oxígeno superficial en el mar peruano y las variaciones de las anomalías de salinidad (GUEVARA-CARRASCO y WOSNITZA-MENDO 2009). Las tendencias de estas variables indicaron las variaciones interdecadales del ecosistema marino.

La distribución latitudinal del oxígeno en el fondo marino, obtenida de los datos de cruceros demersales entre los años 1999 al 2008 para la estación de verano y del 2001 al 2009 para otoño, presentaron valores de 0,5 y 1,0 mL/L asociados a la ESCC (Fig. 3), siendo notable la mayor proyección de la ESCC hacia el sur en la estación de otoño, que las registradas en el verano, con un considerable aumento del oxígeno disuelto en el fondo que se transporta por dentro de la plataforma continental, este comportamiento ha sido estudiado por FLORES et al. (2009), HUYER (1991), BROCKMANN et al. (1980), ZUTA y GUILLÉN (1970) y otros.

Observamos también que para los veranos de los años 1999, 2006 y 2008 se presentaron situaciones de hipoxia relacionadas con la casi nula proyección hacia el sur de la ESCC, situación similar describe FLORES et al. 2009. Se destaca que estos valores mínimos de oxígeno se presentaron durante o al finalizar los eventos La Niña, tal como se observaron en 1999 y 2008, este último se manifestó después del evento frío del 2007 que se presentó de julio a diciembre. Cabe resaltar que el eje principal de este flujo estaría asociado en gran medida a la iso-oxígena de 1,0 mL/L, situada al borde de la plataforma (Fig. 3).

De la distribución de oxígeno y temperatura del fondo marino se corroboró que las mayores proyecciones hacia el sur de la ESCC se presentan en las estaciones de otoño principalmente en el estrato de 90-180 m, donde la variación media de oxígeno registra rango de 0,8-1,6 mL/L, mientras que para el verano su rango disminuye ligeramente presentando valores de 0,45-1,3 mL/L. Los registros térmicos del fondo marino confirman también la influencia de la ESCC en este estrato (90-180 m) fluctuando sus valores entre 14,5 °C a 15,5 °C. Se refleja un notable aumento térmico en estratos menores para ambos periodos con valores superiores a 15,5 °C (Fig. 4). Asimismo, Paita (5°S) como eje principal para el estudio de esta corriente, presentó valores promedio de 1,0 mL/L en verano y de 1,4 mL/L para otoño, reforzando la hipótesis de la mayor proyección de la ESCC, que se propaga hacia

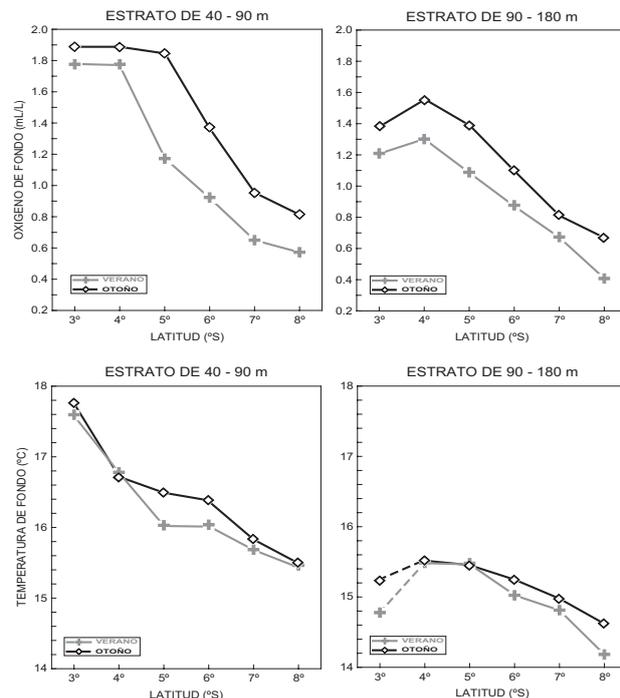


Figura 4.- Variación media espacial (3°-8°S) de oxígeno (mL/L) y temperatura (°C) en estratos de 40-90 y 90-180 m, para veranos y otoños (1980-2009).

el sur con el eje principal en el borde de la plataforma continental.

FLORES et al. (2009) estudiaron la profundización de la isoterma de 15 °C como base de la termoclina de la zona norte del litoral peruano asociado a la proyección de la ESCC. Del mismo modo en función a la base de datos (1980 - 2009) se calculó la variación mensual de la profundización de la isoterma de 15 °C dentro de las latitudes 5° y 6°S (Paita - Punta La Negra), registradas dentro de las 60 mn de la costa, obteniéndose las mayores profundidades (> 100 m) en los meses de mayo y junio, que representan los meses de mayor intensificación de la ESCC (FLORES et al. 2009); en los meses de verano este flujo se mantendría en profundidades de 80-90 m, periodo donde eventualmente se presentan ondas Kelvin que generan un aumento térmico en capas someras.

Se realizaron cálculos geostrofic frente a Paita a fin de visualizar los flujos subsuperficiales desplazados hacia el sur, mostrando a su eje principal en el borde de la plataforma, tal como lo observó BROCKMANN et al. (1980). Los flujos costeros dirigidos hacia el sur estarían asociados a la ESCC situados por dentro de las 40 mn de la costa, ubicando su núcleo en profundidades de 70-120 m de profundidad y entre los 20-30 mn de costa (Fig. 5). Cabe recordar que el flujo submarino costero, corresponde a lo que denominan Extensión Sur de la Corriente Cromwell (ESCC) o Corriente Peruana Subsuperficial (ZUTA Y GUILLÉN 1970), Corriente Submarina Costera (ZUTA 1988), Corriente Subma-

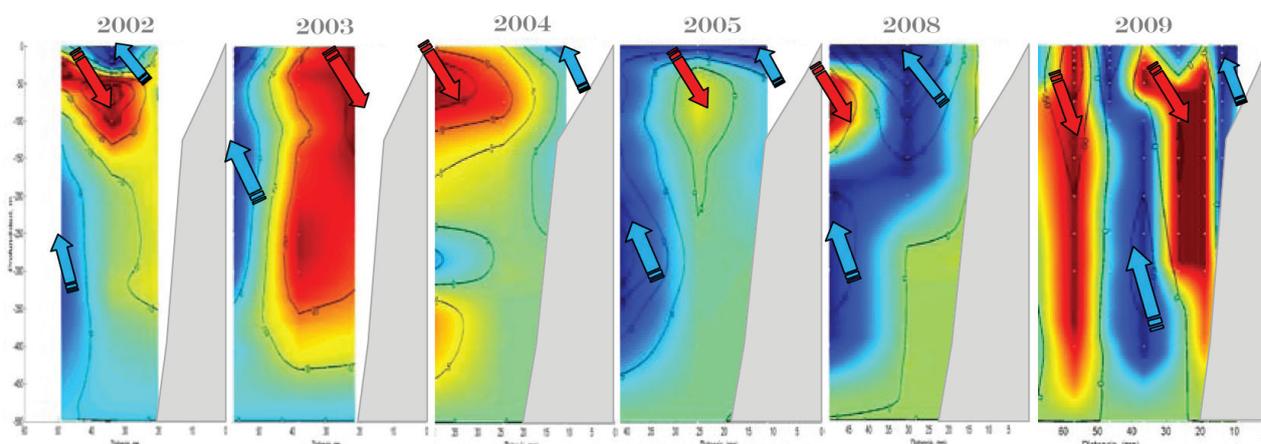


Figura 5.- Cálculos geostróficos de los flujos subsuperficiales frente a Paita, durante los otoños del 2002 – 2009 (flujos hacia el Sur-color rojo y flujos hacia el Norte, azul).

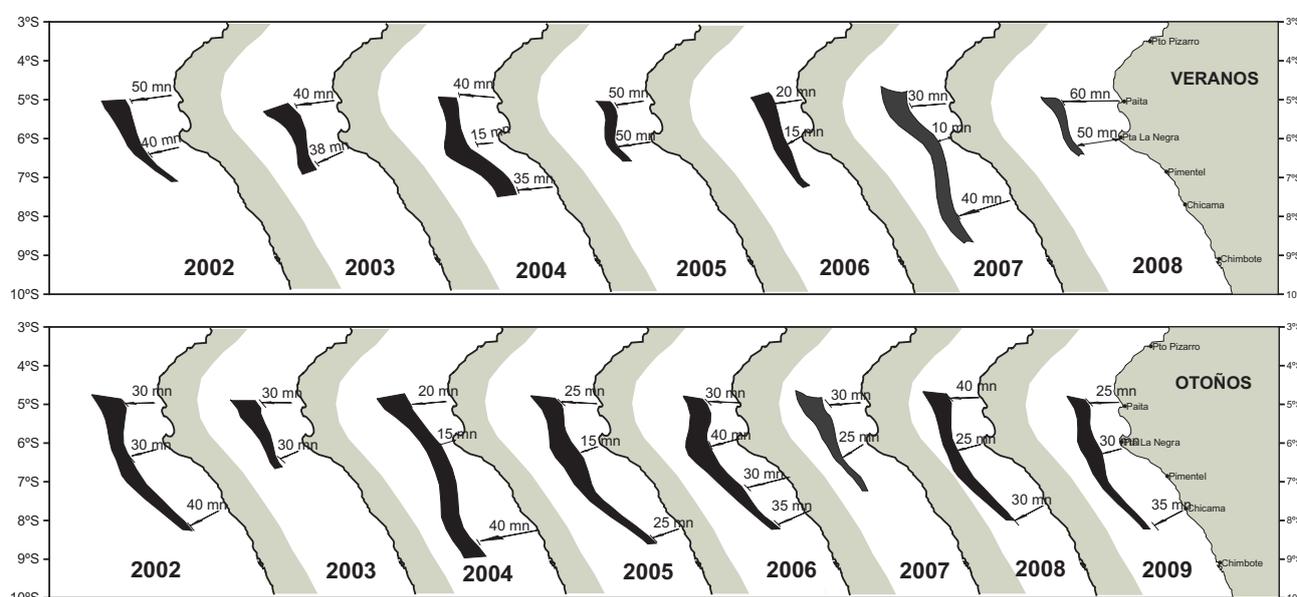


Figura 6.- Esquema representativo de la variabilidad interanual de la proyección de la ESCC frente al litoral peruano en los veranos (arriba) y otoños (abajo) de los años 2002-2009

rina Peruana (WYRTKI 1963) o Corriente Submarina Peruano-Chilena (WOOSTER Y GILMARTIN 1961).

A través de los cálculos geostróficos generados en los cruceros demersales de veranos y otoños se realizan esquemas representativos de la proyección latitudinal de la ESCC, donde se corrobora también que durante los periodos de otoño se presentan las mayores intensidades y proyecciones de los flujos subsuperficiales hacia el sur relacionados con las mayores concentraciones de oxígeno de fondo como característica propia de la ESCC (Fig. 6).

El estudio de la ESCC contribuye a explicar la distribución de los recursos demersales, principalmente la merluza, ya que debido a su alto contenido de oxígeno favorece a la subsistencia del recurso; por lo tanto, cambios en las características del medio marino influirían en la presencia o ausencia de la merluza. Cabe indicar que la mayor intensidad de la ESCC no necesariamente favorece la concentración del recurso merluza pero sí su presencia, ya que debido a su intensificación existiría un mayor desplazamiento y amplitud del oxígeno de fondo, por consiguiente este recurso presentaría una ampliación en su distribución con ligera disminución en sus concentraciones.

## Referencias

- ARNTZ W, FAHRBACH E. 1996. El Niño. Experimento climático de la naturaleza. Causas físicas y efectos biológicos. Fondo de Cultura Económica. México. 312 pp.
- BROCKMANN C, FAHRBACH E, HUYER A, SMITH RL. 1980. The poleward undercurrent along the Perú coast: 5° to 15° S. Deep Sea Research, 27A: 847 to 856.
- DIETRICH G, KALLE K, KRAUSS W, SIEDLER G. 1975. Allgemeine Meereskunde: Eine Einführung in die Ozeanographie. Gebrueder Borntraeger. Berlin, Stuttgart. 593pp.
- FLORES R, TENORIO J, DOMÍNGUEZ N. 2009. Variaciones de la Extensión Sur de la Corriente de Cromwell frente al Perú entre los 3°y 14°S. Bol Inst Mar Perú, 24(1-2): 45-58.
- GUEVARA-CARRASCO R, LEONART J. 2008. Dynamics and fishery of the Peruvian hake: Between nature and man. Journal of Marine Systems 71: 249-259.
- GUEVARA-CARRASCO R, WOSNITZA-MENDO C. 2009. Cambios en la Productividad de la merluza peruana (*Merluccius gayi peruanus* Ginsburg). Boletín Inst Mar Perú, 24(1-2): 15-20.
- HUYER A, KNOLL M, PALUSZKIEWICZ T, SMITH R.1991. The Perú Undercurrent: a study in variability. Deep-Sea 38 (suppl.1): 247-271.
- ICOCHEA L, ROJAS E. 2001. La Corriente Cromwell y sus variaciones en los 0°N, 110°W. In: Forum - La Merluza Peruana (*Merluccius gayi peruanus*) Biología y Pesquería. Instituto del Mar del Perú. Informe Interno. 120 pp.
- KRAUSS J. 1960. Measurements of the Cromwell Current. Deep-Sea Research 6: 265-286.
- SAMAMÉ M. 1981. Las Pesquerías Demersales en el Perú. CPPS, Seminario Regional sobre los Recursos Demersales y su Medio Ambiente en el Pacífico Oriental. Lima, Perú 24-28 de noviembre de 1980. CPPS, Serie Seminarios y Estudios, 3: 213-247.
- WOLFF M, WOSNITZA-MENDO C, MENDO J. 2003. The Humboldt Current Large Marine Ecosystems, 279-309. In: Large Marine Ecosystems of the World - Trends in Exploitation, Protection, and Research. Hempel, G. and Sherman, K. (Eds). Elsevier.
- WOOSTER Y GILMARTIN. 1961. The Peru-Chile Undercurrent. Journal Marine Reser 19(3): 97-122.
- WYRTKI K. 1964. Surface currents of the Eastern Tropical Pacific Ocean. Inter-American Tropical Tuna Commission IX(5): 271-304.
- WYRTKI K. 1963. The horizontal and vertical field of motion in the Peru Current. Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Univ. Calif. 8(4), 313-346.
- ZUTA S. 1988. Variations of the mass field and currents off the Perú coast. Time Series of Ocean Measurements. Vol. 4. IOC Tech. Ser. 33.
- ZUTA S, GUILLÉN O. 1970. Oceanografía de las Aguas Costeras del Perú. Bol Inst Mar Perú 2(5):161-223.

# Composición funcional del grupo Polychaeta en la bahía de Paita y la plataforma adyacente (5°S), Perú. Febrero 2003 a octubre 2008

## Functional composition of Polychaeta group in Paita Bay and the adjacent shelf (5°S), Perú. February 2003 to October 2008

WILLIAMS YUPANQUI<sup>1,2</sup> EDGARDO ENRÍQUEZ<sup>1</sup> LUIS QUIPÚZCOA<sup>1</sup>  
ROBERT MARQUINA<sup>1</sup> FEDERICO VELAZCO<sup>2</sup> CARLOS PAREDES<sup>3</sup> DIMITRI GUTIÉRREZ<sup>1</sup>

### Resumen

YUPANQUI W, ENRÍQUEZ E, QUIPÚZCOA L, MARQUINA R, VELAZCO F, PAREDES C, GUTIÉRREZ D. 2011. *Composición funcional del grupo Polychaeta en la bahía de Paita y la plataforma adyacente (5°S), Perú. Febrero 2003 a octubre 2008. Bol Inst Mar Perú 26(1-2): 65-73.* El objetivo fue determinar la variación batimétrica y temporal de la composición funcional por gremios tróficos del grupo Poliquetos. Se colectaron muestras de macrobentos e información oceanográfica en tres estaciones ubicadas en la bahía (BH, 35 m), plataforma interna (PI, 65 m) y plataforma externa (PE, 117 m), de febrero 2003 a octubre 2008. Los resultados indicaron que la variabilidad estacional está sujeta a cambios de mayor escala, como el incremento de la producción primaria en primavera y verano, posibilitando un aumento de los depositívoros superficiales (SDF) en la BH durante primavera, por efecto de la acumulación de materia orgánica fitoplanctónica que llega al fondo. Asimismo, la disminución de los depositívoros superficiales (SDF) y el aumento de los suspensívoros (SF) en verano, en la BH y PI, se pueden explicar debido al incremento de la descarga de partículas terrígenas de origen vegetal, que afectan físicamente al sustrato. En tanto, los consumidores de interfaz (IF) que dominaron en verano/otoño en la PE, donde la influencia continental es menor, pueden haber sido favorecidos por la mayor calidad de flujo acumulado de fitodetrítus en los sedimentos y a un menor contenido de OD, lo cual disminuyó quizás la presión por predación y competencia.

PALABRAS CLAVE: Polychaeta, macrofauna sublitoral, grupos tróficos, bahía de Paita, Perú.

### Abstract

YUPANQUI W, ENRÍQUEZ E, QUIPÚZCOA L, MARQUINA R, VELAZCO F, PAREDES C, GUTIÉRREZ D. 2011. *Functional composition of Polychaeta group in Paita Bay and the adjacent shelf (5°S), Perú. February 2003 to October 2008. Bol Inst Mar Perú 26(1-2): 65-73.* The aim of this study was to determine the bathymetric and temporal variation of the functional composition of the group Polychaeta trophic guilds. Samples of macrobenthos and oceanographic information were collected in three stations located in the bay (BH, 35 m), inner shelf (PI, 65 m) and outer shelf (PE, 117 m), from February 2003 to October 2008. The results indicate that seasonal variability are subject to larger scale changes such as increased primary production in spring and summer, allowing an increase in the BH of the SDF during spring, due to the accumulation of organic matter reaching phytoplankton in the bottom. Also, the decrease of the surface depositivorous (SDF) and suspension feeders (SF) increased in summer in the bay (BH) and inner platform (IP), can be explained due to increment discharge of terrigenous particles of plant origin that physically affecting the substrate. Meanwhile, the interface consumers (IF) dominated in summer/autumn in the PE where the continental influence is less, may have been favored by the highest quality of accumulated flow of phytodetrítus in sediments and a lower content of dissolved oxygen, which perhaps decreased predation pressure and competition.

KEYWORDS: Polychaeta, sublittoral macrofauna, trophic guilds, Bay of Paita, Perú.

### Introducción

Los ecosistemas costeros se caracterizan por una elevada productividad biológica y una dinámica sedimentaria muy activa, influenciada por procesos físicos de alta energía (olas, vientos, mareas y corrientes) y por aportes continentales que afectan a las comunidades planctónicas y bentónicas.

De la macrofauna béntica, los poliquetos representan el grupo dominante del ecosistema de afloramiento

costero del mar peruano, seguido de moluscos, crustáceos y nemertinos (ROSENBERG et al. 1983). Además, debido a sus estrategias alimentarias, los poliquetos juegan un papel fundamental en la cadena trófica del bentos, lo que permite considerarlos "descriptores eficaces" de la estructura trófica de los ecosistemas bentónicos (FAUCHALD y JUMARS 1979, TENA et al. 1993).

A diferencia de otras bahías del centro-sur y de similar profundidad, la bahía de Paita (5°S), se encuentra

<sup>1</sup>Laboratorio de Bentos Marino. DIO. IMARPE.

<sup>2</sup>Laboratorio de Geología Marina. DIO. IMARPE.

