



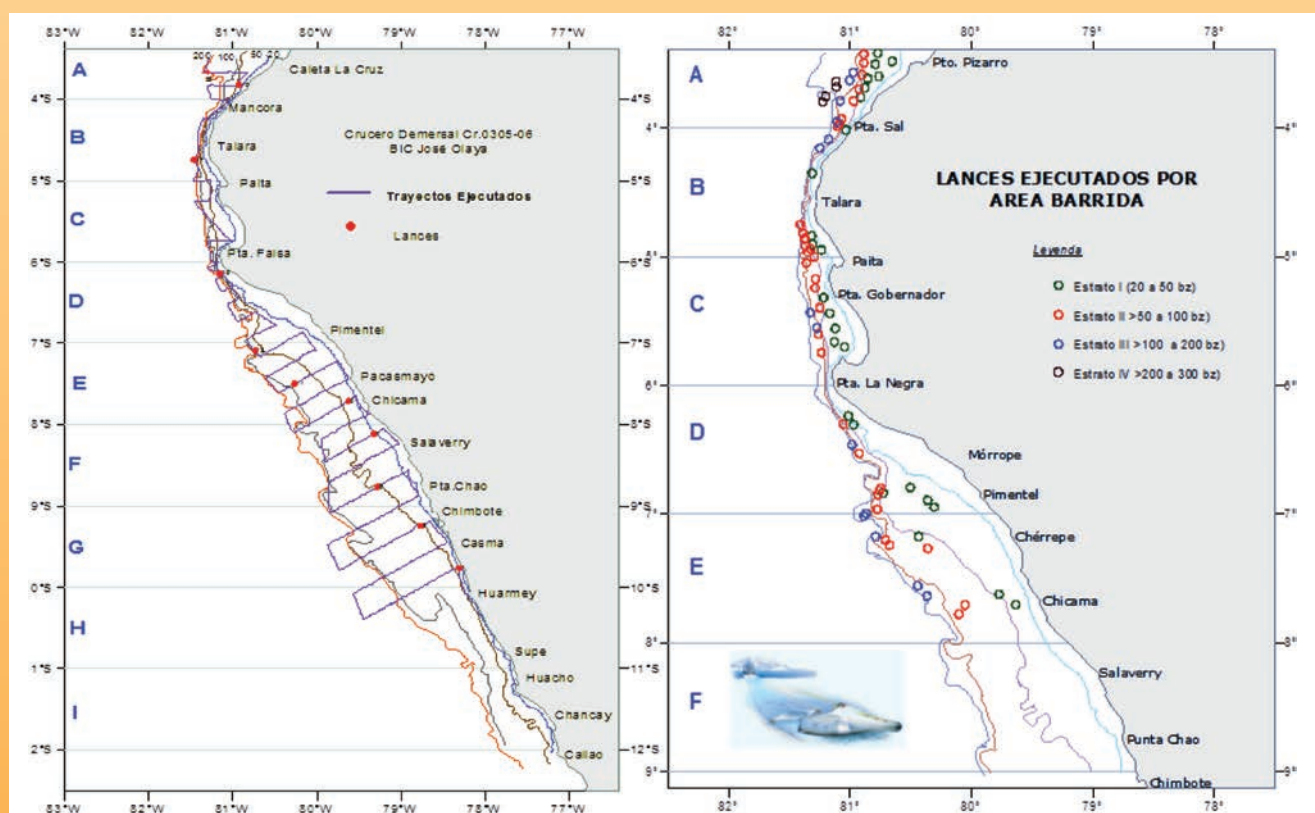
# INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

# INFORME

ISSN 0378-7702

Volumen 38, Número 2

## La merluza peruana *Merluccius gayi peruanus* Ginsburg evaluada en el otoño del 2003



Abril - Junio 2011  
Callao, Perú

# DISTRIBUCIÓN A MESOESCALA DE COMUNIDADES BENTÓNICAS Y CLOROFILA-A EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES DE ÁREAS POTENCIALES PARA RECONSTRUCCIÓN PALEOCEANOGRÁFICA. OTOÑO 2003

## DISTRIBUTION MESOSCALE BENTHIC AND CHLOROPHYLL-A IN SURFACE SEDIMENTS POTENTIAL AREAS FOR RECONSTRUCTION PALEOCEANOGRAPHERS. AUTUMN 2003