<sup>3</sup>Programa de Maestría en Recursos Acuáticos. UNMSM

Email: williamsfyc@yahoo.com

ubicada en la zona de transición (4° y 6°S) entre la Provincia Peruana y Panameña, con mezcla de aguas frías de la Corriente Costera Peruana y de aguas cálidas ecuatoriales superficiales. Además, está influenciada por eventos de surgencia costera, con niveles de nutrientes y de producción primaria/secundaria que permiten el desarrollo de diversos recursos vivos de interés comercial. También tiende a presentar estacionalmente condiciones subsuperficiales más oxigenadas generadas por la presencia de la Extensión Sur de la Corriente Subsuperficial de Cromwell. Asimismo, recibe aporte fluvial proveniente del río Chira, acreando gran cantidad de material particulado de origen vegetal. En el fondo los sedimentos superficiales son de tipo fangoso, de textura arcillosa y limosa.

El objetivo de este trabajo fue determinar la variación batimétrica y temporal de la composición funcional por gremios tróficos del grupo Poliquetos. Para ello se plantearon las siguientes hipótesis: (i) la existencia de una representación diferente de los grupos tróficos en la bahía de Paita y en la plataforma adyacente; (ii) la variabilidad de los parámetros comunitarios resultan de la combinación de varios factores abióticos asociados a la profundidad (oxígeno, temperatura) y a la topografía del fondo (granulometría, clorofila-a sedimentaria).

## Material y métodos

Se seleccionaron tres puntos frente a Paita (5°S), Piura, Perú, entre febrero de 2003 a octubre de 2008. El primero en la bahía (BH, 35 m) a 8,5 mn de la costa, el segundo en la plataforma interna (PI, 65 m) a 14 mn y el tercero en la plataforma externa (PE, 117 m) a 19 mn de la costa (Fig. 1).

Se colectaron muestras de agua de fondo con una botella Niskin de 5 L de capacidad, para la determinación de oxígeno disuelto (OD) mediante el método de Winkler modificado por CARRIT y CARPENTER (1966) y para salinidad (ups) usando un salinómetro Portasal Guildine®. La temperatura (T°) se registró en el lugar mediante un termómetro de inversión.

Las muestras de sedimento fueron tomadas por triplicado con una draga tipo van Veen de 0,05 m<sup>2</sup> de cobertura. Se separó una submuestra para determinar clorofila-a (Cl-a) (GUTIÉRREZ 2000). Así como para los análisis de composición granulométrica (INGRAM 1971, GALEHOUSE 1971), pero solo para abril 2008. El resto fue tamizado, para determinar la composición de la macrofauna (GUTIÉRREZ et al. 2005).

Para la determinación de los taxa de poliquetos, así como para la asignación de gremios o grupos tróficos se utilizó literatura especializada. Los gremios

considerados fueron: consumidores de interfaz (IF), depositívoros superficiales (SDF), depositívoros subsuperficiales (SSDF), suspensívoros (SF) y omnívoros/depredadores (OP).

Se calculó la densidad (número de individuos.0,05 m<sup>-2</sup>) y la biomasa (peso húmedo en g.0,05 m<sup>-2</sup>), que luego fueron convertidos al metro cuadrado. Para los aspectos cuantitativos, se consideró el número de especies, densidad y biomasa media por punto de muestreo y la desviación estándar.

Para establecer el grado de similitud entre puntos, se ejecutó un análisis multivariado de clasificación numérica (SNEATH y SOKAL 1973) con el índice de Bray-Curtis, para realizar un análisis de ordenación no métrico multidimensional (NMDS) (PRENTICE 1977), que construye un "mapa" de la ubicación de los puntos muestreados, a un valor de estrés. El estrés <0,05 es excelente; el <0,1 es bueno, <0,2 es útil y >0,3 mala representación.

Dada la naturaleza de los datos biológicos del macrobentos, se utilizó estadística no paramétrica para examinar la existencia de diferencias significativas en espacio y/o tiempo. Se empleó el análisis de varianza no paramétrica de una vía de Kruskal-Wallis (SIEGEL 1994). Las correlaciones entre los parámetros bióticos y los factores abióticos fueron calculadas con el coeficiente "r" de Spearman (SIEGEL 1994).

## Resultados

### VARIACIÓN ESPACIAL (TABLAS 1 Y 2)

**Parámetros físico-químicos del agua de mar.-** La temperatura (T°) promedio de fondo, de mayor a menor se registró en la BH (17,07 ± 1,55 °C); en la PI (16,22 ± 1,04 °C), en la PE (15,28 ± 0,75 °C) (Tabla 1). Se observó una correlación negativa significativa ( $r_s = -0,529$ ,  $p < 0,01$ ,  $N = 94$ ) (Tabla 2).

Los promedios de la salinidad (ups) se tomaron en diferentes puntos: en la PE (35,01 ± 0,08 ups), en la PI (35,01 ± 0,09 ups), en la BH (34,95 ± 0,24 ups) (Tabla 1).

La concentración de oxígeno disuelto (OD): en la BH (2,19 ± 1,0 mL.L<sup>-1</sup>), en la PI (1,54 ± 0,68 mL.L<sup>-1</sup>); en la PE (1,21 ± 0,53 mL.L<sup>-1</sup>) (Tabla 1). El OD mostró significativa correlación negativa con la profundidad ( $r_s = -0,463$ ,  $p < 0,01$ ,  $N=94$ ) y positiva con la T° ( $r_s = 0,738$ ,  $p < 0,01$ ,  $N=94$ ) (Tabla 2).

**Parámetros sedimentológicos.-** En muestra fresca, los *sedimentos superficiales* en la BH, tienen características de tipo fangoso, compacto, sin olor y coloración

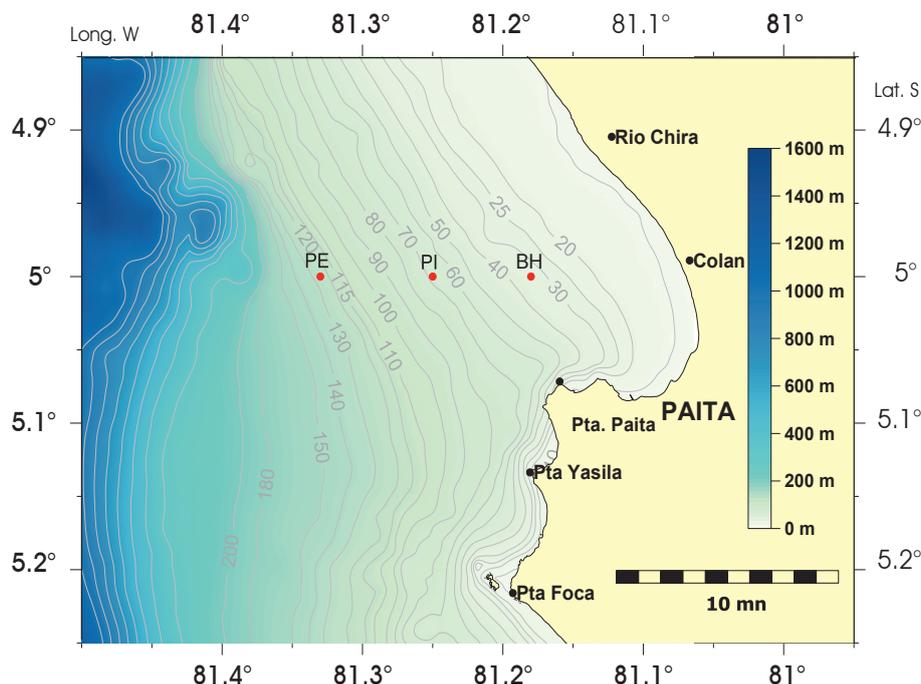


Figura 1.- Mapa de los puntos de muestreo en la bahía de Paita y plataforma adyacente. BH = bahía; PI = plataforma interna; PE = plataforma externa.

Tabla 1.- Variación espacial y temporal de parámetros físico, químico y biológico. T°=temperatura, ups=salinidad, OD=oxígeno disuelto, Cl-a=clorofila-a, nPoly=densidad poliqueto, bPoly=biomasa poliqueto, sPoly=número especies poliqueto, BH=bahía; PI= plataforma interna; PE= plataforma externa, I=invierno, P=primavera; V=verano, O=otoño

		m	ds	I	ds	P	ds	V	ds	O	ds
BH	T°	17,07	1,55	16,73	1,35	16,13	1,05	17,54	1,74	17,76	1,30
	ups	34,95	0,24	34,99	0,25	34,92	0,13	34,95	0,29	34,92	0,142
	OD	2,19	1,00	2,26	0,88	1,83	0,49	2,05	1,12	2,63	1,07
	Cl-a	2,07	1,31	2,418	1,588	2,366	0,671	1,182	0,629	2,354	1,008
	nPoly	1344,60	1086,18	1198,33	766,70	1290,00	529,87	1665,52	1855,71	1186,67	615,87
	bPoly	14,13	8,32	11,18	6,46	20,99	14,36	16,19	12,07	12,08	8,30
	sPoly	13,04	3,71	12,69	4,64	13,17	2,98	12,97	4,55	13,89	5,09
PI	T°	16,22	1,04	16,00	0,84	15,78	1,33	16,59	1,17	16,37	0,69
	ups	35,01	0,09	35,06	0,07	34,93	0,093	35,01	0,08	34,96	0,10
	OD	1,54	0,68	1,69	0,42	1,11	0,69	1,51	0,76	1,57	0,84
	Cl-a	2,79	1,22	2,834	0,891	3,582	1,745	1,894	0,771	2,400	0,480
	nPoly	604,85	336,87	634,86	368,38	593,33	275,06	535,17	365,54	683,53	469,05
	bPoly	9,55	6,08	10,09	7,93	11,88	12,49	7,09	7,69	10,55	12,81
	sPoly	9,18	2,35	9,63	3,52	9,33	2,57	8,34	2,57	9,76	3,07
PE	T°	15,28	0,75	15,40	0,78	14,80	0,83	15,46	0,73	15,18	0,44
	ups	35,01	0,08	35,04	0,07	34,96	0,086	35,01	0,08	34,98	0,07
	OD	1,21	0,53	1,40	0,43	0,78	0,37	1,12	0,61	1,21	0,45
	Cl-a	4,04	1,78	4,891	1,700	3,994		3,195	1,471	3,102	1,497
	nPoly	1295,89	652,35	1128,33	519,39	1251,11	546,82	1516,80	1027,99	1316,00	643,13
	bPoly	7,10	7,68	9,53	13,63	3,74	2,57	5,72	4,33	5,46	3,74
	sPoly	11,23	2,43	10,89	3,35	9,44	2,24	11,48	3,57	11,67	2,85

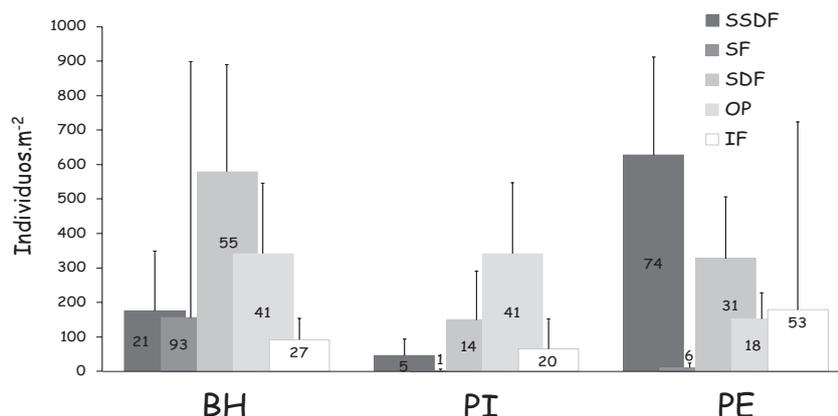


Figura 2.- Variación espacial de la densidad de los grupos tróficos.- Depositívoros Subsuperficiales (SSDF); Suspensívoros (SF); Depositívoros Superficiales (SDF); Omnívoros/ Depredadores (OP) y Consumidores de interfaz (IF); BH = bahía; PI = plataforma interna; PE = plataforma externa.

Tabla 2.- Coeficiente de Correlación de Spearman rho de los parámetros físicos y biológicos.

	P	T	UPS	OD	Cla	Npoly	Bpoly	Spoly	SSDF	SF	SDF	OP	IF
P r	1												
p	,												
N	94												
T r	-0,529**	1											
p	0,000	,											
N	94	94											
UPS r	0,021	0,144	1										
p	0,848	0,179	,										
N	89	89	89										
OD r	-0,463**	0,738**	0,072	1									
p	0,000	0,000	0,505	,									
N	94	94	89	94									
Cla r	0,393**	-0,160	0,080	-0,820	1								
p	0,000	0,891	0,505	0,482	,								
N	75	75	72	75	75								
Npoly r	0,027	-0,099	-0,089	0,056	0,002	1							
p	0,798	0,342	0,408	0,589	0,983	,							
N	94	94	89	94	75	94							
Bpoly r	-0,483**	0,269**	-0,085	0,246**	-0,138	0,066	1						
p	0,00	0,009	0,430	0,017	0,238	0,526	,						
N	94	94	89	94	75	94	94						
Spoly r	-0,172	0,085	-0,025	0,156	0,039	0,787**	0,324**	1					
p	0,098	0,415	0,815	0,134	0,743	0,000	0,001	,					
N	94	94	89	94	75	94	94	94					
SSDF r	0,446**	-0,228**	0,043	-0,033	0,152	0,709**	-0,132	0,469**	1				
p	0,000	0,027	0,692	0,749	0,192	0,000	0,205	0,000	,				
N	94	94	89	94	75	94	94	94	94				
SF r	-0,222**	0,081	-0,111	0,138	-0,033	0,578**	0,151	0,562**	0,367**	1			
p	0,032	0,436	0,299	0,184	0,781	0,000	0,146	0,000	0,000	,			
N	94	94	89	94	75	94	94	94	94	94			
SDF r	-0,293**	0,001	-0,153	0,119	-0,081	0,791**	0,221*	0,690**	0,496**	0,603**	1		
p	0,004	0,994	0,153	0,255	0,492	0,000	0,033	0,000	0,000	0,000	,		
N	94	94	89	94	75	94	94	94	94	94	94		
OP r	-0,461**	0,306**	0,045	0,232*	-0,228*	0,303**	0,340**	0,472**	-0,261*	0,221*	0,136	1	
p	0,000	0,003	0,676	0,024	0,492	0,003	0,001	0,000	0,011	0,032	0,192	,	
N	94	94	89	94	75	94	94	94	94	94	94	94	
IF r	-0,374**	0,280**	-0,033	0,206*	-0,148	0,372**	0,262*	0,460**	-0,072	0,320**	0,267**	0,505**	1
p	0,000	0,006	0,761	0,047	0,205	0,000	0,011	0,000	0,492	0,002	0,009	0,000	,
N	94	94	89	94	75	94	94	94	94	94	94	94	94

\*\*Correlación es significativa a nivel del 0.01 (2-colas);

\*Correlación es significativa a nivel del 0,05 (2-colas)

verdusco grisácea. En la PI y PE fueron de tipo fangoso, menos compacto, sin olor y coloración verdusca debido al mayor contenido de diatomeas. La fracción orgánica en los sedimentos estuvo conformada por tubos de poliquetos y bivalvos.

Los componentes de la fracción gruesa, al estereoscopio, estuvieron constituidos principalmente por minerales oscuros y claros cubiertos de óxido en algunos casos y micas, además de cuarzo, fragmentos líticos, feldespatos, fragmentos calcáreos, etc. La fracción orgánica estuvo formada en mayor porcentaje por tubos de poliquetos y restos vegetales (mayor en BH) y de diatomeas (mayor en PI) además conchuelas, escamas, espinas en menor porcentaje.

En granulometría, el porcentaje de arena fue menor (alrededor 2%), y mayores los de limo ( $\pm 52\%$ ) y arcilla ( $\pm 47\%$ ).

El valor promedio de Cl-a, se determinó en sedimento o fitodetritus: de BH ( $2,07 \pm 1,31 \text{ ugChla.g}^{-1}$ ), de PI ( $2,79 \pm 1,22 \text{ ugChla.g}^{-1}$ ); PE ( $4,04 \pm 1,78 \text{ ugChla.g}^{-1}$ ) (octubre 2005) (Tabla 1). La Cl-a mostró significativa correlación positiva con la profundidad ( $r_s = 0,393$ ,  $p < 0,01$ ,  $N=75$ ) (Tabla 2).

**Parámetros biológicos.-** Se registró la densidad de poliquetos: en la BH ( $1345 \pm 1086 \text{ ind.m}^{-2}$ ); en la PI ( $605 \pm 337 \text{ ind.m}^{-2}$ ) y en la PE ( $1296 \pm 652 \text{ ind.m}^{-2}$ ) (Fig. 3). También la biomasa: en la BH ( $14,13 \pm 8,32 \text{ g.m}^{-2}$ ), en la PI ( $9,35 \pm 6,08 \text{ g.m}^{-2}$ ) y en la PE ( $7,10 \pm 7,68 \text{ g.m}^{-2}$ ), mostró significativa correlación negativa con la profundidad ( $r_s = -0,483$ ,  $p < 0,01$ ,  $N=94$ ) y positiva con la  $T^\circ$  ( $r_s = 0,269$ ,  $p < 0,01$ ,  $N=94$ ) y el OD ( $r_s = 0,246$ ,  $p < 0,01$ ,  $N=94$ ) (Tabla 2).

Se halló el número de especies promedio: en BH ( $13 \pm 4 \text{ spp. } 0,05 \text{ m}^{-2}$ ), en la PI ( $9 \pm 2 \text{ spp. } 0,05 \text{ m}^{-2}$ ) y en la PE ( $11 \pm 2 \text{ spp. } 0,05 \text{ m}^{-2}$ ) (Tabla 1).

**Gremios tróficos.-** Los poliquetos depositívoros superficiales (SDF) con  $579 \pm 311 \text{ ind.m}^{-2}$  (55%) y los suspensívoros (SF) con  $155 \pm 745 \text{ ind.m}^{-2}$  (93%) fueron los dominantes en la bahía (BH) (Fig. 2), mostrando ambos una significativa correlación negativa con la profundidad ( $r_s = -0,293$ ,  $p < 0,01$ ,  $N=94$ ) (Tabla 2).

Los poliquetos omnívoros/depredadores (OP), fueron dominantes en la bahía (BH) con  $342 \pm 204 \text{ ind.m}^{-2}$  (41%), y en la plataforma interna (PI) con  $341 \pm 206 \text{ ind.m}^{-2}$  (41%), tuvieron significativa correlación negativa con la profundidad ( $r_s = -0,461$ ,  $p < 0,01$ ,  $N=94$ ) y Cl-a ( $r_s = -0,228$ ,  $p < 0,01$ ,  $N=75$ ), pero positiva con la  $T^\circ$  ( $r_s = 0,306$ ,  $p < 0,01$ ,  $N=94$ ) y OD ( $r_s = 0,232$ ,  $p < 0,01$ ,  $N=94$ ) (Tabla 2).

Los poliquetos depositívoros subsuperficiales (SSDF) con  $627 \pm 285 \text{ ind.m}^{-2}$  (74%) dominaron en la plataforma externa (PE), mostraron una significativa correlación positiva con la profundidad ( $r_s = 0,446$ ,  $p < 0,01$ ,  $N=94$ ) y negativa con la  $T^\circ$  ( $r_s = -0,228$ ,  $p < 0,01$ ,  $N=94$ ).

Los poliquetos consumidores de interfase (IF) con  $179 \pm 545 \text{ ind.m}^{-2}$  (53%) también fueron dominantes en la PE (Fig. 2), con una significativa correlación negativa con la profundidad ( $r_s = -0,374$ ,  $p < 0,01$ ,  $N=94$ ) y positiva con la  $T^\circ$  ( $r_s = 0,280$ ,  $p < 0,01$ ,  $N=94$ ) y el OD ( $r_s = 0,206$ ,  $p < 0,01$ ,  $N=94$ ).

**Variación temporal.-** Se estableció el máximo promedio de temperatura en la BH ( $17,76 \pm 1,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ) en otoño; en la PI ( $16,59 \pm 1,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y en la PE ( $15,46 \pm 0,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ) en verano (Tabla 1).

El valor promedio de salinidad (ups) en la BH ( $34,99 \pm 0,2$  ups en invierno); en la PI ( $35,06 \pm 0,1$  ups en invierno) y en la PE (hasta  $35,05 \pm 0,1$  ups en verano).

El oxígeno disuelto (OD) en la BH (hasta  $2,63 \pm 1,1 \text{ mL.L}^{-1}$  en otoño); en la PI ( $1,69 \pm 0,4 \text{ mL.L}^{-1}$ ) y en la PE ( $1,40 \pm 0,4 \text{ mL.L}^{-1}$  para invierno) (Tabla 1).

**Parámetros sedimentológicos.-** En cuanto a la concentración de Cl-a, en la BH alcanzó hasta  $2,42 \pm 1,59 \text{ ugChla.g}^{-1}$  en invierno y en la PI  $3,58 \pm 1,75 \text{ ugChla.g}^{-1}$  en primavera. En la PE presentó mayores valores de hasta  $4,89 \pm 1,70 \text{ ugChla.g}^{-1}$  para invierno (Tabla 1).

**Grupos tróficos.-** En la BH, los poliquetos SDF fueron los dominantes, con una densidad de hasta  $750 \pm 400 \text{ ind.m}^{-2}$  (58%) en primavera (Fig. 3a). Seguido de los OP, con valores de  $377 \pm 218 \text{ ind.m}^{-2}$  (32%) en otoño y  $377 \pm 262 \text{ ind.m}^{-2}$  (23%) en verano. Mientras que, los SF con  $450 \pm 1323 \text{ ind.m}^{-2}$  (27%) dominaron en verano y los SSDF con  $212 \pm 297 \text{ ind.m}^{-2}$  (13%) en verano y con  $188 \pm 250 \text{ ind.m}^{-2}$  (16%) en invierno. Los IF con  $116 \pm 114 \text{ ind.m}^{-2}$  (10%) destacaron en otoño.

En la PI, los poliquetos OP, dominaron con valores máximos de  $413 \pm 238 \text{ ind.m}^{-2}$  (65%) en primavera (Fig. 3b). Mientras que, los SDF, obtuvieron valores  $253 \pm 254 \text{ ind.m}^{-2}$  (37%) en otoño. En tanto, los IF, obtuvieron valores de  $85 \pm 123 \text{ ind.m}^{-2}$  (16%) en verano y los SSDF de  $68 \pm 75 \text{ ind.m}^{-2}$  (11%) en invierno.

En la PE, dominaron los SSDF, con  $762 \pm 383 \text{ ind.m}^{-2}$  (61%) en primavera (Fig. 3c); siguieron los SDF, con  $387 \pm 228 \text{ ind.m}^{-2}$  (31%) en primavera. Los IF alcanzaron valores de hasta  $335 \pm 864 \text{ ind.m}^{-2}$  (22%) en verano y los OP con  $163 \pm 117 \text{ ind.m}^{-2}$  (14%) en invierno.

Tabla 3.- Densidad promedio (Individuos.m<sup>-2</sup>) y desviación estándar estacional de las especies dominantes. (%F = porcentaje de frecuencia; BH = bahía; PI = plataforma interna; PE = plataforma externa, V = verano, O = otoño, I = Invierno, P = primavera).

Grupo Trófico	Familia	Especies	BH				PI				PE							
			%F	V	O	I	P	%F	V	O	I	P	%F	V	O	I	P	
1	SSDF	Cossuridae	<i>Cossura chilensis</i>	36,36	5 ± 5	10 ± 24	6 ± 9	0	50,00	6 ± 8	2 ± 5	7 ± 6	2 ± 3	80,95	374 ± 249	237 ± 273	160 ± 160	369 ± 202
2	SSDF	Cossuridae	<i>Cossura</i> sp.	77,27	10 ± 9	8 ± 5	10 ± 7	12 ± 11	50,00	6 ± 8	2 ± 5	10 ± 5	2 ± 3	85,71	283 ± 393	243 ± 201	357 ± 221	356 ± 296
3	SSDF	Capitellidae	<i>Mediomastus branchiferus</i>	31,82	3 ± 6	24 ± 57	51 ± 116	22 ± 43	45,45	3 ± 6	16 ± 27	17 ± 26	7 ± 8	28,57	14 ± 27	11 ± 20	11 ± 24	0
4	SSDF	Capitellidae	<i>Capitellus</i> sp.	90,91	151 ± 83	44 ± 39	83 ± 51	140 ± 93	63,64	8 ± 5	2 ± 3	8 ± 5	8 ± 10	95,24	35 ± 15	22 ± 16	36 ± 14	33 ± 7
5	SSDF	Sternaspidae	<i>Sternaspis</i> sp.	22,73	1 ± 1	0	32 ± 50	8 ± 13	18,18	0	1 ± 3	14 ± 35	5 ± 6	52,38	4 ± 4	3 ± 4	3 ± 5	2 ± 4
6	SF	Sabellidae	<i>Chone</i> sp.	72,73	361 ± 851	44 ± 50	18 ± 21	25 ± 22	18,18	2 ± 3	1 ± 3	1 ± 1	0	61,90	7 ± 6	22 ± 23	8 ± 7	2 ± 4
7	SDF	Magelonidae	<i>Magelona allenii</i>	90,91	155 ± 67	119 ± 153	126 ± 41	270 ± 167	18,18	2 ± 3	50 ± 122	19 ± 48	0	4,76	1 ± 1	0	0	0
8	SDF	Magelonidae	<i>Magelona phyllisae</i>	90,91	152 ± 209	106 ± 60	146 ± 88	165 ± 85	31,82	2 ± 3	8 ± 16	2 ± 4	5 ± 6	71,43	9 ± 8	17 ± 18	24 ± 23	2 ± 4
9	SDF	Ampharetidae	<i>Amphicteis</i> sp.	68,18	50 ± 68	39 ± 53	56 ± 96	17 ± 33	18,18	7 ± 13	0	0	2 ± 3	28,57	3 ± 5	4 ± 8	2 ± 3	0
10	SDF	Ampharetidae	<i>Amphisamytha</i> sp.	63,64	58 ± 112	92 ± 169	74 ± 160	153 ± 220	31,82	5 ± 12	3 ± 6	9 ± 17	22 ± 31	4,76	0	0	1 ± 1	0
11	SDF	Paraonidae	<i>Aricidea</i> sp.	63,64	13 ± 17	26 ± 38	11 ± 13	2 ± 3	59,09	2 ± 3	17 ± 17	17 ± 29	3 ± 7	100,00	152 ± 101	148 ± 215	142 ± 108	153 ± 68
12	SDF	Heterospidae	<i>Heterospio</i> sp.	4,55	1 ± 1	0	0	0	4,55	1 ± 3	0	0	0	61,90	86 ± 88	92 ± 102	83 ± 104	129 ± 116
13	SDF	Terebellidae	<i>Polycirrus</i> sp.	90,91	91 ± 61	119 ± 114	117 ± 115	112 ± 84	68,18	34 ± 34	54 ± 73	51 ± 43	17 ± 29	38,10	12 ± 12	1 ± 3	3 ± 6	16 ± 27
14	SDF	Paraonidae	<i>Tauberia</i> sp.	36,36	27 ± 56	21 ± 38	17 ± 33	0	72,73	57 ± 100	101 ± 152	41 ± 71	60 ± 45	38,10	28 ± 53	18 ± 30	17 ± 26	9 ± 15
15	OP	Lumbrineridae	<i>Ninoe</i> sp.	50,00	5 ± 5	2 ± 5	6 ± 3	5 ± 10	50,00	31 ± 46	6 ± 9	12 ± 15	2 ± 3	38,10	5 ± 8	2 ± 3	2 ± 3	2 ± 4
16	OP	Lumbrineridae	<i>Lumbrineris</i> sp.	100,00	273 ± 191	279 ± 117	224 ± 201	123 ± 70	100,00	113 ± 80	164 ± 167	155 ± 72	142 ± 51	85,71	34 ± 31	18 ± 16	35 ± 27	51 ± 38
17	OP	Onuphidae	<i>Diopatra rhizoicola</i>	50,00	18 ± 28	2 ± 4	4 ± 6	3 ± 4	63,64	86 ± 153	51 ± 69	77 ± 108	138 ± 136	14,29	0	2 ± 4	2 ± 4	0
18	OP	Nephtyidae	<i>Nephtys ferruginea</i>	45,45	13 ± 19	3 ± 6	3 ± 4	25 ± 26	45,45	8 ± 12	2 ± 5	14 ± 18	12 ± 11	33,33	9 ± 22	23 ± 53	5 ± 6	0
19	OP	Pilargidae	<i>Paramandala fauveli</i>	86,36	18 ± 15	17 ± 17	20 ± 18	13 ± 5	18,18	1 ± 2	1 ± 3	0	2 ± 3	52,38	8 ± 12	22 ± 22	5 ± 4	0
20	OP	Pilargidae	<i>Sigambra tentaculata</i>	68,18	7 ± 5	4 ± 5	11 ± 7	7 ± 8	63,64	3 ± 4	12 ± 7	7 ± 6	12 ± 19	90,48	28 ± 33	18 ± 16	19 ± 9	11 ± 14
21	OP	Amphinomidae	<i>Pseudeurythoe</i> sp.	54,55	6 ± 5	7 ± 11	4 ± 6	8 ± 8	86,36	37 ± 39	18 ± 17	54 ± 18	53 ± 27	76,19	28 ± 31	38 ± 52	63 ± 44	7 ± 7
22	IF	Spionidae	<i>Paraprionospio pinnata</i>	95,45	21 ± 19	27 ± 19	41 ± 66	35 ± 17	81,82	87 ± 158	16 ± 14	16 ± 12	20 ± 16	47,62	429 ± 1037	227 ± 555	9 ± 9	0
23	IF	Spionidae	<i>Prionospio peruana</i>	63,64	21 ± 23	16 ± 26	7 ± 7	25 ± 33	68,18	8 ± 13	21 ± 22	42 ± 66	12 ± 19	71,43	12 ± 13	23 ± 23	11 ± 9	7 ± 12
24	IF	Spionidae	<i>Scotelepis</i> sp.	9,09	0	2 ± 3	0	0	13,64	1 ± 1	1 ± 3	1 ± 2	0	28,57	8 ± 12	18 ± 45	21 ± 50	0
25	IF	Owenidae	<i>Owenia</i> sp.	90,91	35 ± 33	48 ± 79	16 ± 14	17 ± 16	4,55	0	2 ± 5	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 4.- Análisis de varianza de Kruskal-Wallis y grupos (p<0,05) según la prueba de Chi-Cuadrado, entre las zonas.

	T°	ups	OD	Cl-a	nPoly	bPoly	sPoly	SSDF	SF	SDF	OP	IF
X <sup>2</sup>	26,512	,112	20,080	17,486	29,179	21,736	20,683	63,815	22,303	43,083	26,016	13,811
gL	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
p	,000	,945	,000	,000	,000	,200	,000	,000	,000	,000	,000	,001

**Clasificación numérica.-** Según el patrón batimétrico y la estacionalidad, el análisis NMDS, permitió diferenciar tres grupos, en base a sus distancias en el "mapa" con estrés de 0,15 (Fig. 4a).

El primer grupo perteneció a la BH, dominado en densidad por los SDF seguido de los OP y los SF (Fig. 4b). En los primeros destacó la familia Magelonidae en primavera, *Magelona allenii* (270 ± 167 ind.m<sup>-2</sup>) y *M. phyllisae* (165 ± 85 ind.m<sup>-2</sup>), con 91% en frecuencia. Además de *Amphisamytha* sp. (Ampharetidae) en primavera (153 ± 220 ind.m<sup>-2</sup>) con 64% en frecuencia y *Polycirrus* sp. (Terebellidae) en otoño (119 ± 114 ind.m<sup>-2</sup>) con 91% en frecuencia (Tabla 3). De los OP, dominó *Lumbrineris* sp. (Lumbrineridae), en verano-otoño (272 ± 191 ind.m<sup>-2</sup>, 279 ± 177 ind.m<sup>-2</sup>) con 100% en frecuencia. En tanto, de los SF, dominó *Chone* sp. (Sabellidae) en verano (361 ± 851 ind.m<sup>-2</sup>) con 73% en frecuencia.

El segundo grupo concentró a los puntos de la PI, dominado en densidad por los OP seguido de los SDF e IF (Fig. 4b). De los OP dominó *Lumbrineris* sp. en todas las estaciones con 100% en frecuencia y *Diopatra rhizoicola* (Onuphidae) en primavera (138 ± 136 ind.m<sup>-2</sup>), con 64% en frecuencia. De los SDF, dominó

*Tauberia* sp. (Paraonidae) en otoño (101 ± 152 ind.m<sup>-2</sup>) con 77% en frecuencia. De los IF, *Paraprionospio pinnata* (Spionidae) dominó en verano (87 ± 158 ind.m<sup>-2</sup>) con 82% en frecuencia (Tabla 3).

El tercer grupo concentró a la PE, dominado en densidad por los SSDF seguido de los IF y SDF (Fig. 4b). De los SSDF dominó la familia Cossuridae, *Cossura* sp. en invierno (357 ± 221 ind.m<sup>-2</sup>) y primavera (356 ± 296 ind.m<sup>-2</sup>) con 86% en frecuencia y *C. chilensis* en verano (374 ± 249 ind.m<sup>-2</sup>) y primavera (369 ± 202 ind.m<sup>-2</sup>), con 81 % en frecuencia. De los IF, *P. pinnata* dominó en verano (429 ± 1037 ind.m<sup>-2</sup>), con 52% en frecuencia. Dentro de los SDF resaltó, *Aricidea* sp. (Paraonidae), en primavera (153 ± 68 ind.m<sup>-2</sup>), con 100 % en frecuencia, así como, *Heterospio* sp. (Heterospidae) dominó en primavera (129 ± 117 ind.m<sup>-2</sup>), con 62 % en frecuencia total (Tabla 3).

### Discusión

Los poliquetos presentan un patrón de distribución en relación al tipo sedimentario, al contenido de materia orgánica y a la profundidad (Elías et al. 2001), acorde a lo observado en este trabajo. La densidad, biomasa, número y grupos tróficos de poliquetos mostraron

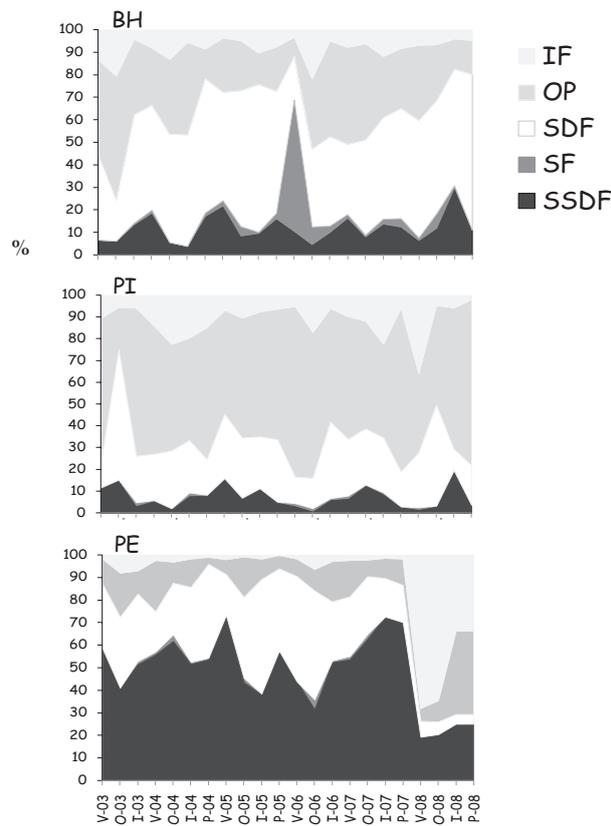


Figura 3.- Variación temporal porcentual de la densidad de los grupos tróficos. Depositívoros Subsuperficiales (SSDF), Suspensívoros (SF), Depositívoros Superficiales (SDF), Omnívoros/Depredadores (OP) y Consumidores de Interfaz (IF). BH = bahía; PI = plataforma interna; PE = plataforma externa.

diferencias significativas (Test de Kruskal Wallis,  $p < 0,05$ ) entre la BH, PI y PE (Tabla 4), así como el OD y el fitodetritus. Además, se muestra diferencia con el porcentaje de materia orgánica total que fluctúa entre 5% y 7% para BH y PI respectivamente (F. VELAZCO, datos no publicados).

Los SDF de la familia Magelonidae, que se alimentan de detritus en superficie, resultaron ser los más dominantes en la BH, lo que coincide con GUZMÁN-ALVIS et al. (2006) quienes, en una bahía tropical de Colombia, mostraron que a profundidades someras, dominan los alimentadores de depósito de superficie y subsuperficie, donde la energía mecánica que ejercen las corrientes es baja y hay mayor sedimentación, característica de los sustratos blandos finos (TENA et al. 1993), como lo hallado frente a Paita, donde los contenidos de limo y arcilla son altos (DELGADO y GOMERO 1995).

Los OP de la familia Lumbrineridae, fueron dominantes en la BH y PI; ellos se relacionan con mayores contenidos de arena y bajo contenido de materia orgánica en el sedimento (GASTON 1987, GUZMÁN-ALVIS et al.

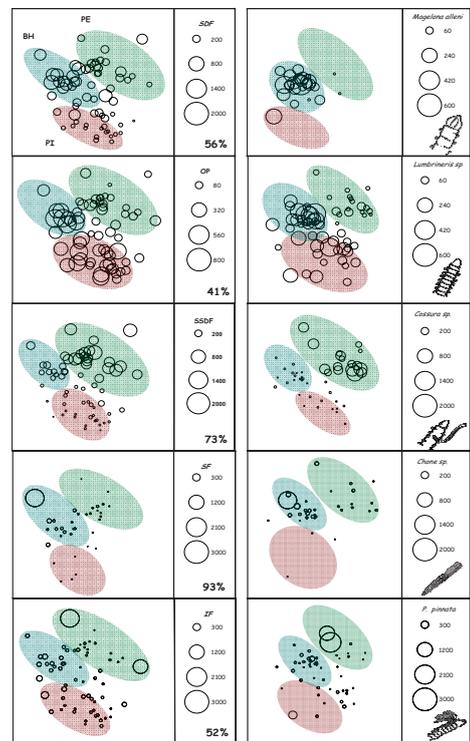
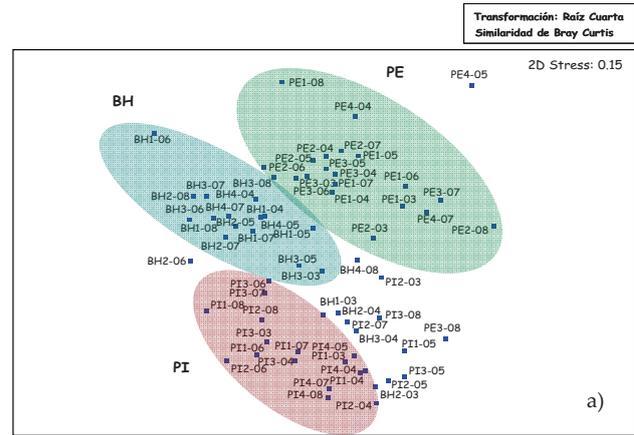


Figura 4.- Distribución espacial de: a) los grupos tróficos; b) las especies dominantes. BH = bahía; PI = plataforma interna; PE = plataforma externa. Leyenda: EEX-YY, EE=localidad; X= periodo (1: verano, 2: otoño, 3: invierno, 4: primavera); YY= año

2006). Lo mismo se encontró a profundidades someras en la bahía de Sechura, donde hay mayor energía mecánica y porcentaje de arena ( $\pm 70\%$ ) y dominio de los OP (YUPANQUI et al. 2007). Este grupo es el más relacionado a valores máximos de OD, ya obtenidos para la BH y PI ( $\pm 2 \text{ mL.L}^{-1}$ ).