Dimitri Gutiérrez Luis Quipúzcoa Edgardo Enríquez Robert Marquina

Área de Bentos Marino. DIO. IMARPE. Apartado Postal 22, Callao

### RESUMEN

GUTIÉRREZ D, QUIPÚZCOA L, ENRÍQUEZ E, MARQUINA R. 2011. *Distribución a mesoescala de comunidades bentónicas y clorofila-a en sedimentos superficiales de áreas potenciales para reconstrucción paleoceanográfica. Otoño 2003. Inf Inst Mar Perú. 38(2): 257-265.*- Se analizó la distribución espacial de la clorofila-a y otras propiedades de los sedimentos superficiales, así como del macrobentos (>0,5 mm) durante la Primera Etapa del Crucero de Evaluación de Recursos Demersales y Paleoceanografía BIC Olaya 0305-06, del 20 al 25 de mayo 2003. La materia orgánica "fresca" de origen fitoplanctónico se distribuyó de forma heterogénea en ambas áreas, alcanzando concentraciones muy elevadas sobre la plataforma exterior y talud superior, hasta el momento, las más altas determinadas para el margen continental peruano. Se encontró una asociación positiva entre contenido de materia orgánica "fresca" superficial y presencia de sedimentos laminados o bandeados en ambas áreas. En general, el área frente a Callao presentó un mayor enriquecimiento orgánico, menores biomásas de macrofauna y *Thioploca* spp. y mayor abundancia de nemátodos que el área de Pisco. Se discuten posibles mecanismos que expliquen la retención, distribución y acumulación de materia orgánica en los sedimentos superficiales de ambas áreas. La distribución batimétrica de la macrofauna sugiere un debilitamiento de las condiciones hipóxicas frente a Pisco, a partir de los 400 m.

PALABRAS CLAVE: materia orgánica "fresca", *Thioploca*, sedimentos, Callao, Pisco, Perú, otoño 2003.

### ABSTRACT

GUTIÉRREZ D, QUIPÚZCOA L, ENRÍQUEZ E, MARQUINA R. 2011. *Distribution mesoscale benthic and chlorophyll-a in surface sediments potential areas for reconstruction paleoceanographers. Autumn 2003. Inf Inst Mar Perú. 38(2): 257-265.*- We analyzed the spatial distribution of chlorophyll-a and other properties of surface sediments, and the macrobenthos (> 0.5 mm) during the Demersal Resources Assessment and Paleoceanography RV Olaya 0305-06 Cruise, First Stage, May 20<sup>th</sup> to 25<sup>th</sup> 2003. Organic matter 'fresh' phytoplankton origin was distributed heterogeneously in both areas, reaching very high concentrations on the outer shelf and upper slope, the highest determined for the Peruvian continental margin to date. We found a positive association between organic matter content 'fresh' surface and the presence of laminated sediments or banded in both areas. In general, the area in front of Callao had a higher organic enrichment, lower biomass of macrofauna and *Thioploca* spp., and greater abundance of nematodes that area of Pisco. We discuss possible mechanisms to explain the retention, distribution and accumulation of organic matter in surface sediments of both areas. The bathymetric distribution of the macrofauna suggests a weakening of hypoxic conditions from the 400 m, in front of Pisco.

KEYWORDS: organic matter 'fresh', *Thioploca*, sediments, Callao, Pisco, Perú.

## INTRODUCCIÓN

La interacción entre la zona de mínima de oxígeno (ZMO) y la alta productividad del ecosistema de afloramiento favorecen la acumulación de material biógeno y las condiciones anóxicas en los sedimentos del margen continental peruano. En determinadas áreas, las débiles condiciones hidrodinámicas y el bajo aporte terrígeno producto de la aridez de la costa y/o del bajo transporte eólico permiten, además, la preservación en los sedimentos de indicadores de

cambios pasados del ecosistema a una alta resolución temporal.

Con el fin de determinar áreas propicias para la reconstrucción paleoceanográfica en sedimentos del margen continental, se llevó a cabo una exploración a bordo del crucero BIC Olaya 0305-06 en su primera etapa, entre el 20 y el 25 de mayo 2003, abarcando el margen continental superior comprendido entre Ancón y Pisco.