Los SSDF, de la familia Cossuridae, que prefieren ambientes limo-arenosos profundos (TENA et al., 1993), dominaron en la PE, y también los IF, de la familia Spionidae, en áreas donde se registró mayores valores

de limo y menores de arena, donde pudo observarse abundantes restos de diatomeas. Se reflejó una mayor calidad de fitodetritus acumulado ( $\pm 4 \text{ ug.Chla.g}^{-1}$ ) favorecido por el menor contenido de OD ( $\pm 1 \text{ mL.L}^{-1}$ ). Esto condicionaría a los SSDF a preferir sedimentos con mayor calidad de fitodetritus contrario a lo reportado por DAUWE et al. (1998) y GUTIÉRREZ (2000) para zonas con hipoxia, en donde los consumidores de interfase (IF) dominan en sedimentos de mayor calidad en la materia orgánica.

En cuanto a la variación estacional, el aumento de la densidad de los SDF en primavera en la BH y en otoño en la PI, estaría relacionado con la producción primaria en primavera y verano (GRACO et al. 2007) por efecto de la materia orgánica fitoplanctónica que llega al fondo ( $> 2,5 \text{ ug.Chla.g}^{-1}$ ).

El aumento de los SF, de la familia Sabellidae, se relacionaría con el aporte fluvial de partículas terrígenas de origen vegetal proveniente del río Chira en verano (GUTIÉRREZ et al. 2005). Esto se corroboraría con la mayor acumulación de materia orgánica total en verano (alrededor 7%) que disminuye para invierno (alrededor 5%) tanto para BH y PI (VELAZCO F., datos no publicados). Asimismo, SÁNCHEZ et al. (1993) determinaron en el noroeste de la Península Ibérica, que los SDF y SF fueron dominantes en sedimentos finos con alto contenido de pellets, debido a su poder de adsorción de la materia orgánica.

Los IF, de la familia Spionidae, capaces de cambiar de un comportamiento suspensivo (SF) a uno depositivo superficial (SDF) (WHEATCROFT et al. 1994, GUTIÉRREZ 2000), aumentaron durante verano - otoño en la PE, donde aprovecharían el mayor flujo de fitodetritus en los sedimentos, pues la influencia continental es menor, así como el contenido de OD ( $\pm 1 \text{ mL.L}^{-1}$ ). Esta zona tiende a presentar condiciones subsuperficiales más oxigenadas durante otoño/invierno y llegar a la hipoxia en verano, debido a la presencia de la Extensión Sur de la Corriente Subsuperficial de Cromwell (ESCC) (GUTIÉRREZ et al. 2005), que puede limitar la presión por predación y competencia.

## Conclusiones

1. La variabilidad estacional estaría sujeta a cambios de mayor escala, como el incremento de la producción primaria en primavera y verano, posibilitando un aumento de los depositivos superficiales (SDF) en la bahía (BH) durante primavera, por efecto de la materia orgánica fitoplanctónica que llega al fondo.

2. La disminución de los SDF y el aumento de los suspensivos (SF) en verano en la BH y la plataforma interna (PI), se pueden explicar debido al aumento de la descarga de partículas terrígenas de origen vegetal afectando físicamente al sustrato.
3. En tanto, los consumidores de interfase (IF) que dominaron en verano/otoño en la plataforma externa (PE), donde la influencia continental es menor, pueden haber sido favorecidos por la mayor calidad de flujo acumulado de material orgánico fitoplanctónico en los sedimentos y a un menor contenido del OD, lo cual disminuyó quizás la presión por predación y competencia.

## Referencias

- CARRIT D, CARPENTER J. 1966. Comparison and evaluation of currently employed modifications of the Winkler method for determining dissolved oxygen in sea water. *J. mar. Res.* 24:286-318.
- DAUWE B, HERMAN P, HEIP C. 1998. Community structure and bioturbation potential at four North Sea stations with contrasting food supply. *Marine Ecology Progress Series*, 173: 67-83.
- DELGADO C, GOMERO R. 1995. Atlas sedimentológico de la plataforma continental peruana. *Inf. Inst. Mar Peru.* 110:5-28.
- ELÍAS R, BREMEC C, VALLARINO E. 2001. Polychaetes from a southwestern shallow shelf Atlantic area (Argentina, 38°S) affected by sewage discharge. *Rev. chile. His. Nat.* 74:523-531.
- FAUCHALD K, JUMARS P. 1979. The diet of Works: a study of polychaete feeding guilds. *Oceanogr. Mar. bio. i annu. Rev.*, 17:191-284.
- GALEHOUSE J. 1971. Sedimentation analysis. En: *Procedures in sedimentary petrology*, RE Carver (Ed). Wiley, New York: 69-94.
- GASTON G. 1987. Benthic polychaeta of the Middle Atlantic Bight: feeding and distribution. *Marine Ecology Progress Series*, 36:251-262.
- GRACO M, LEDESMA J, FLORES G, GIRÓN M. 2007. Nutrientes, oxígeno y procesos biogeoquímicos en el sistema de surgencias de la corriente de Humboldt frente a Perú. *Rev. per. biol.*, 14(1):117-128.
- GUTIÉRREZ D. 2000. Bioperturbación y macrofauna en fondos sublitorales de un área de surgencias frente a Chile central (36°30'S): variación espacial y temporal en el periodo 1997-1999. Tesis para optar al grado de Doctor en Oceanografía. Escuela de Graduados, Universidad de Concepción, Chile. 208 pp.
- GUTIÉRREZ D, GALLARDO V, MAYOR S, NEIRA C, VÁSQUEZ C, SELLANES J, RIVAS M, SOTO A, CARRASCO A, BALTAZAR M. 2000. Effects of dissolved oxygen and fresh organic matter on the bioturbation potential of macrofauna in sublittoral bottoms off Central Chile, during the 1997-98 El Niño. *Mar. ecol. prog. Ser.* 202: 81-99.
- GUTIÉRREZ D, ARONÉS K, CHANG F, QUIPÚZCOA L, VILLANUEVA P. 2005. Impacto de la variabilidad oceanográfica estacional e inter-anual sobre los ensamblajes de micro-

- fitoplancton, mesozooplancton, ictioplancton y macrozoobentos de dos áreas costeras del norte del Perú entre 1994 y 2002. Bol Inst Mar Perú 22:1-57.
- GUZMÁN-ALVIS A, LATTIG P, RUIZ J. 2006. Spatial and temporal characterization of soft bottom polychaetes in a shallow tropical bay (Colombian Caribbean). Bol. invest. mar. cost. 35: 19-36.
- INGRAM R. 1971. Sieve analysis. En: Procedures in sedimentology petrology, RE Carver (Ed). Wiley, New York: 49-67.
- PRENTICE I. 1977. Non-metric ordination methods in ecology. J. Ecol. 65:85-94.
- ROSENBERG R, ARNTZ W, CHUMAN DE FLORES E, FLORES L, CARBAJAL G, FINGER I, TARAZONA J. 1983. Benthos biomass and oxygen deficiency in the upwelling system off Perú. J. Mar. Res. 41: 263-279.
- SÁNCHEZ A, MORA J, GARMENDIA J, LASTRA M. 1993. Estructura trófica del macrozoobentos submareal de la ría de Ares-Bentazos. I: Composición y distribución. Publ. espec. Inst. Esp. Oceanogr. 11: 33-40.
- SIEGEL S. 1994. Estadística no paramétrica: aplicada a las ciencias de la conducta. 3ra ed. Ed. Triller. México. 344 p.
- SNEATH P, SOKAL R. 1973. Numerical taxonomy. W. H. Freeman, St. Fran. 571pp.
- TENA J, CAPACCIONI-AZZATI R, TORRES-GAVILA F, PORRAS R. 1993. Anélidos poliquetos del antepuerto de Valencia: distribución y categorías tróficas. Publ. espec. Inst. Esp. Oceanogr. 11: 15-20.
- WHEATCROFT R, OLMEZ I, PINK F. 1994. Particle bioturbation in Massachusetts Bay: preliminary results from a new technique. J. Mar. Res. 52: 1129-1150.
- YUPANQUI W, QUIPÚZCOA L, MARQUINA R, VELAZCO F, ENRÍQUEZ E, GUTIÉRREZ D. 2007. Composición y distribución del macrobentos en la Ensenada de Sechura, Piura, Perú. Rev. peru. biol. 14(1): 75-85.



# Sedimentos marinos superficiales en la bahía del Callao, Perú. 1997

## Shallow marine sediments in the bay of Callao, Perú. 1997

FEDERICO VELAZCO

Laboratorio de Geología Marina. DIO. IMARPE

### Resumen

VELAZCO F. 2011. *Sedimentos marinos superficiales en la bahía del Callao, Perú. 1997. Bol Inst Mar Perú 26(1-2): 75-82.*- Durante El Niño 1997, se estudiaron los sedimentos marinos superficiales de la bahía del Callao (11°50'S a 12°06'S), en 68 estaciones de muestreo situadas al interior de la bahía, incluyendo Ventanilla. Se situaron 35 estaciones complementarias entre las desembocaduras de los ríos Rímac y Chillón donde se concentran las descargas de desechos industriales, urbanos y de actividad portuaria. Se realizaron tres transectos, frente a: playa Ventanilla, al colector Comas y a Chucuito-La Punta. Frente a la playa Márquez se encuentra textura arena arcillosa y hacia el norte predomina el fango; frente a Oquendo las texturas son fango y arena arcillosa. Sedimentos de grano fino, con textura limo arcillosa y arcillo limosa existen en el fondo marino de zonas más profundas y alejadas de la costa; pero también están cerca de la costa, al sur y suroeste de la zona de operaciones portuarias, frente a Chucuito y La Punta. Texturas de arena se registraron al norte del río Chillón (La Pampilla y Ventanilla), en los alrededores del banco Camotal y frente a La Punta. En las áreas más profundas y abrigadas de la bahía, los sedimentos con granulometría muy fina presentan valores negativos de asimetría, característicos de ambientes de sedimentación. En sectores donde existen sedimentos de grano más grueso ocurren procesos de transporte (tipo y forma de ondulaciones) y erosión, apreciables en imágenes del fondo, y en el análisis de parámetros estadísticos. Los altos contenidos de materia orgánica se encuentran asociados a sedimentos de grano fino en ambientes de sedimentación principalmente, está condicionado por la tasa de aporte y origen (antrópico, marino o continental) y por las condiciones de escaso oxígeno que favorecen su preservación. Los más bajos contenidos orgánicos frente a la zona costera de Ventanilla, están asociadas a sedimentos con predominancia de fracciones de arena y origen terrígeno y mayor oxigenación.

PALABRAS CLAVE: Sedimentología, geoquímica, bahía del Callao, Perú.

### Abstract

VELAZCO F. 2011. *Shallow marine sediments in the bay of Callao, Perú. 1997. Bol Inst Mar Perú 26(1-2): 75-82.*- During El Niño 1997, were studied shallow marine sediments of the bay of Callao (11°50'S to 12°06'S) 68 sampling stations were located within the bay, including Ventanilla. Additional 35 stations were placed between the mouths of rivers Rimac and Chillon, where the industrial, urban and port activities waste discharges are concentrated. Three transects were made: off Ventanilla beach, off the Comas and off Chucuito-La Punta beach. The beach front Marquez texture is sandy loam and north dominated the mud; off Oquendo beach, textures are muddy and sandy loam. Fine-grained sediments, clay and silt textured silty clay exist in the seabed and deeper areas offshore, but also near the coast, south and southwest of the port area of operations, off Chucuito and La Punta. Sand textures were recorded north of the river Chillon (La Pampilla and Ventanilla), and around Camotal bank, off La Punta. In the deeper areas and sheltered bay, sediments with fine grain size were negative asymmetry, characteristic of environments of sedimentation. In sectors where there are coarser sediment transport processes occur (type and form of waves) and erosion, appreciable background images, and analysis of statistical parameters. The high content of organic matter is associated with fine-grained sediments mainly. Its content is conditioned by both the rate of contribution and origin (anthropogenic, marine or continental) and by low oxygen conditions that favor its preservation. The lower organic content compared to the coastal area of Ventanilla, sediments are predominantly associated with fractions of sand and terrigenous origin and greater oxygenation.

KEYWORDS: Sedimentology, geochemistry, Bay of Callao, Perú.

### Introducción

En la bahía del Callao, principal puerto peruano, existe gran actividad industrial y económica. En su litoral existen zonas urbanas, se desarrollan pequeñas y grandes industrias; en sus aguas existe intenso tráfico marítimo, pesca y turismo, y sus playas reciben miles de bañistas. Allí desembocan los ríos Rímac y Chillón, que acarrear grandes volúmenes de sedimentos y descargas de emisores urbanos, costeros y submarinos. En la bahía ocurren muchos procesos oceanográficos; sin em-

bargo, los estudios geológicos se han restringido sobre todo a trabajos litorales.

El conocimiento de los aspectos sedimentológicos y geoquímicos del fondo del mar son de gran importancia para estudios ecológicos de los organismos bentónicos, de los procesos costeros, contaminación, minería oceánica, obras de ingeniería y dragado. Estudios acerca de geología submarina, características sedimentológicas y morfológicas de la zona fueron realizados por TEVES y GAGLIANO (1970), VELAZCO (1994) y VELAZCO

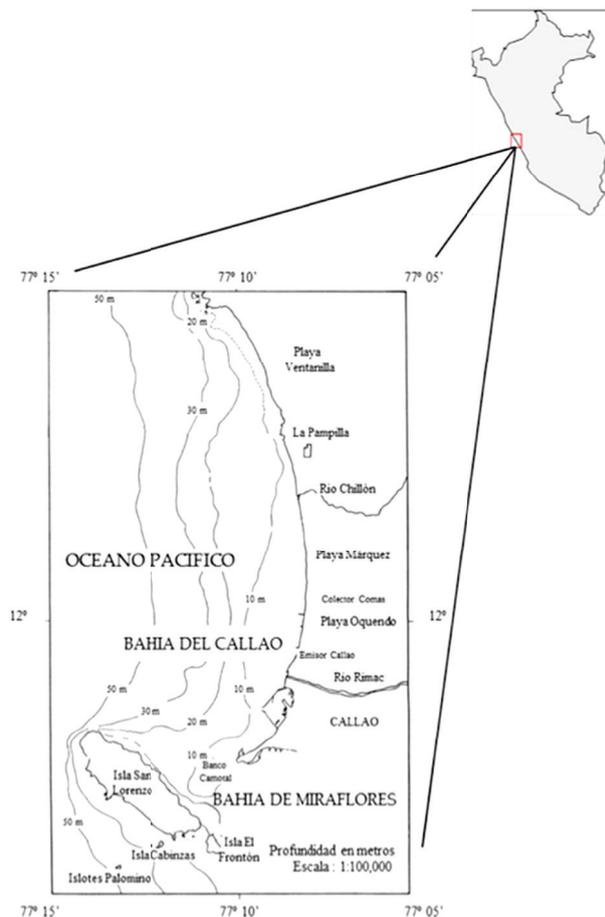


Figura 1.- Ubicación y batimetría del área de estudio. HIDRONAV 1993.

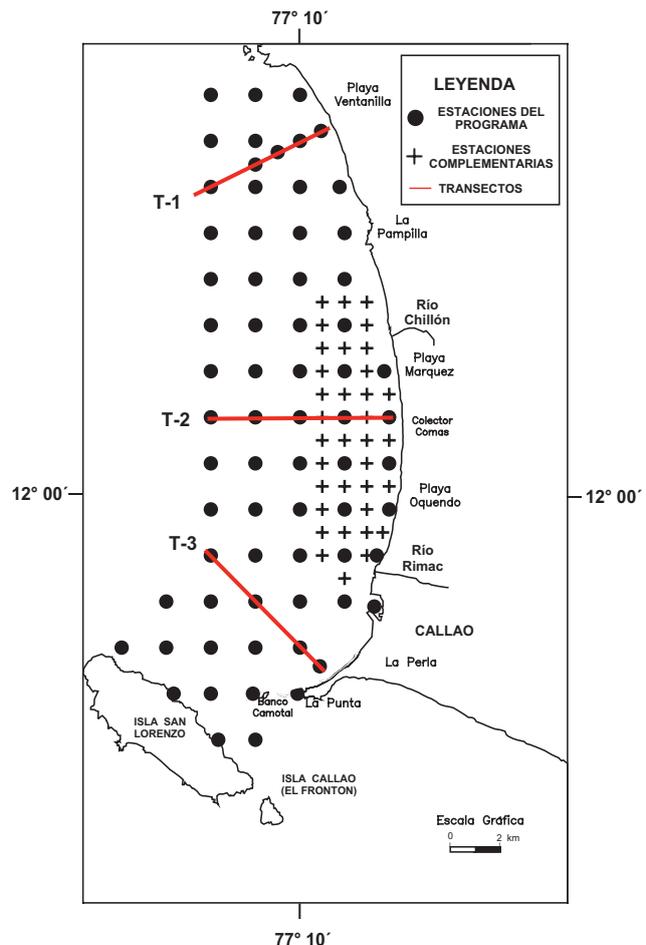


Figura 2.- Estaciones de muestreo de sedimentos marinos, Callao.

(2001). DELGADO y GOMERO (1985) describen el tipo de fondo y características geoquímicas relacionadas al recurso concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en la Isla San Lorenzo (Callao).

Este trabajo formó parte del proyecto *Estudio Geológico del Fondo Marino en Áreas de Interés Pesquero y Ambiental* desarrollado durante 1997 y 1998.

### Material y métodos

Las muestras provienen de la bahía del Callao (11°50' a 12°06'S), de la zona central y del norte frente a Ventanilla (Fig. 1), con la isóbata de 50 m de profundidad como límite oeste (Fig. 2). El muestreo se realizó mediante buceo autónomo, Hookah y una Full face mask (para prevenir problemas de contaminación) cerca de zonas industrializadas y urbanas donde existen emisores costeros; se utilizó una draga tipo Eckman accionada manualmente (Fig. 3).

Se colectó solo los primeros 3 cm del sedimento superficial (Fig. 4) en una red de muestreo que incluye perfiles y transectos siguiendo los criterios establecidos por

GOLTERMAN et al. (1983). Además de la red de muestreo general en 68 estaciones, frente a la zona industrial del Callao se estableció una mayor densidad de estaciones complementarias en el litoral (Fig. 2) en las que se utilizó una draga Van Veen de 0,05 m<sup>2</sup> de cobertura.

Se tomó información in situ de las estructuras sedimentarias indicadoras de la dirección del transporte de sedimentos, compactación, condiciones ambientales, profundidad, etc. Se efectuaron tomas en video submarino para lograr mejor información ambiental del fondo.

El análisis granulométrico se realizó con tamices (INGRAM 1971) y pipeta (GALEHOUSE 1971); la determinación del contenido de materia orgánica total y de carbonato total se hizo por el método de pérdida de peso por ignición (DEAN 1974). Para el análisis de carbono orgánico se siguió el método de GAUDETTE et al. 1974.

Los parámetros estadísticos se evaluaron con la técnica de computación gráfica (INGRAM 1971) y su interpretación y clasificación según FOLK (1954). Las texturas sedimentarias se determinaron de acuerdo al diagrama de SHEPARD (1954). Todos los valores obtenidos representan el porcentaje del peso del total del sedimento

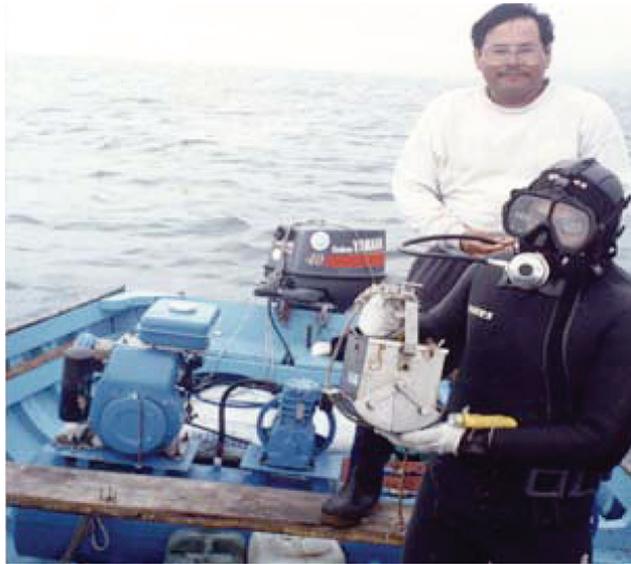


Figura 3.- Buzo con Full Face Mask y compresora, sujetando draga Eckman antes de sumergirse cerca de zona industrial.



Figura 4.- Colectando los primeros centímetros superficiales de sedimento para estudios sedimentológicos en muestra extraída.



Figura 5.- a) Midiendo con un compás submarino en las estructuras sedimentarias (Ripples), la dirección de la corriente en el fondo frente a Ventanilla (Prof. 4 m). b) Midiendo la dirección de transporte en zona donde hay canales de erosión en sedimentos muy compactados o relictos (Prof. 15 m).



seco. Se incluyen fotos de la metodología de estudio en el campo y laboratorio. Para los cálculos se utilizó el programa Excel y los mapas de distribución mediante el uso del programa Surfer.

## Resultados

### OBSERVACIONES Y RESULTADOS DE CAMPO

En el análisis visual del sedimento húmedo in situ y después del descongelamiento, se observó el tipo de fracción orgánica, coloración, olor, presencia de algunos minerales, etc., que permiten mayores precisiones sobre el tipo de ambiente del cual provienen.

La fracción orgánica de los sedimentos en las zonas más profundas y alejadas de la costa estuvo conformada principalmente por restos de diatomeas, poliquetos

y pequeños crustáceos. Cerca de la costa, frente a la zona industrial de Oquendo y Márquez se observaron restos vegetales terrestres ya sea en sustrato arenoso o fangoso, asociados a fangos sulfhídricos. Distribuidos a manera de parches se hallaban grupos de organismos de la clase Enteropneusta (*QUIPÚZCOA* com. pers.), de los cuales se tiene registro en videos. Frente a Ventanilla en el sustrato arenoso se hallaron principalmente crustáceos *Emerita* sp. (muy-muy) y poliquetos.

La observación del sustrato, y el video submarino, permitieron definir estructuras submarinas tales como ripples, y canales de erosión ubicados en zonas donde los sedimentos muestran gran compactación (Figs. 5a y 5b). Estas estructuras indican, de acuerdo a su forma y posición, la dirección predominante de los flujos de corriente del fondo marino (principalmente NE) (Fig. 6).

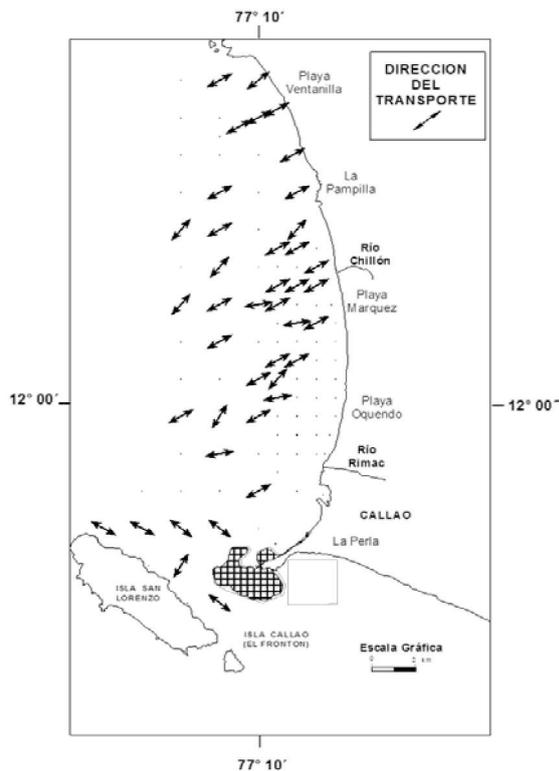


Figura 6.- Dirección del transporte basado en la forma y geometría de las estructuras sedimentarias.

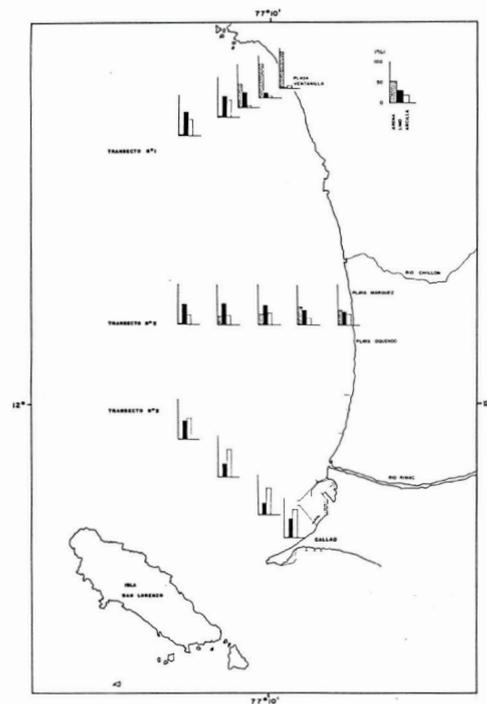


Figura 7.- Distribución del tamaño de grano en 3 transectos. Bahía del Callao y zona frente a Ventanilla

También se observó salida de gas de los sedimentos durante el muestreo, frente a la zona industrial y en zonas más profundas frente a Márquez.

### DISTRIBUCIÓN DE TEXTURAS

**Texturas.-** Del análisis de 68 muestras de sedimentos, se determinaron texturas de arena, arena limosa, arena arcillosa, limo, limo arenoso, limo arcilloso, fango, arcilla limosa (Fig. 8). El fondo del banco El Camotal conformado por cantos y guijas ha sido previamente definido por VELAZCO (2001).

Con la finalidad de estudiar comparativamente la variación de la granulometría de los sedimentos, se muestra en histogramas (Fig. 7), los contenidos de las fracciones de arena, limo y arcilla en 14 muestras de transectos, ubicados en tres zonas de la bahía.

En el Transecto N° 1, desde la zona costera, se observa una gradación predominante de sedimentos de grano grueso (arenas), que pasa a limos y arcillas en estaciones de mayor profundidad, seguidas de arena limosa, hasta limo arcilloso en las zonas más profundas y alejadas de la costa.

En el Transecto N° 2, la arena está presente pero no sobrepasa el 45% en las estaciones más costeras, donde la fracción limo-arcilla (menor a 0,063 mm) es mayor. Hacia el oeste se observa una tendencia grano-decreciente.

El Transecto N° 3 muestra un predominio de la fracción limo-arcilla, donde la fracción arena es marginal. La textura en todos los casos es arcilla limosa. Parámetros estadísticos del tamaño de grano

**La dimensión media del grano** varía de 0,85 a 8,99 mm. Los tamaños mayores se hallan principalmente en los alrededores y muy cerca al banco El Camotal, cercanos a Playa Ventanilla y al norte de la desembocadura del río Rímac. Los valores decrecen hacia el norte de estas zonas y hacia mayores profundidades (Fig. 9).

**La asimetría**, considerada como el parámetro estadístico más sensible en la caracterización granulométrica, presenta una distribución de valores negativos a positivos (-0,57 a 0,90). Los menores valores coinciden con los sedimentos de texturas arcillo limosas y limo arcillosas, ubicadas frente a la rada del puerto y frente a Ventanilla (Fig. 10).

**La selección** refleja el proceso dinámico por el cual material con características particulares (tamaño, forma, gravedad específica) es transportado de modo preferencial a partir de una masa heterogénea mayor, muestra valores que varían entre 0,36 a 3,27, variando las clasificaciones de buena a muy pobre (Fig. 9). Las mejores clasificaciones se encuentran hacia la zona norte y litoral (Playa Ventanilla), moderada inmediatamente al norte de la desembocadura del río Rímac y pobres a muy pobres en la parte central de la bahía,

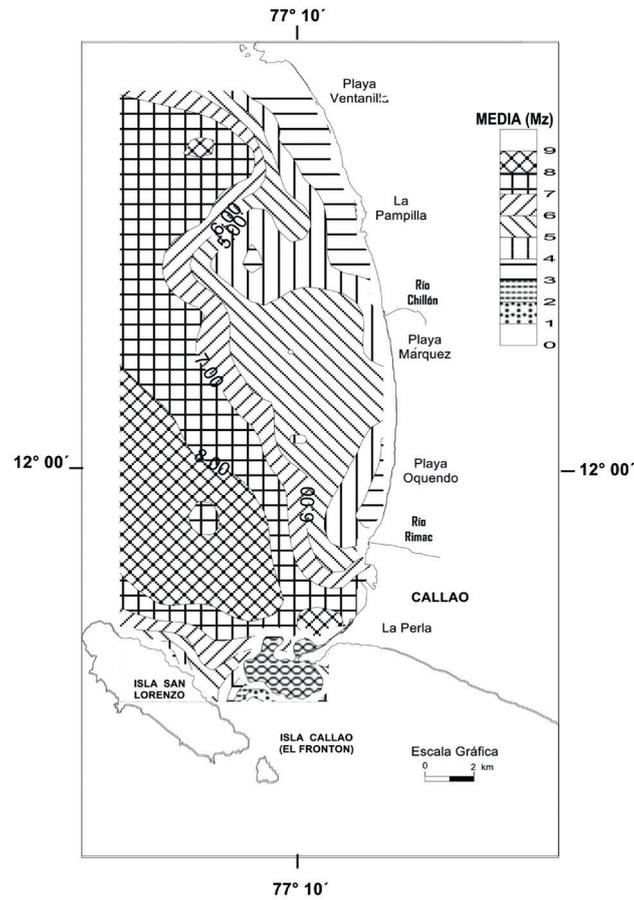


Figura 8.- Distribución de texturas sedimentarias en la bahía del Callao y frente a Ventanilla

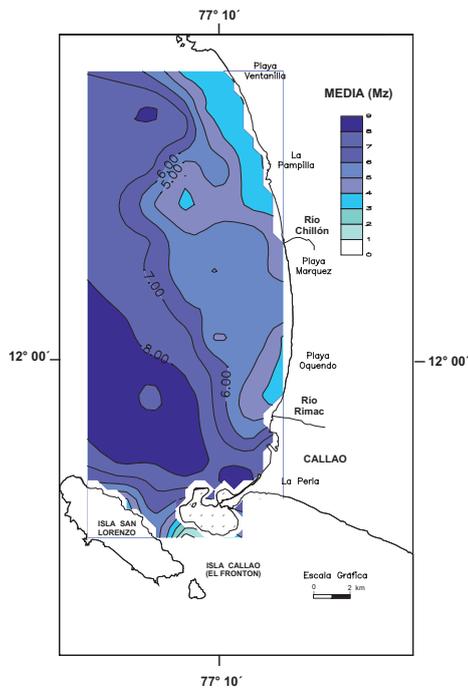


Figura 9.- Distribución de la media granulométrica. Bahías Callao y Ventanilla.

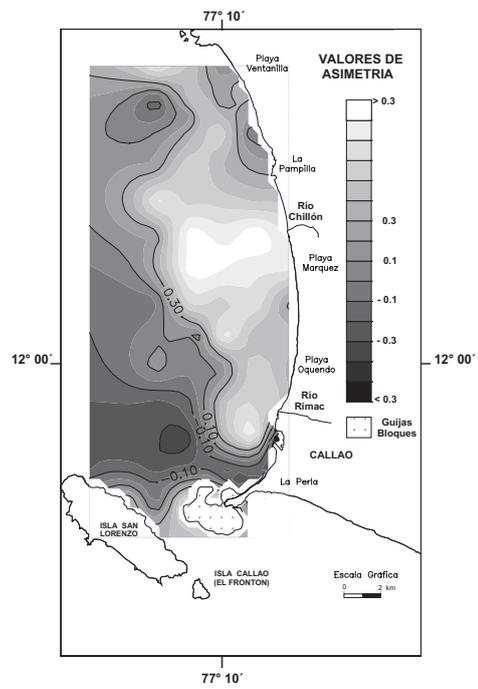


Figura 10.- Distribución de la asimetría en sedimentos. Bahías Callao y Ventanilla.

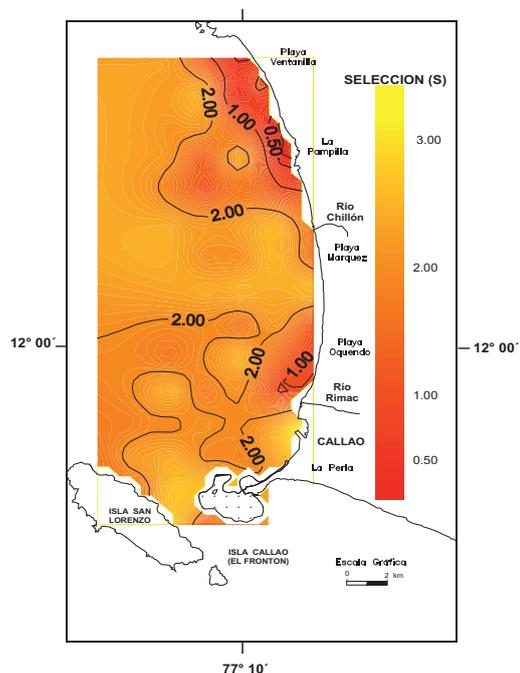


Figura 11.- Distribución de la selección de los sedimentos. Bahías Callao y Ventanilla.

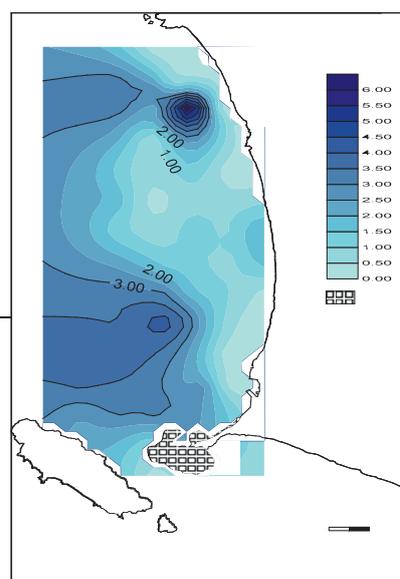


Figura 12.- Distribución de carbono orgánico (%) en sedimentos marinos. Bahías Callao y Ventanilla

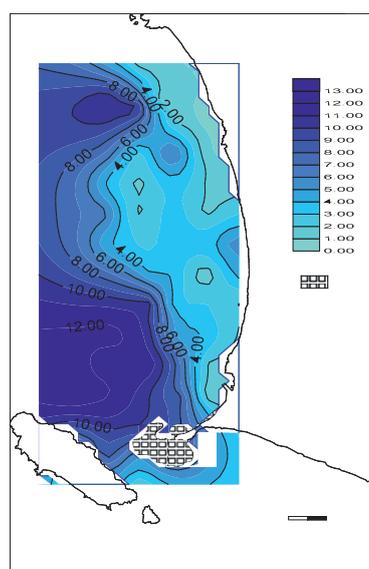


Figura 13.- Distribución de MOT (%) en sedimentos marinos. Bahías Callao y Ventanilla.

hacia zonas más profundas de ésta y en los alrededores de la rada interior del puerto y noroeste del banco El Camotal (Fig. 11).

**Carbono orgánico.-** Los valores de carbono orgánico varían entre 0,11% a 3,78%, los valores más elevados se ubican frente a Chucuito y Ventanilla y también cerca de la línea de costa frente a Playa Márquez, rada interior del puerto, Escuela Naval en la Punta, Chucuito y Oquendo. Los valores más bajos están presentes en los alrededores del banco El Camotal (Fig. 12).

**Materia orgánica total (MOT).-** Se obtuvieron valores que fluctúan de 0,9% a 13,1% de MOT, los más altos se hallan concentrados al igual que para el carbono orgánico, en las estaciones más profundas y alejadas de la costa, frente a Chucuito y Ventanilla y también cerca de la línea de costa frente a Playa Márquez, rada interior del puerto, Escuela Naval en la Punta, Chucuito y Oquendo.

Los valores disminuyen en los sedimentos de la zona costera frente a los acantilados de la Pampilla y playa Ventanilla (Fig. 13).

### Discusión y conclusiones

DELGADO y GOMERO (1985), definen la zona de La Punta, las islas San Lorenzo y Frontón como un medio ambiente sedimentario de plataforma protegida (sistema islas-barrera), donde la circulación es limitada. JACINTO et al. (1994) y MORÓN (com. pers.) indican que los patrones de corrientes de fondo son variables pero con una tendencia hacia el noroeste, lo cual es muy importante pues la distribución granulométrica es por efectos del transporte y sedimentación que siguen también otras partículas, como los elementos contaminantes por ejemplo.

El análisis de la forma de las estructuras sedimentarias permite conocer la dirección preferencial del transporte de sedimentos, este es un reflejo resultante de la acción

de las condiciones hidrodinámicas en un determinado tiempo. En este estudio se obtuvo la misma tendencia con las mediciones de dirección de corriente (predominante 60°NE) que indican la forma y disposición de las estructuras sedimentarias inducidas por ésta como ripples, ondulaciones y canales de erosión en la mayor extensión de la bahía y en la zona del banco El Camotal, que a su vez serían consecuencia de la acción convergente del oleaje proveniente de las bahías de Miraflores y del Callao.

En base a la observación simple de la variación comparativa entre los parámetros estadísticos del tamaño de grano, se puede aproximar ciertos patrones de dirección del transporte neto de los sedimentos. Éstos se aprecian de la integración de tendencias observadas en las figuras 9, 10 y 11 (tamaño medio de grano, asimetría y selección, respectivamente) para cada estación y comparación con las vecinas.

Se observa un patrón coincidente con lo propuesto por MC LAREN y BOWLES en 1985 (aún sin aplicar rigurosamente el modelo). En la Fig. 8 se ilustra esquemáticamente las tendencias de deposición selectiva o Caso B (o Caso 1, GAO y COLLINS, 1992 en LE ROUX 1994) que presenta progresivas tendencias a tamaño de grano más fino, mejor seleccionado y asimetría más negativa desde el suroeste del banco El Camotal siguiendo por el lado Este del mismo y hacia el norte, lo que coincide con el predominio del oleaje proveniente de la bahía de Miraflores sobre la energía del oleaje de la bahía del Callao; también desde La Punta hacia la desembocadura del río Rímac se observó la coincidencia de este caso.

Otro caso fue observado desde el inicio de la playa Márquez, entre los ríos Rímac y Chillón, hacia playa Ventanilla, que de acuerdo a lo propuesto por GAO y COLLINS (op. cit.), la tendencia de los parámetros estadísticos corresponde al Caso de transporte 3 (depósitos sucesivos de tamaño de grano más grueso, mejor seleccionado y asimetría negativa). Es necesario, hacer un análisis espacial más detallado para estudiar las tendencias en toda la bahía aplicando el modelo y métodos.

La asimetría mostró valores negativos en sedimentos de naturaleza arcillo limosa. LÓPEZ (1987) consideró estas zonas como reflejo de un ambiente deposicional; la baja energía hidrodinámica presente en el fondo también fue registrada por el buzo científico. Lo contrario fue observado y obtenido con los sedimentos de grano grueso, en los cuales se obtuvo valores bajos de MO que es rápidamente degradada debido a la presencia de aguas más oxigenadas con mayor energía hidrodinámica como lo demuestran también las estructuras de corriente como ripples y la abundancia de fauna béntica.