El objetivo de esta investigación fue caracterizar la distribución espa-

cial a mesoescala de componentes del bentos y de la materia orgánica "fresca" de origen fitoplanctónico en relación a las condiciones ambientales y a la topografía del fondo, para lo cual se debió estimar la distribución espacial a mesoescala del contenido de agua y clorofila-a en los sedimentos superficiales frente a Callao y frente a Pisco, así como la distribución espacial a mesoescala de la macrofauna, *Thioploca* spp. y grandes nemátodos en los sedimentos superficiales frente a Callao y frente a Pisco.

## MATERIAL Y MÉTODOS

**Área de estudio.-** La Fig. 1 muestra la posición de las 36 estaciones muestreadas (18 frente a Callao y 18 frente a Pisco). En el Anexo se adjunta la bitácora con las posiciones de cada estación, lances de draga y sacatestigos, así como la relación de muestras obtenidas. Las estaciones se localizaron entre 95 y 450 m de profundidad.

**Muestreo de sedimentos con draga.-** Se colectaron muestras de sedimentos superficiales con una draga Van Veen de 0,1 m<sup>2</sup> de cobertura. De cada una de ellas se extrajeron alícuotas de unos 100 g de sedimento húmedo, para analizar la materia orgánica total, granulometría y petrografía cualitativa. Luego las muestras fueron tamizadas con malla de 500 micras, para el análisis del macrobentos y la determinación de la abundancia relativa de escamas de peces.

**Muestreo de sedimentos con sacatestigos.-** Luego de verificar el tipo de fondo con la draga Van Veen, en las estaciones de fondo adecuadas, se colectaron dos testigos (6,3 cm de diámetro interno y 61 cm de longitud) con el sacatestigos de gravedad. Se usaron dos tipos de tubos: acrílico transparente y PVC. Antes de su uso, los tubos de PVC fueron cortados longitudinalmente en dos mitades; luego ambas mitades fueron selladas con cinta eléctrica negra, a fin de facilitar su posterior recuperación y extracción. El testigo de acrílico fue seccionado en sus primeros 2 cm con cortes de 1 cm cada uno, mientras que el testigo de PVC cerrado fue guardado luego de extraerle el agua suprayacente. Las secciones superficiales fueron cuarteadas para analizar el contenido de agua y el contenido de clorofila-a, composición de foraminíferos y composición isotópica asociada, análisis elemental de C, N y S, metales Redox-sensitivos, petrografía de materia orgánica, bacterias heterótrofas, etc.

**Análisis de laboratorio.-** La separación y determinación de los organismos de la macrofauna en el laboratorio se efectuaron siguiendo a FAUCHALD (1977), HOBSON Y BANSE (1981), contabilizándose en número y en biomasa húmeda (balanza digital de 0,0001 g de precisión) por área de dragado (0,1 m<sup>2</sup>) y con aproximación al m<sup>2</sup>. Además del macrobentos propiamente dicho, se separaron los nemátodos retenidos en el tamiz de 500 micras. Para la determinación de clorofila-a en los sedimentos superfi-

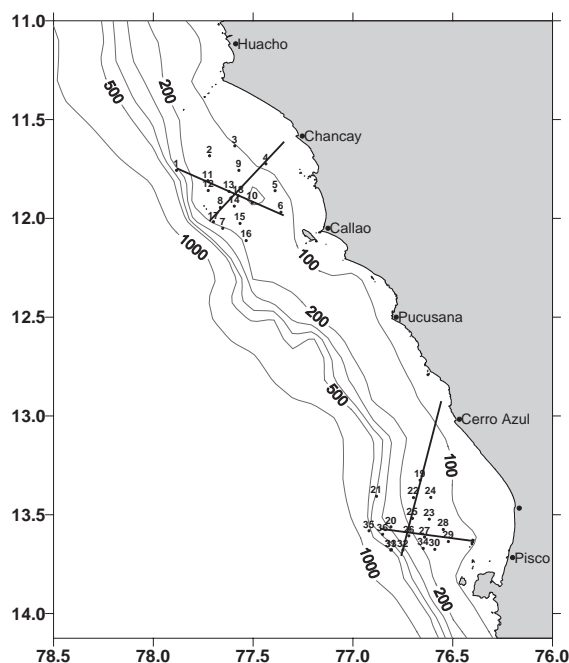


Figura 1.- Posición de las estaciones en ambas áreas de estudio. Líneas corresponden a 'trayectos' de estaciones mostradas más adelante.