Las zonas con mayor valor de materia orgánica (MO) en la bahía mantienen una relación estrecha con el contenido de fracción limo-arcilla hallada en el análisis granulométrico de muestras de los transectos. Esta relación entre el tamaño de grano, materia orgánica e

inclusive metales pesados, ha sido observada por varios autores (FORSTNER et al. 1983, KRUMGAIZ et al. 1992, GUZMÁN 1995 y VELAZCO 2001).

En las zonas de mayor profundidad y alejadas de la costa, los altos valores de MO se encuentran asociadas a fangos de color verde oliva, de intenso olor sulfhídrico y presencia de abundantes diatomeas principalmente del género *Coscinodiscus* (VILLANUEVA com. pers.), y de foraminíferos. Esta materia orgánica contiene restos de organismos (sobre todo fitoplancton) depositados en el fondo y son consecuencia de la alta productividad de la columna de agua, característica en esta zona de afloramiento con alto contenido de nutrientes (ZUTA y GUILLÉN 1970).

En las zonas más costeras, los sedimentos con alto contenido de MO se hallan asociados a texturas de fango de color negro y arena arcillosa, con presencia de minerales de origen terrígeno. También se observaron diatomeas y restos de origen continental como tallos, hojas, fracciones de carbón, fibras, además de abundantes fragmentos de plásticos y otros desechos, lo que indica que el origen de esta materia orgánica son las descargas urbanas e industriales.

La degradación de la MO en los sedimentos ejerce alta demanda de oxígeno, lo cual afecta la calidad del agua, ocasionando carencia de oxígeno y limitando además el desarrollo de la fauna béntica. La fauna béntica heterótrofa constituye uno de los principales consumidores de MO en el sedimento. Ambas condiciones consecuentemente favorecen la preservación de la materia orgánica e inclusive llegan a favorecer procesos biogeoquímicos anaeróbicos para la degradación de materia orgánica.

La emisión de gases observada durante el muestreo sería originado por la actividad bacteriana que, en un ambiente anaeróbico, degrada la MO y libera nutrientes y en el caso de procesos de sulfato-reducción, producen ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ) con un característico olor que ha sido identificado en varias muestras. La distribución de MO está relacionada a la cercanía a las zonas de afloramiento con alta productividad, y a las zonas próximas a descargas provenientes de áreas urbanas o industriales que suministran material orgánico en forma de partículas muy finas. En otro proceso biogeoquímico más avanzado podría ocasionar la producción de metano a niveles más profundos del sedimento con la consecuente liberación de gas metano. Ambas condiciones podrían explicar la liberación de estos gases.

**Agradecimientos.-** El autor desea expresar su agradecimiento a la Blga. SOLEDAD GUZMÁN e Ing. OCTAVIO MORÓN por la corrección del texto y apoyo; a la Sra. GLORIA APAZA, al Sr. DARÍO VENTE y a la Srta. RICARDINA GALLEGOS por el apoyo prestado en el análisis de las muestras, procesamiento de datos y dibujos. Del mismo modo a los Blgos. LUIS QUIPÚZCOA, HAYDEÉ CASTAÑEDA y Sr. Téc. ROBERT MARQUINA, por el trabajo de campo

e identificación de algunos organismos béticos y a la Srta. PATRICIA VILLANUEVA por la identificación de algunas especies fitoplanctónicas en los sedimentos.

## Referencias

- DEAN W. 1974. Determination of Carbonate and Organic matter in calcareous sediments and rocks by loss on ignition: Comparison with others methods. In: *Jour. Sed. Petrology* 44(1): 242-248.
- DELGADO C, GOMERO R. 1985. Algunas observaciones sobre las características de los sedimentos del Área: Isla San Lorenzo, Callao. IMARPE. Informe Interno.
- FOLK R. 1954 The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rocks nomenclature. *Jour. Geology*, 62: 344-359.
- FORSTNER U, AHLF W, CALMANO W, KERSTEN M. 1986. Sediment Criteria Development. In: *Metal Pollution in the aquatic Environment*. Springer study de. 486 p. Germany.
- GALEHOUSE J. 1971. Sedimentation Analysis. In: *Procedures in Sedimentary Petrology*. Eds. Carver, RE. Cap. 4. (69- 94). New York.
- GAO S, COLLINS M. 1992. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of "transport vectors". *Sediment. Geol.* 81:47-60.
- GAUDETTE H, FLIGHT W, TONER L, FOLGER W. 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *Jour. Sed. Petrology* 44(1): 249-253.
- GOLTERMAN H, SLY P, THOMAS R. 1983. Study of the relationship between quality water and sediment transport. *Technical papers in Hydrology* 26. Unesco, Paris, 231 pp.
- GUZMÁN M. 1996. Trazas de metales en sedimentos superficiales en la bahía del Callao-Ventanilla durante 1994. *Inf. Prog. Inst. Mar Perú* (37): 3-20. Callao.
- INGRAM R. 1971. Sieve Analysis. In: *Procedures in Sedimentary Petrology*. Eds. Carver, RE, de. Cap. 3. P.49-67. New York.
- JACINTO M, GUZMÁN M, MORÓN O, GUTIÉRREZ D. 1994. Calidad del medio marino en la Bahía del Callao y Ventanilla. Informe Técnico. DGIO. IMARPE.
- KRUMGAIZ B, FAINSHTEIN G A, COHEN A. 1992. Grainsized effect on anthropogenic trace metal and organic matter distribution in marine sediments. In: *The Science of the Total Environment*. 116:15-30. Amsterdam.
- LEROUX J.P. 1994a. An alternative approach to the identification of the end sediment transport paths based on grain size trends: *Sedimentary Geology*, 94, 97-107.
- LEROUX J.P. 1994b. A spreadsheet template for determining sediment transport vectors from grain size parameters: *Computer y Geoscience*, 20, 433-440. Liu, J.T., Liu, K., Huang, J.C., 2002. The effect of a submarine canyon
- LÓPEZ J. 1987. Caracterización de los sedimentos superficiales del fondo del Río de La Plata. En: 2º Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar. P.33-37. Lima.
- MC LAREN P, BOWLES D. 1985. The effects of sediment transport on grain size distributions. *J. Sediment. Petrol.* 55:457-470.
- SHEPARD F. 1954. Nomenclature based on silt-clay ratios. *Jour. Sed. Petrology* 24(1):151-158.
- TEVES N, GAGLIANO S. 1970. Geología litoral y submarina de la zona comprendida entre el río Rímac y Playa Santa Rosa, Ancón, Lima, Perú. *Anales del 1º Congreso Latinoamericano de Geología. IV:* 37-54. Lima.
- VELAZCO F. 1994. Características de los sedimentos superficiales del fondo marino en el área del Callao y Ventanilla. IMARPE. Informe Interno. Callao.
- VELAZCO F. 2001. Geología marina y ambiental del área entre la bahía del Callao y Ventanilla. Tesis Ing. Geólogo. Univ. Nac. Ingeniería. 60 pp.
- ZUTA S, GUILLÉN O. 1970. Oceanografía de las Aguas Costeras del Perú. *Bol. Inst Mar Perú*. 2(5): 161-323.

# Sedimentos marinos superficiales del litoral de Tacna, Perú, 2004

## Shallow marine sediments off the coast of Tacna, Peru, 2004

FEDERICO VELAZCO

JUANA SOLÍS

FREDY CÁRDENAS

Área de Geología Marina. UIOQ. DIO. IMARPE

### Resumen

VELAZCO F, SOLÍS J, CÁRDENAS F. 2011. *Sedimentos marinos superficiales del litoral de Tacna, Perú, 2004*. Bol Inst Mar Perú 26 (1-2): 83-91.- Los sedimentos submarinos colectados a fines de setiembre 2004 a profundidades <50 m, al sur de la desembocadura del río Sama (18°10'S), fueron predominantemente arenosos (>60%). El mayor contenido de la fracción fina, de limo y arcilla ( $\pm 35\%$ ), se ubicó en las zonas más profundas del área en estudio y en los extremos norte (frente a Cerro Cortado) y al sur (Los Palos), que incluyen también zonas de menor profundidad. En la zona central, la pendiente tiene la mayor inclinación de toda la zona estudiada, y el tamaño promedio del grano del sedimento es más grande; estas condiciones constituyen un reflejo de la mayor energía hidrodinámica que existe. En la zona central también se observa la típica disminución del tamaño de grano, según se incrementa la profundidad y la lejanía de la línea de costa. La distribución de materia orgánica mostró tendencia similar a la de fracción fina, con un máximo de 5,02%.

PALABRAS CLAVE: sedimentología, morfología del fondo marino, sur del mar peruano.

### Abstract

VELAZCO F, SOLÍS J, CÁRDENAS F. 2011. *Shallow marine sediments off the coast of Tacna, Perú, 2004*. Bol Inst Mar Perú 26 (1-2): 83-91.- The marine sediments collected in late September 2004 at depths <50 m south of the mouth of the river Sama (18°10'S), were predominantly sandy (>60 %). The highest content of the fine fraction, silt and clay ( $\pm 35\%$ ), was located in the deepest parts of the study area and in the extreme north (off Cerro Cortado) and south (Los Palos), including also shallower areas. In the central area, the slope is steeper throughout the study area, and the average grain size is larger sediment; these conditions are a reflection of the higher hydrodynamic energy that exists. In the central area there is also the typical grain size decreased as the depth increases and the distance from the coastline. The distribution of organic matter showed a trend similar to the fine fraction, with a maximum of 5.02%.

KEYWORDS: sedimentology, morphology of the seafloor, south of the Peruvian sea

### Introducción

La costa sur del Perú es árida con cerros escarpados y acantilados próximos al litoral, constituidos por rocas metamórficas más antiguas a las que se les ha denominado Cordillera de la Costa, esta zona está cortada esporádicamente por algunos valles. En su extensión presenta subdivisiones denominados sectores, definidos en función a sus características morfo-estructurales, el sector sur comprende desde Caravelí hasta Arica y tiene una historia de hundimiento y posterior elevamiento (SCHWEIGER 1947, MACHARÉ et al. 1986).

La zona submarina estudiada es adyacente a la unidad geomorfológica definida por INGEMMET como Faja Litoral (JAÉN y ORTIZ 1963), que comprende un área angosta de terreno llano entre la ribera del mar y el pie de la cadena costanera; está desprovisto de vegetación y cubierto por arenas eólicas; su ancho varía desde pocos metros en Morro Sama hasta 5 km a la altura de los cerros La Yarada. Desde este punto hacia el sur se halla el cono aluvial. Desde el río Sama hacia el sur, se extiende una zona playera que llega hasta los balnearios de Arica, Chile.

La mayor parte de estudios sedimentológicos marino costeros se han llevado a cabo en la costa norte y central, algunos trabajos han sido desarrollados en la zona sur. IMARPE ha realizado investigaciones a nivel de estudios granulométricos, geoquímicos, morfología del fondo marino y procesos biogeoquímicos y de sedimentación de materia orgánica en la bahía Independencia, (VELAZCO y SOLÍS 2000), Callao (VELAZCO 2001), San Juan y San Nicolás (VELAZCO et al. 2004). En la sección sur, DELGADO et al. (1987) han registrado la presencia de texturas sedimentarias de arcilla limosa para la plataforma continental. En la zona costera se han llevado a cabo algunos trabajos como parte de los estudios de impacto ambiental solicitados por Southern Perú a compañías consultoras extranjeras.

El presente estudio realizado a pedido de IMARPE Ilo, cuyo personal realizó el trabajo de campo a fines de setiembre 2004, trata de aspectos sedimentológicos y morfológicos del fondo marino de la zona denominada Playa Tacna (18°10' a 18°20'S), con principal proyección a la investigación y manejo de recursos bentónicos, sobre todo del bivalvo macha. Esta información

básica puede ser de utilidad también en estudios ambientales y obras de infraestructura costera.

### Material y métodos

Las muestras fueron colectadas del 26 al 28 setiembre 2004 por el personal de IMARPE Ilo, en coordinación con el Área de Geología Marina, de la Unidad de Investigación en Oceanografía Química (UIOQ), Dirección de Investigaciones en Oceanografía (DIO) de la Sede Central. Las muestras e información se obtuvieron entre los 18°10' a 18°12'S, (entre la desembocadura del río Sama y la zona frente a Pampa del Hospicio en Tacna).

El muestreo se efectuó en transectos equidistantes y perpendiculares a la línea de costa con longitud y separación de aproximadamente una milla náutica (Fig. 1). Todas las muestras geológicas fueron descritas y los sedimentos guardados inmediatamente en congelación.

El estudio del relieve del fondo marino se basó en los datos acústicos obtenidos durante la ejecución de la

operación, que tuvo una trayectoria en zig-zag frente a la línea de costa (Fig. 2), los datos se agruparon según su posición y profundidad. Para obtener una mejor representación de la distribución latitudinal de las profundidades y su interpolación con esta zona, dada la estrecha franja de estudio, en la zona norte se agregó, en la malla de datos, información de cruceros, para la zona sur se obtuvieron sondeos georreferenciados de la Carta Hidronav 2394, a fin de obtener una mejor proyección de las profundidades e interpolación con datos obtenidos en la operación de mar de setiembre del 2004.

Se empleó el software Surfer para obtener las isólinas de datos granulométricos; para materia orgánica (MO) se empleó el Krigging como método de interpolación; en el caso del relieve del fondo marino se empleó el método de Mínima Curvatura.

Para determinar la granulometría y contenido de MO, se analizaron muestras de sedimentos de 56 estaciones. Los análisis se realizaron con tamices para las fracciones de grava y arena según INGRAM (1971). Las

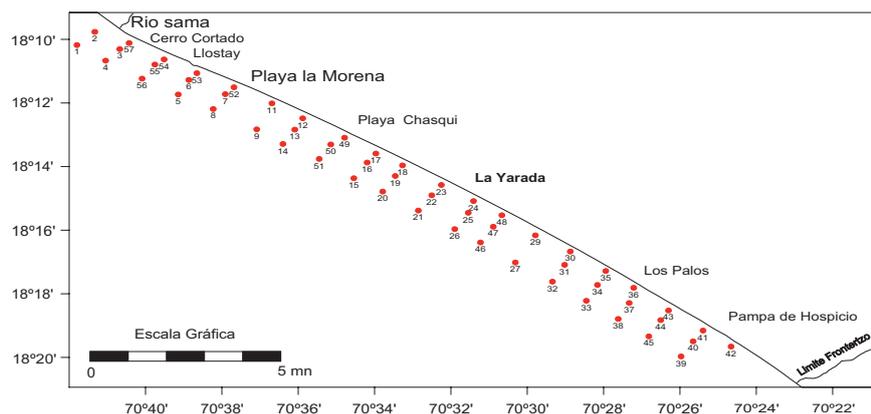


Figura 1.- Ubicación de estaciones de muestreo en sedimentos de Playa Tacna. Setiembre 2004.

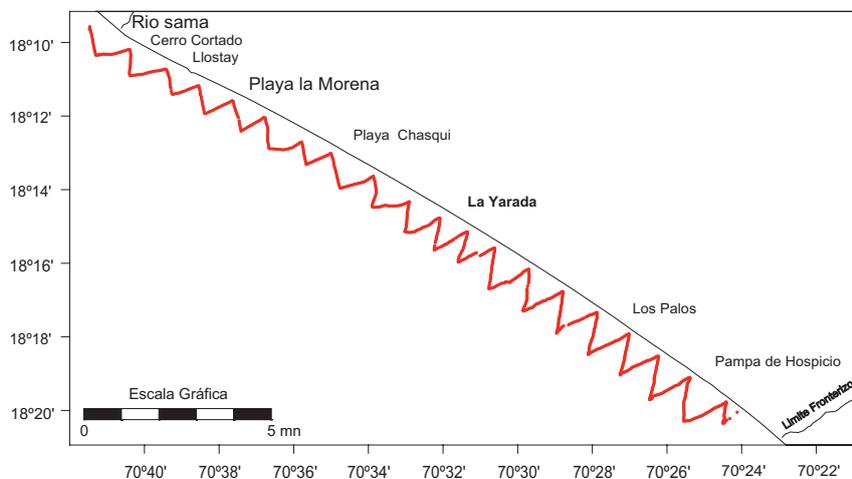


Figura 2.- Trayectoria recorrida para obtención de datos de profundidad y datos complementarios frente a Playa Tacna. Setiembre, 2004.

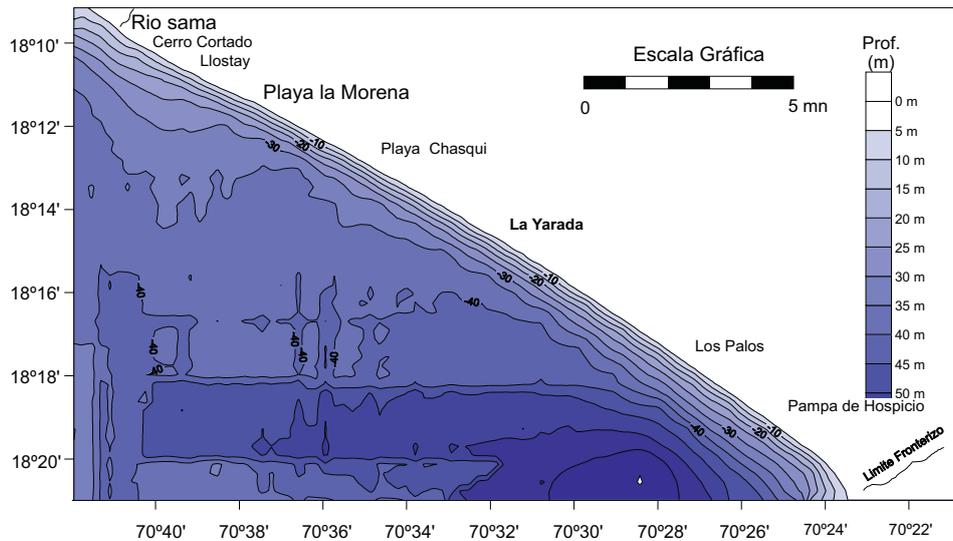


Figura 3.- Distribución de isóbatas en el fondo marino frente a Playa Tacna. Setiembre 2004.

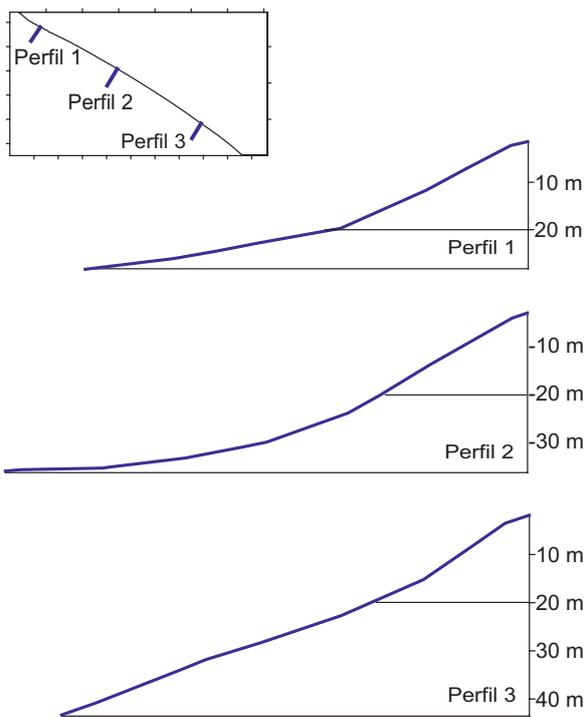


Figura 4.- Perfiles comparativos en tres zonas del área de estudio: Perfil 1 (zona norte), Perfil 2 (zona centro), Perfil 3 (zona sur) Setiembre, 2004.

fracciones limo y arcilla, se reportaron como una sola. La MO se determinó mediante la pérdida de peso por ignición según DEAN (1974). Para la clasificación textural se empleó el diagrama ternario grava-arena-fango. El tamaño de grano se anota en unidades Phi, de acuerdo a la escala de WENTWORTH (1922), donde  $\Phi = -\log_2$  (tamaño de grano en mm). Se determinó la media y selección (parámetros estadísticos del tamaño de grano), según el método de los momentos (KRUMBEIN y PETITJOHN 1938).

## Resultados

### MORFOLOGÍA DEL FONDO MARINO

El relieve del fondo marino (Fig. 3), permite apreciar una distribución de isóbatas paralelas (de orientación NW-SE) muy próximas entre sí que reflejan una marcada pendiente hasta los 30 m aproximadamente, haciéndose más suave hacia mayores profundidades.

En la Fig. 4 se representan los perfiles estudiados: Perfil 1 (zona norte, de mínima pendiente), Perfil 2 (centro, máxima pendiente) y Perfil 3 (zona sur, pendiente media).

### SEDIMENTOS SUPERFICIALES

**Descripción de muestras.-** Las observaciones y descripción de las características físicas del sedimento (color, olor, textura y otros), realizadas en el campo y en el laboratorio, luego del descongelamiento de las muestras, denotaron que en su mayor parte corresponden a fondos arenosos (Tabla 1), y muy pocas presentaron olor sulfhídrico, excepto las correspondientes a zonas más profundas y alejadas de la costa.

**Observaciones al microscopio de muestras tamizadas.-** Las muestras están compuestas en la fracción arena por minerales terrígenos (cuarzo y feldespatos principalmente) y minerales ferromagnesianos (micas y otros), también se observaron componentes biogénicos (fragmentos calcáreos), aunque en menor proporción.

### GRANULOMETRÍA

**Fracción grava.-** Los contenidos de grava (2 mm - 6,4 cm) son muy bajos, alcanzan como máximo 0,65%, existen en muy pocas estaciones, son principalmente

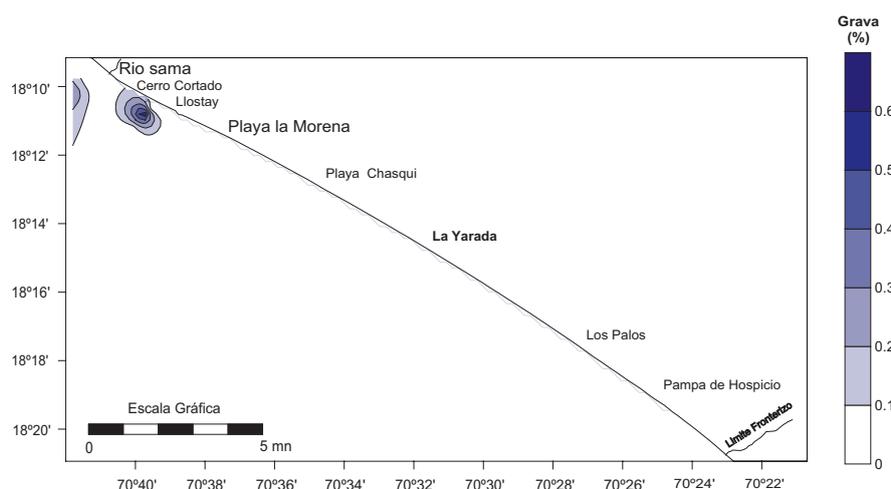


Figura 5.- Contenido de la fracción grava en sedimentos superficiales de Playa Tacna Setiembre 2004.

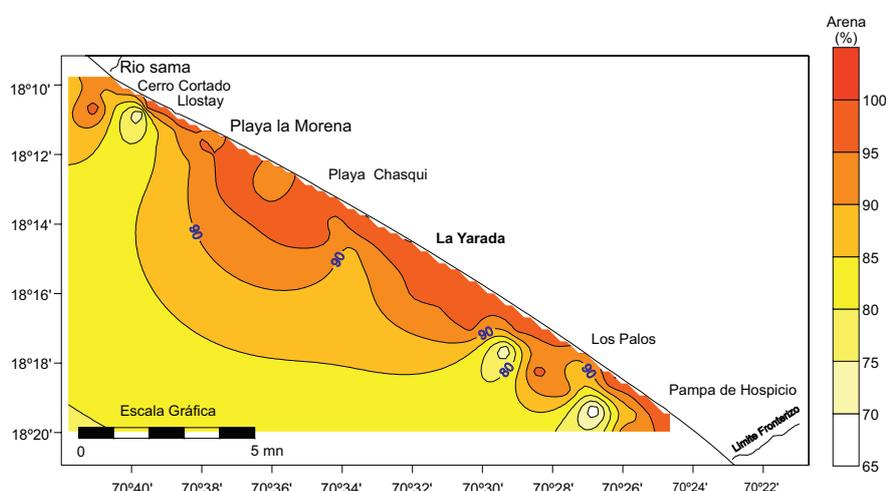


Figura 6.- Contenido de la fracción arena en sedimentos superficiales de Playa Tacna Setiembre 2004.

fragmentos de roca y algunos restos de caparzones calcáreos. Esta fracción se ubica en pequeños núcleos de muy bajo contenido en las estaciones más profundas frente a Cerro Cortado y Llostay (Fig. 5).

**Fracción arena.-** La fracción de arena (tamaño de grano de 0,063 a 2 mm) está conformada por minerales terrígenos y fragmentos calcáreos (Tabla 1) con valores que fluctúan de 65,19% a 99,88%; con promedio 92,99%. La distribución >90% abarca toda la extensión más cercana a la orilla; en la parte central se distribuye ampliamente hacia zonas más profundas; a los extremos de la zona de estudio disminuyeron, aunque manteniendo siempre la mayoritaria proporción en el sedimento (Fig. 6).

**Fracción limo+arcilla.-** La fracción limo+arcilla (fango, tamaño de grano <0,063 mm) es menos abundante en las muestras (0,12% a 34,81%) y se distribuye en forma contraria a los contenidos de arena y grava, localizándose a mayores profundidades, ubicadas en

los extremos de la zona de estudio (Tabla 1, Figura 7).

**Tamaño de grano promedio.-** La media, o tamaño promedio de grano, fluctúa entre 1,92 y 3,91 unidades Phi. Los mayores valores corresponden a tamaños de grano fino y se ubican en los extremos norte y sur del área de estudio y en reducidas zonas, separados entre sí, como a 2 mn, a modo de pequeños núcleos cerca de la costa. Los menores valores de tamaño de grano (de mayores unidades Phi), están presentes frente a la línea litoral al sur de la desembocadura del río Sama y entre los Palos y Pampa de Hospicio (Fig. 8).

**Selección**

La selección o clasificación de los sedimentos mostró variaciones de 0,82 (moderada) a 0,12 (muy buena). La clasificación es mejor cercana a la línea de costa y en los extremos de la zona de estudio. Alejándose de la orilla se presentan intercalaciones de buenas a moderadas (Fig. 9).

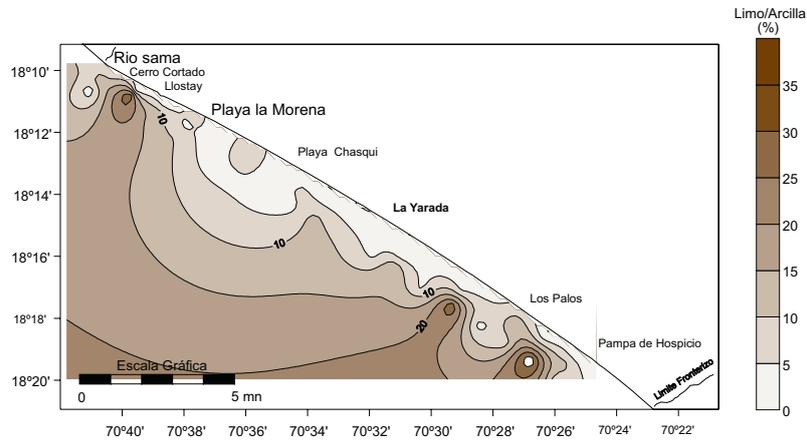


Figura 7.- Contenido de la fracción limo+arcilla en sedimentos superficiales de Playa Tacna. Setiembre 2004.

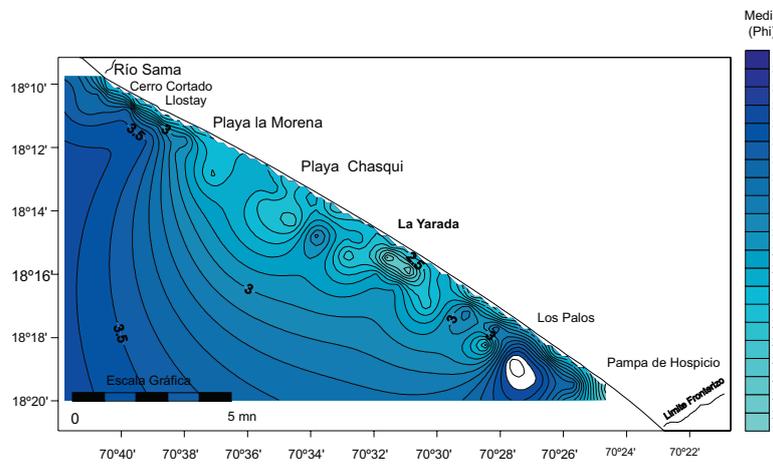


Figura 8.- Distribución del tamaño medio de los sedimentos superficiales de Playa Tacna Setiembre 2004.

**Materia orgánica total (MOT)**

Los contenidos de materia orgánica total varían de 0,26% a 5,02%, los valores más altos se obtuvieron en las estaciones E-20 y E-26 ubicados frente a las zonas de la Yarada y Segundo Valle, respectivamente. Los valores mantienen la misma tendencia en relación a la profundidad y distancia a la costa (Tabla 1, Fig. 10).

**Discusión**

La distribución de la granulometría y materia orgánica en ambas bahías, muestra los valores más bajos de materia orgánica asociados a sedimentos con mayor componente de la fracción arena, los cuales se emplazan cercanos a la línea de costa y en una porción central del área de estudio. En general, los contenidos de materia orgánica son bajos al compararlos con zonas de elevada energía hidrodinámica tales como Ventanilla-Callao (VELAZCO 2001), Samanco (VÁSQUEZ et al. 2001) y Paracas (VELAZCO y SOLÍS 2000).

Hacia el norte y sur de la zona central, donde se encuentra la mayor acumulación de arena y la pendiente más elevada (Perfil 2), que poseen condiciones de mayor hidrodinámica, se observa decrecimiento de contenidos de la fracción arena e incremento de fracción limo+arcilla. Esto se aprecia, al menos, en cuatro pequeñas áreas, donde existe un decrecimiento gradual del tamaño de grano y que indicaría, a nivel de estas pequeñas áreas, la intervención de corrientes de retorno que trasladan material desde menores profundidades y cercanas a la costa (anteplaya media a superior y de la misma playa), hacia la anteplaya externa con mayores profundidades y, luego, al reducirse la fuerza de estas corrientes, permite una deposición diferencial de material decreciente en tamaño, acorde a la energía que lo transporta.

En los perfiles de fondo, el tipo de sedimentos con contenido de finos (limo y arcilla) y MO, son referencias acerca de que la zona presenta normalmente intenso oleaje, por lo que se define que el área estudiada presenta condiciones morfodinámicas corres-

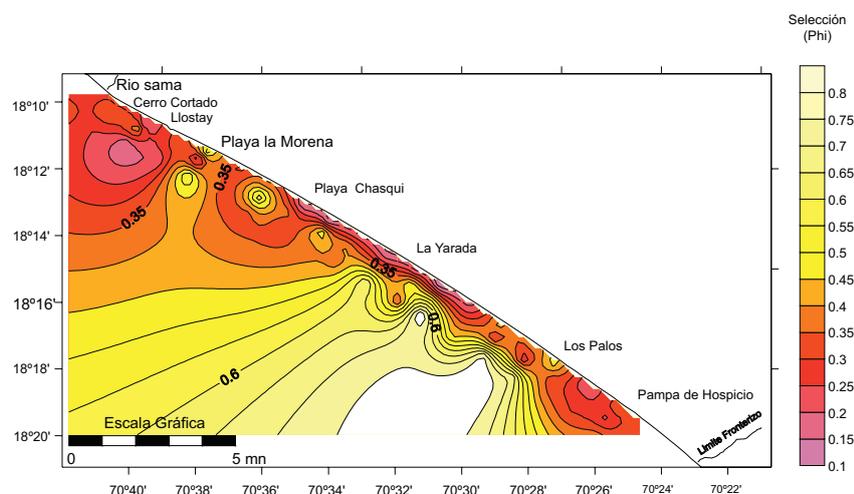


Figura 9.- Distribución de la selección de los sedimentos superficiales de Playa Tacna. Setiembre 2004.

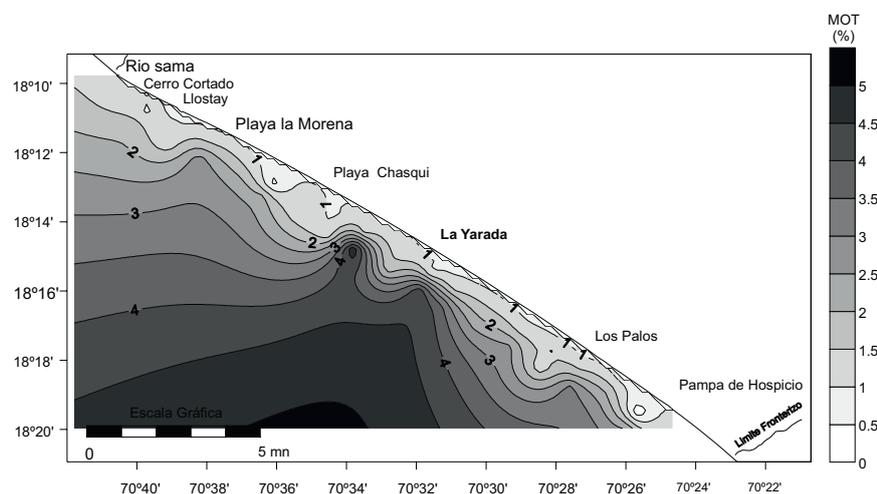


Figura 10.- Contenido de materia orgánica en sedimentos superficiales de Playa Tacna Setiembre 2004.

pendientes a playas abiertas con fondos arenosos de alta energía de transporte, y comprende el ambiente sedimentario de transición (ambiente silicoclástico de aguas someras) y abarca subambientes de anteplaya (Shoreface) externa a media. Los sedimentos estudiados están sometidos a la acción de las mareas, las olas, el viento, las corrientes litorales o las tormentas como fuerzas dominantes de su distribución.

El tamaño de grano y la clasificación de los sedimentos es un reflejo de las condiciones hidrodinámicas. En el fondo, las características de los sedimentos están influenciadas por los efectos de la dinámica marina, que condiciona el transporte de sedimentos por las corrientes y deriva litoral y la morfología del fondo. En las zonas más próximas a la orilla la influencia se da además por el oleaje y viento que aporta material continental. También se debería a la eficiencia en los

procesos de oxidación en el fondo, su asimilación por los organismos bentónicos heterótrofos, resuspensión por las corrientes, o actividad biológica.

### Conclusiones

1. Playa Tacna presenta condiciones morfodinámicas correspondientes a playas abiertas, con fondos arenosos de alta energía de transporte y comprende el ambiente sedimentario de transición (ambiente silicoclástico de aguas someras), abarcando subambientes de playa anteplaya (Shoreface) externa a media.
2. El área estudiada posee fondos predominantemente arenosos, con escaso contenido de grava en un núcleo localizado al norte del ámbito estudiado. Hacia zonas de mayor profundidad, tanto al norte como al sur, se incrementa la fracción fina

Tabla 1.- Resultados de análisis geoquímicos y granulométricos de sedimentos. Setiembre del 2004

Est. Nº	Zona de muestreo	Fecha	Posición		Prof. (bz)	Tipo de sedimento	MOT (%)	Fracciones granulométricas		
			Latitud	Longitud				Grava (%)	Arena (%)	Limo+arcilla (%)
1	Boca del río	27/09/2004	18°10' 10,8"	70°41' 47,8"	15,2	Arena compacta, color verde grisáceo oscuro, presencia de restos calcáreos y tubos de poliqueto	1,52	0,31	85,09	14,6
2	Boca del río	26/09/2004	18°09' 45,8"	70°41' 19,7"	7,5	Arena, color negro grisáceo, intenso olor sulfídrico	1,29	0,00	91,37	8,63
3	Boca del río	26/09/2004	18°10' 18,4"	70°40' 40,5"	8,3	Arena compacta, color verde grisáceo oscuro. Presencia de poliquetos	1,14	0,06	85,61	14,33
4	Boca del río	26/09/2004	18°10' 40,1"	70°41' 8,7"	14,2	Arena compacta, color verde grisáceo oscuro, presencia de tubos de poliquetos	1,36	0,00	98,58	1,42
5	Llostay	27/09/2004	18°11' 44,0"	70°39' 8,6"	17,5	Arena, color verde grisáceo oscuro, presencia de restos calcáreos	1,14	0,00	86,74	13,26
6	Llostay	26/09/2004	18°11' 16,6"	70°38' 52,0"	10,5	Arena compacta, color marrón y verde grisáceo oscuro	1,14	0,00	88,39	11,61
7	Cerro Moreno	26/09/2004	18°11' 43,4"	70°37' 54,6"	12,3	Arena fangosa, color verde grisáceo, intenso olor	1,50	0,00	96,46	3,54
8	Cerro Moreno	26/09/2004	18°12' 11,4"	70°38' 13,6"	19,5	Arena fangosa, color verde grisáceo oscuro, intenso olor	2,75	0,00	90,50	9,50
9	Playa la Morena	26/09/2004	18°12' 49,8"	70°37' 5,2"	21,2	Arena, color marrón oliva, abundancia de micas olor y aspecto de presencia de hidrocarburos	2,18	0,00	97,96	2,04
11	Playa la Morena	27/09/2004	18°12' 0,8"	70°36' 41,3"	5	Arena compacta, color verde grisáceo oscuro presencia de tubos de poliquetos	0,98	0,00	99,06	0,94
12	La Curva	27/09/2004	18°12' 29,0"	70°35' 52,9"	1,50	Arena compacta, color marrón olivo oscuro	0,98	0,00	90,18	9,82
13	La Curva	27/09/2004	18°12' 50,3"	70°36' 5,3"	15	Arena, color verde grisáceo, abundancia de micas	0,26	0,00	90,93	9,07
14	La Curva	27/09/2004	18°13' 17,4"	70°36' 24,0"	22,7	Fango arenoso, se observó dos tipos de sedimento, uno de color negro y grisáceo verdusco	2,15	0,00	95,79	4,21
15	Primer Valle	27/09/2004	18°14' 22,0"	70°34' 32,6"	21,8	Arena, color verde grisáceo oscuro, abundancia de micas	1,13	0,00	97,02	2,98
16	Primer Valle	27/09/2004	18°13' 52,4"	70°34' 11,7"	16,6	Arena compacta, color verde grisáceo oscuro, presencia de micas	1,01	0,00	93,04	6,96
17	Primer Valle	27/09/2004	18°13' 35,4"	70°33' 58,0"	5	Arena, color marrón oliva, abundancia de micas	1,09	0,00	99,09	0,91
18	Primer Valle	27/09/2004	18°13' 57,8"	70°33' 16,1"	4,2	Arena, color marrón amarillento, abundancia de micas	1,23	0,00	99,48	0,52
19	La Yarada	27/09/2004	18°14' 17,8"	70°33' 27,5"	13,2	Arena, color verde grisáceo, abundancia de micas	1,30	0,00	95,77	4,23
20	La Yarada	27/09/2004	18°14' 47,2"	70°33' 47,2"	22	Fango con grava, color negro y verde grisáceo	5,02	0,00	88,37	11,63
21	La Yarada	27/09/2004	18°15' 23,0"	70°32' 51,2"	22,8	Arena gruesa, color verde grisáceo oscuro, observa presencia de micas	1,76	0,00	91,79	8,21
22	La Yarada	27/09/2004	18°14' 54,2"	70°32' 30,0"	14,22	Arena, color verde grisáceo, abundancia de micas	1,26	0,00	96,85	3,15
23	La Yarada	27/09/2004	18°14' 34,7"	70°32' 15,1"	4,6	Arena compacta, marrón oscuro grisáceo, presencia de micas	1,16	0,00	99,56	0,44
24	Segundo Valle	27/09/2004	18°15' 5,1"	70°31' 24,5"	4,8	Arena gruesa, color gris oscuro, presencia de micas	1,00	0,00	98,41	1,59
25	Segundo Valle	27/09/2004	18°15' 27,2"	70°31' 32,7"	14,2	Arena gruesa, color verde grisáceo oscuro, presencia de micas	0,93	0,00	97,01	2,99
26	Segundo Valle	27/09/2004	18°15' 58,0"	70°31' 54,0"	22,8	Fango fluido, color negro grisáceo oscuro	4,32	0,00	96,16	3,84
27	Los palos	27/09/2004	18°17' 1,0"	70°30' 18,7"	22,6	Arena compacta, color verde grisáceo, presencia de micas	2,34	0,00	96,05	3,95
29	Los palos	27/09/2004	18°16' 9,8"	70°29' 47,2"	6,5	Arena, color marrón oscuro grisáceo, presencia de micas	1,07	0,00	96,92	3,08
30	Los palos	27/09/2004	18°16' 40,3"	70°28' 52,4"	30	Arena, color marrón oscuro amarillento, presencia de micas	0,92	0,00	99,15	0,85
31	Los palos	27/09/2004	18°17' 5,4"	70°29' 1,30"	13	Arena compacta, color verde grisáceo oscuro	1,26	0,00	96,02	3,98