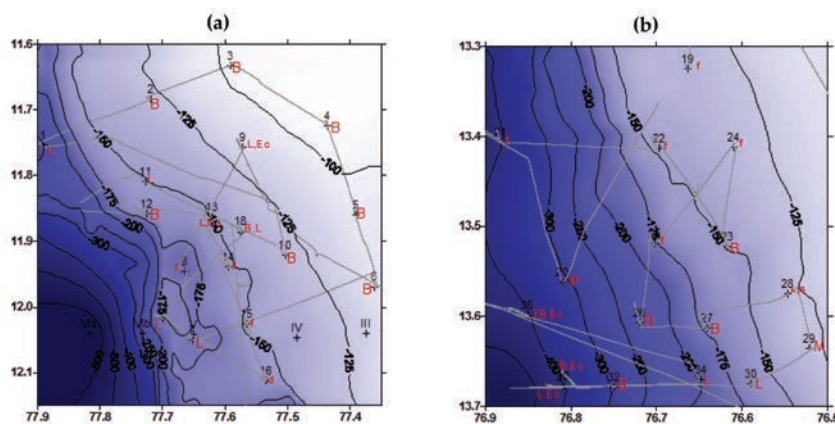


Figura 2.- Batimetría frente a Callao (a) y frente a Pisco (b). La grilla base tiene una resolución de 1 x 1 millas náuticas. Las líneas grises son los trayectos del crucero en los cuales se efectuaron los sondeos acústicos. Las letras rojas corresponden a la descripción general de los testigos abiertos por el Área de Geología Marina (F. VELAZCO y D. GUTIÉRREZ, com. pers.): B= bandeado; L= laminado; f= fosforitas; Ec= estratificación cruzada; M= bioperturbado; s= slump? ; gr= grava; d= fondo duro.

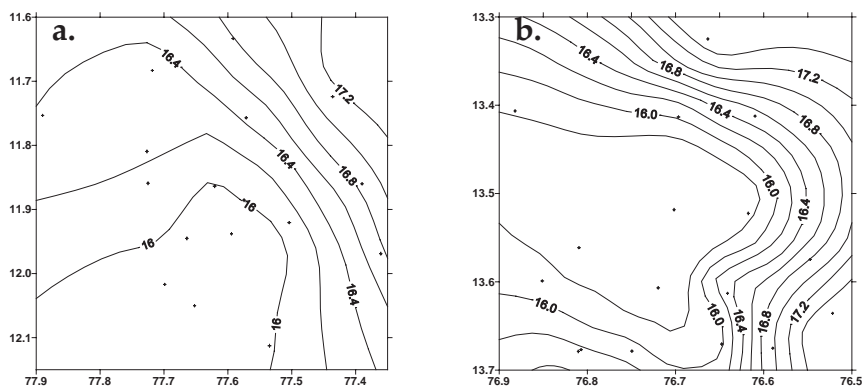


Figura 3.- Distribución de la temperatura superficial del mar frente a Callao (a) y frente a Pisco (b).