Tabla 1.- Resultados de análisis geoquímicos y granulométricos de sedimentos. Setiembre del 2004 (Continuación)

Est. N°	Zona de muestreo	Fecha	Posición		Prof. (bz)	Tipo de sedimento	MOT (%)	Fracciones granulométricas		
			Latitud	Longitud				Grava (%)	Arena (%)	Limo+arcilla (%)
32	Los Palos	27/09/2004	18°17'37,1"	70°29'20,4"	21,7	Fango arenoso, color negro verde grisáceo oscuro	2,62	0,00	70,52	29,48
33	Santa Rosa	27/09/2004	18°18'13,2"	70°28'27,1"	20,8	Fango, color marrón oliva y verde grisáceo oscuro	1,16	0,00	97,07	2,93
34	Santa Rosa	27/09/2004	18°17'43,3"	70°28'9,7"	13,5	Arena fangosa, color marrón oscuro, presencia de micras	1,55	0,00	91,39	8,61
35	Santa Rosa	27/09/2004	18°17'17,0"	70°27'56,6"	2,9	Arena compacta, color marrón oscuro, presencia de micras.	0,94	0,00	98,28	1,72
36	Balneario Los Palos	27/09/2004	18°17'48,7"	70°27'12,7"	3,4	Arena compacta, color marrón oscuro grisáceo, presencia de micras.	0,93	0,00	91,23	8,77
37	Balneario Los Palos	27/09/2004	18°18'17,4"	70°27'19,8"	13	Arena fangosa, color marrón grisáceo oscuro a verde grisáceo oscuro olor sulfídrico.	1,51	0,00	84,95	15,05
38	Balneario Los Palos	27/09/2004	18°18'47,5"	70°27'37,0"	20,3	Fango, color marrón oliva claro, intenso olor sulfídrico	3,16	0,00	93,02	6,98
39	Santa Rosa	27/09/2004	18°19'58,2"	70°25'58,2"	20,3	Arena fangosa, color gris oliva, presencia de restos calcáreos	2,46	0,00	93,02	6,98
40	Santa Rosa	28/09/2004	18°19'29,8"	70°25'39,3"	1,80	Arena fangosa, color verde grisáceo, presencia de micras.	0	0,00	88,36	11,64
41	Santa Rosa	28/09/2004	18°19'9,4"	70°25'23,7"	5,0	Arena compacta, color marrón verdoso, presencia de micras	1,0	0,00	97,49	2,51
42	Santa Rosa	28/09/2004	18°19'39,6"	70°24'39,6"	4,40	Arena gruesa, color marrón oliva, presencia de micras, restos calcáreos	1,19	0,00	97,95	2,05
43	Santa Rosa	28/09/2004	18°18'31,5"	70°26'18,6"	5,4	Arena compacta, color marrón oscuro grisáceo, presencia de micras	0,99	0,00	99,76	0,24
44	Santa Rosa	28/09/2004	18°19'49,7"	70°26'30,3"	13,2	Arena fina, color marrón amarillento, presencia de micras	1,83	0,00	89,2	10,8
45	Santa Rosa - Faro	28/09/2004	18°17'5,4"	70°26'48,9"	20	Fango gravoso, dos tipos de Sed. color negro y verde grisáceo	2,65	0,00	65,19	34,81
46	Segundo Valle	28/09/2004	18°16'23,2"	70°31'13,5"	22,5	Fango color verde grisáceo oscuro	3,41	0,00	94,87	15,13
47	Segundo Valle	28/09/2004	18°15'53,5"	70°30'53,4"	14,0	Arena gruesa, color verde grisáceo oscuro, presencia de micras y restos calcáreos muy finos	1,21	0,00	99,74	0,26
48	Segundo Valle	28/09/2004	18°15'31,5"	70°30'39,9"	4,2	Arena, color marrón oliva grisáceo oscuro, presencia de micras y restos calcáreos muy finos	1,0	0,00	99,48	0,52
49	La Curva	28/09/2004	18°13'5,6"	70°34'47,1"	20,5	Arena, color marrón oscuro. Se observa, presencia de micras y restos calcáreos muy finos	3,10	0,00	99,88	0,12
50	La Curva	28/09/2004	18°13'18,1"	70°35'8,8"	3,5	Arena mediana, color verde grisáceo oscuro presencia restos calcáreos muy finos y micras	1,38	0,00	98,22	1,78
51	La Curva	28/09/2004	18°13'45,6"	70°35'27,0"	20,5	Arena gruesa, color verde grisáceo oscuro, presencia de micras	1,23	0,00	98,12	1,88
52	Cerro Moreno	28/09/2004	18°11'30,4"	70°37'41,0"	4,2	Arena mediana, color marrón amarillento oscuro, presencia de micras	1,1	0,00	91,81	8,19
53	Llostay	28/09/2004	18°11'3,8"	70°38'39,3"	4,0	Arena gruesa, color marrón grisáceo oscuro, presencia de micras	0,9	0,00	97,38	2,62
54	Boca del río Sama	28/09/2004	18°10'37,9"	70°39'30,8"	3,2	Arena, color marrón grisáceo oscuro, presencia de micras	1,13	0,00	98,7	1,3
55	Boca del río Sama	28/09/2004	18°10'47,5"	70°39'45,3"	9,5	Arena mediana, color marrón amarillento oscuro, presencia de micras	0,9	0,65	70,59	29,41
56	Boca del río Sama	28/09/2004	18°11'14,1"	70°40'5,4"	15,1	Arena fangosa, color marrón grisáceo oscuro, presencia de micras	1,81	0,00	76,71	23,29
57	Boca del río Sama	28/09/2004	18°09'40,9"	70°40'25,8"	4,6	Arena compacta, color marrón oscuro grisáceo, presencia de micras	1,15	0,09	94,14	5,86

limo+arcilla, aunque siempre es menor en abundancia respecto a la fracción gruesa.

3. La elevada pendiente en la zona central y presencia de mayor contenido de arena, indican que corresponde al desarrollo de mayores condiciones de energía de la zona.
4. El tamaño promedio de grano, la selección de los sedimentos, los contenidos de las fracciones de arena y limo+arcilla indican al menos cuatro zonas de corrientes de retorno con material que aporta de la zona costera a la anteplaya externa, y posiblemente a la plataforma y adyacentes zonas donde existen condiciones de oleaje que favorecen el ingreso de material a la zona costera desde anteplaya externa a la playa.
5. Los contenidos de materia orgánica se asocian a las zonas donde se observa decrecimiento gradual del tamaño de grano, desde la orilla a la anteplaya externa, decrecimiento gradual de las condiciones de energía que se asocian a corrientes de retorno.
6. Los valores del contenido de materia orgánica responden a factores del medio ambiente deposicional, físicos, químicos, geológicos y biológicos, como variabilidad de intensidad de corrientes, condiciones oxidantes o reductoras, flujo de materia orgánica hacia el fondo, tamaño de grano, morfología del fondo, actividad del bentos, y otras más.

## Recomendaciones

A fin de desarrollar un seguimiento de las condiciones, se recomienda realizar operaciones de muestreo en dos épocas del año: una en invierno (destrucción del perfil de playa) y otra en verano (construcción del perfil de playa).

Durante la obtención de muestras, considerar la participación de personal del Área de Geología Marina,

DIO, que permitirá obtener información adicional de condiciones morfológicas y dinámica del oleaje adicional para un estudio de mayor detalle.

## Referencias

- DEAN W. 1974. Determination of Carbonate and Organic matter in calcareous sediments and rocks by loss on ignition: Comparison with others methods. *Jour. Sed. Petrology* 44 (1): 242-248.
- DELGADO C, GOMERO R, SALZWEDEL H, FLORES LA, CARVAJAL G. 1987. Sedimentos superficiales del margen continental peruano: Un mapa textural. *Bol. Inst. Mar Perú* 11(5):178-190.
- INGRAM R. 1971. Sieve Analysis. *Procedures in Sedimentary Petrology*. Eds. Carver, RE, de. Cap. 3. P.49-67. New York.
- JAÉN H, ORTIZ G. 1963. Geología de los cuadrángulos de la Yarada y Tacna. *Boletín* 6. Serie A. Hojas 37u, 37v.
- KRUMBEIN W, PETITJOHN F. 1938. *Manual of sedimentary petrology*. Apleton, Century and Crofts Eds. 249 pp.
- MACHARÉ J, SEBRIER M, HUAMÁN D, MERCIER J.L. 1986. Tectónica Cenozoica de la Margen Continental Peruana. En: *Bol. Soc. Geol. Perú* V. 76:45-77.
- SCHWEIGGER E. 1947. *El Litoral Peruano*. Ed. Cía. Administradora del Guano. 262 pp.
- VÁSQUEZ L, TENORIO J, CRISPÍN M, VELAZCO F, SOLÍS J. 2001. Caracterización física, química y geológica de la Bahía de Samanco. *Inf. Prog. Inst. Mar Perú*. 131. 16 p.
- VELAZCO F, SOLÍS J. 2000. Estudio sedimentológico de la Bahía de Paracas. *Inf Prog Inst Mar Perú* 133.22 pp.
- VELAZCO F. 2001. Geología marina y ambiental de la bahía del Callao y la zona frente a Ventanilla. Tesis de grado. Univ. Nac. Ingeniería.
- VELAZCO F, SOLÍS J, CHÁVEZ G. 2004. Estudio sedimentológico y geoquímico componente de la evaluación ambiental del Área de San Juanito, San Juan de Marcona a San Fernando, Nazca. Informe interno. Área de Geología Marina, UIOQ, DIO. IMARPE
- WENTWORTH C. 1922. A scale grade and class terms for clastic sediments. *Jour. Of Geol.* 30: 377-392.



# PUBLICACIONES CIENTÍFICAS SERIADAS DEL INSTITUTO DEL MAR DEL PERU (IMARPE)

Boletín IMARPE Bol Inst Mar Perú ISSN 0458-7766 (BIMP)

Informe IMARPE Inf Inst Mar Perú ISSN 0378-7702 (IIMP)

## INSTRUCCIONES A LOS AUTORES

En principio, sus páginas están abiertas a las investigaciones realizadas por el personal técnico y científico del propio Instituto del Mar del Perú (IMARPE), pero podrán aceptarse trabajos realizados en otras instituciones o laboratorios, autorizados por la Dirección Científica, previa calificación por *Revisores Especializados* y aceptación del *Comité Editorial*. Además, publica notas científicas, notas técnicas, reseñas bibliográficas, y obituarios referidos a destacados investigadores marinos, peruanos y de otras nacionalidades.

### MANUSCRITOS ORIGINALES

La solicitud para publicación de un trabajo en el IIMP deberá ser remitida a la sede del Instituto del Mar del Perú, dirigida al Director Científico. Los manuscritos deberán presentarse impresos en original, a una columna, y dos copias fotostáticas (incluyendo ilustraciones y tablas) en una sola cara en papel tamaño A4, a doble espacio y con márgenes amplios. Se acompañará además el disquete o CD. Los textos deberán seguir estrictamente la estructura adoptada en el último volumen del IIMP, o serán devueltos a los autores.

La primera página incluirá: (1) Título del trabajo (explícito, descriptivo y tan corto como sea posible), debajo, irá el título traducido al inglés; (2) **EL NOMBRE COMPLETO DEL AUTOR O LOS AUTORES** [(a) El autor debe decidir una forma definitiva de expresar su nombre, es decir no utilizar a veces los dos nombres de pila y los dos apellidos; otras veces sólo un nombre y un apellido; otras veces poner sólo iniciales para el segundo nombre y el segundo apellido; si esto cambia, en los registros y en las bases de datos, ya se trataría de autores diferentes; (b) se aconseja a los autores que generalmente utilizan sus dos apellidos, los unan mediante un guión]; también debe incluirse la dirección institucional, el domicilio y el correo electrónico, en notas al pie de página).

En las páginas siguientes, deberá ir un **RESUMEN** en español, incluyendo palabras clave y un **ABSTRACT** en inglés, incluyendo Keywords (Resúmenes en otros idiomas son opcionales). También debe incluirse el título abreviado sugerido para los encabezamientos de páginas impares. Las notas, reseñas bibliográficas, etc. no tendrán resúmenes.

Los **textos** deberán ser concisos, claros y directos, e incluirán usualmente una INTRODUCCIÓN, MATERIAL Y MÉTODOS, RESULTADOS, DISCUSIÓN (podría ser un solo capítulo, RESULTADOS Y DISCUSIÓN) Y CONCLUSIONES, además de AGRADECIMIENTOS Y REFERENCIAS DE LITERATURA.

Los nombres científicos deberán ser escritos en cursivas e irán acompañados por autor y familia cuando sean citados por primera vez en el texto. Los nombres científicos deben ser corroborados con cuidado.

Las medidas y sus abreviaturas deben corresponder al Sistema Internacional de Unidades (SI).

En las citas bibliográficas en el texto, los nombres de autores irán en letras **VERSALES**, seguidos por el año de publicación, p.ej. (GUEVARA-CARRASCO 2004), ESPINOZA Y ZEBALLOS (2004) o ESTRELLA et al. (2006).

En las **REFERENCIAS** se incluirán únicamente los artículos mencionados en el texto, y se seguirá estrictamente el formato del IIMP. Se ordenarán alfabéticamente por autor y cronológicamente para cada autor. Los títulos de publicaciones periódicas irán abreviados. Las referencias a libros o capítulos de libros deberán ser completas, incluyendo ciudad, editorial y paginación. En todos los casos, los nombres del autor principal y los colaboradores, en la relación de Referencias, se anotarán por el apellido y la inicial del nombre de pila, sin punto, solamente separado por coma; año de publicación; Título del artículo, Revista y número de páginas. Ejs.: DELGADO E, SÁNCHEZ S, CHANG F, VILLANUEVA P. 2001. Título artículo---Revista---Vol. (Núm.): pp.

En las referencias electrónicas, la norma general incluye también el nombre del autor, fecha de publicación en internet, título del artículo o documento <URL>, fecha de acceso. Ejemplos:

-BROWNING T. 1997. Embedded visuals: student desing in Wb spaces. *Kairons: A Journal foreachers of Writing in Webbd Environments* 3(1). <http://english.ttu.edu/kairos/2.1/features/browning/bridge.html>. Accessed 1997 Oct 21.

-KENNETH IA. 2000. A buddisht response to the nature of human rights. *Journal of Buddhist Ethics* 8(4). <http://www.cac.psu.edu/jbe.twocont.html>. Obtenido el 20 de febrero de 2001.

Se recomienda el tipo "arial", y su tamaño en el artículo variará de la siguiente manera:

Título en español, **14 NEGRA ALTA** (= mayúsculas) **centrado**.

Título en inglés, **12 NEGRA ALTA centrado**.

Autores: nombre, *12 cursiva blanca*; dirección 9 blanca, centrado.

**RESUMEN** y **CAPÍTULOS 12 negra, alta. Subcapítulo, 12 negra alta y baja** (mayúscula y minúscula), alineado a la izquierda. Texto en general 11 blanca, inicio de párrafos con sangría. Referencias de Literatura, en tipo 10 blanca.

### **Ilustraciones y tablas**

Las fotografías, dibujos, gráficos y mapas serán considerados como **FIGURAS**, numeradas consecutivamente con guarismos arábigos. **Se recomienda remitir las ilustraciones y tablas como imágenes digitalizadas contenidas en archivos electrónicos (separadas del archivo conteniendo el texto).**

Si se tratara de dibujos, normalmente deberán ser efectuados con tinta china sobre papel Canson y montados sobre cartulina blanca. Las fotografías (a color, o blanco y negro) impresas en papel brillante (no mate) deberán ser nítidas y contrastadas, y serán montadas en cartulina blanca; no se recomienda la remisión de diapositivas. Cuando sea pertinente, la ilustración llevará una indicación del grado de aumento o reducción con respecto al original; se recomienda utilizar una barra en escala métrica e indicar el tamaño final con que deberá aparecer en la publicación (tomando en cuenta el tamaño de página del IIMP (A4)). Toda ilustración deberá estar claramente identificada con nombres de autores, título del manuscrito y número de figura, anotando estos datos al reverso de la misma. Las leyendas para las ilustraciones, numeradas consecutivamente, irán en página aparte, luego del texto del artículo.

Las **TABLAS** deberán ir numeradas consecutivamente, con guarismos arábigos, e impresas en páginas aparte. Sus leyendas, numeradas consecutivamente, irán en página aparte, luego del texto del artículo.

25 sobretiros (o separatas) serán entregados gratuitamente a los autores; si se desea más sobretiros, el exceso les será cobrado.

### **Nota.- Debemos resaltar dos aspectos importantes:**

1. **En el Sistema Internacional de Unidades (SI):** Algunos de los símbolos actuales aceptados son: **mm** (milímetro), **cm** (centímetro), **m** (metro), **km** (kilómetro), **g** (gramo), **kg** (kilogramo), **t** (tonelada métrica), **ha** (hectárea), **mn** (milla náutica), **L** (litro), **mL** (mililitro), **W** (vatio), **kW** (kilovatio), **Hz** (hertzio), **kHz** (kilohertzio).
2. **En la escritura de cantidades:** - No debe usarse el punto decimal, sino la coma decimal. Ej. Un sol con cincuenta céntimos será S/. **1,50** (~~está mal si se escribe 1.50~~). Ver también a continuación.
  - Las cantidades de miles y millones, deben separarse por puntos, cada tres dígitos: Ejs. Oncemil quinientos soles con cincuenta céntimos será: S/. **11.500,50** (~~estará mal si se escribe 11,500.50~~)-
  - quince millones trescientos cincuenta mil y veinticinco céntimos se deberá escribir **15.350.000,25**
  - Cuando en un texto se tratan cifras con muchos ceros puede escribirse en letras. Ej. 1.000.000.000 (mejor escribir **mil millones**), o en vez de 100.000 escribir **cien mil**.

Cualquier consulta a [paguilar@imarpe.gob.pe](mailto:paguilar@imarpe.gob.pe); [vvaldivieso@imarpe.gob.pe](mailto:vvaldivieso@imarpe.gob.pe)