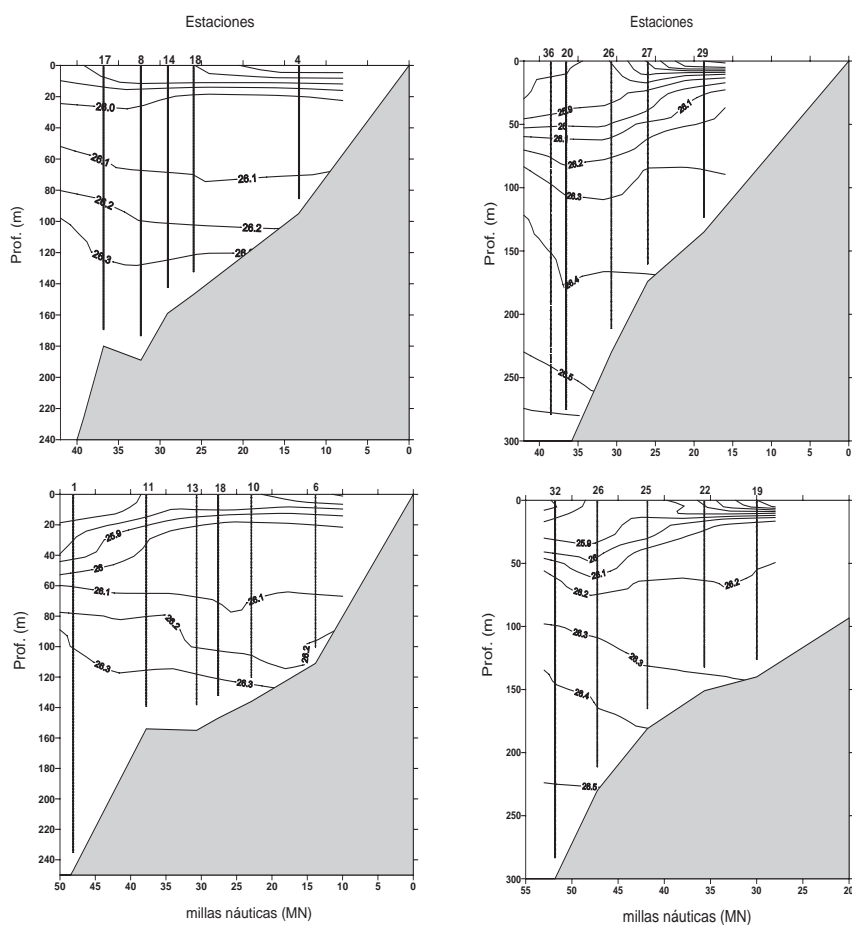


Figura 4.- Secciones verticales aproximadas de sigma-t en dos 'transectos' con mediciones de CTD (ver Fig. 1) frente a Callao ordenadas según distancia fuera de la costa (en millas náuticas).

Figura 5.- Secciones verticales aproximadas de sigma-t en dos 'transectos' con mediciones de CTD (ver Fig. 1) frente a Pisco ordenadas según distancia fuera de la costa (en millas náuticas (mn)).

ciales se utilizó el método de extracción a partir de muestras húmedas previamente congeladas y fluorimetría detallado por GUTIÉRREZ et al. (2000). El contenido de agua de los sedimentos se obtuvo por diferencia de peso, antes y después de colocar la muestra a 70 °C por 24 h. La concentración de clorofila-a se expresó en  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  de sedimento seco, usando para ello los valores de contenido de agua obtenidos paralelamente.

## RESULTADOS

### BATIMETRÍA Y CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS

**Batimetría.-** La Fig. 2 muestra la batimetría en ambas áreas de estudio. Se aprecia que frente a Callao el quiebre de la pendiente se localiza entre los 170 y 200 m; frente a Pisco la pendiente es relativamente suave y uniforme hasta los 350 m de profundidad.

**Hidrografía y oxígeno disuelto.-** La Fig. 3 muestra la distribución de la temperatura superficial frente a Callao y a Pisco. Las Figs. 4 y 5 son secciones transversales de sigma-t, que muestran la estructura vertical de la columna de agua frente a Callao y frente a Pisco, respectivamente. La comparación de diagramas T/S y T/O con datos de titulación Winkler de muestras de agua y con datos del sensor de oxígeno sugiere una grave sobreestimación del oxígeno disuelto mediante la tecnología tradicional (Fig. 6), puesto que los valores

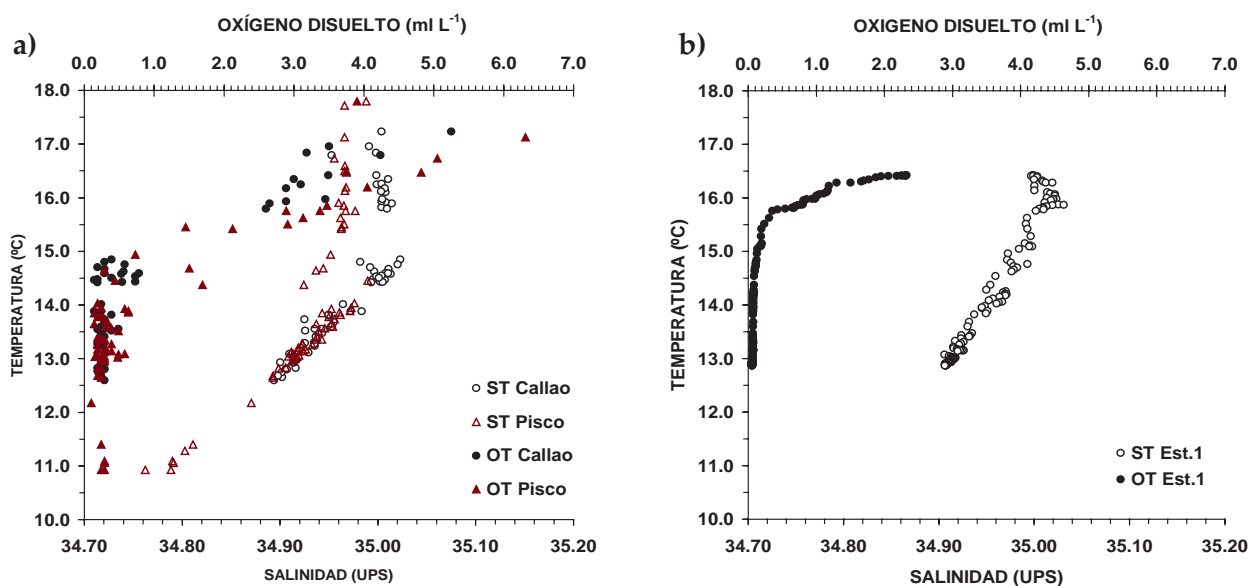


Figura 6.- a) Diagramas T-S y T-O con valores de oxígeno obtenidos mediante titulación Winkler en Callao y Pisco. b) Diagrama T-S y diagrama T-O de la estación 1, con valores de oxígeno obtenidos mediante el CTD-O.

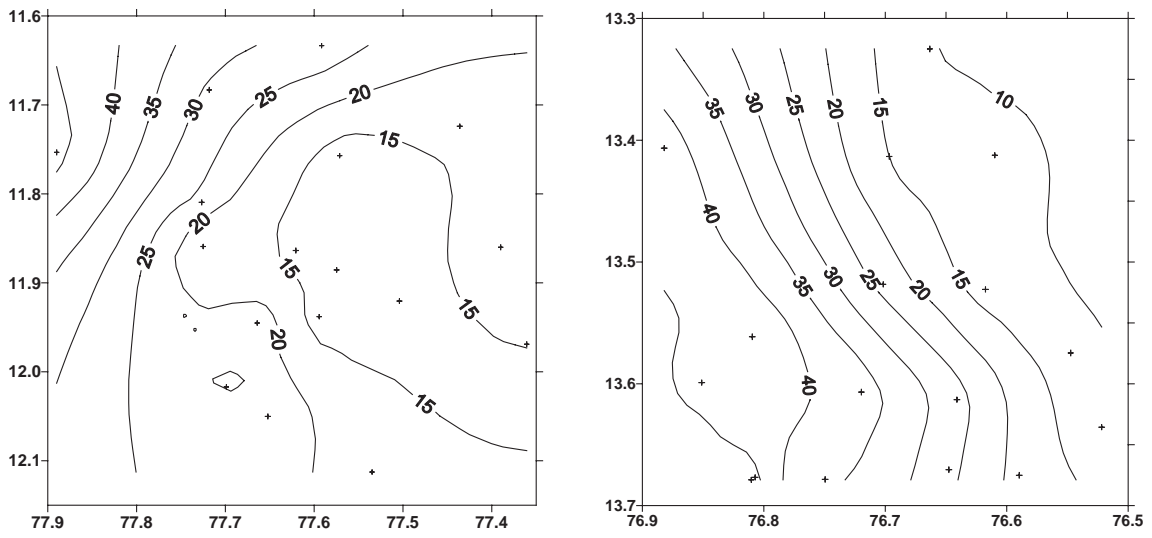


Figura 7.- Topografía de la isoterma de 15°C frente a Callao (a) y frente a Pisco (b).

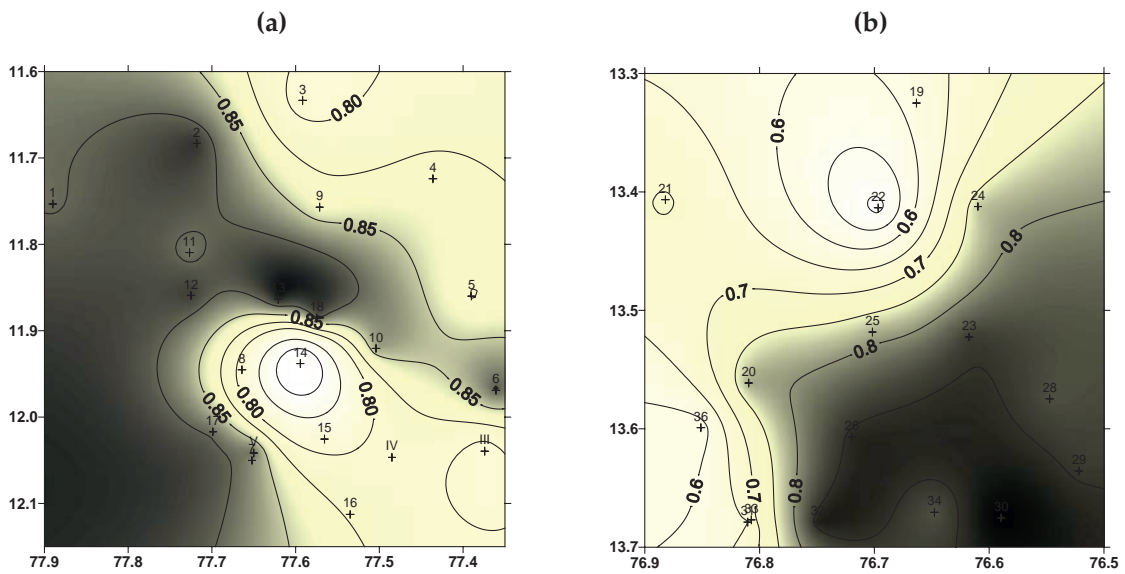


Figura 8.- Distribución del contenido de agua en el sedimento superficial (0-1 cm) frente a Callao (a) y frente a Pisco (b).

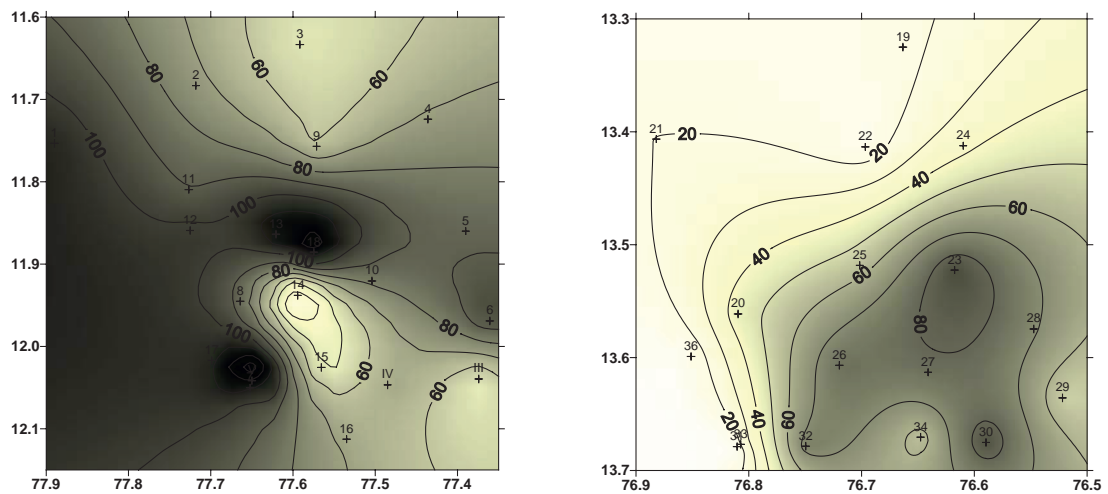


Figura 9.- Distribución del contenido de clorofila-a ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) en el sedimento superficial (0-1 cm) frente a Callao (a) y frente a Pisco (b).

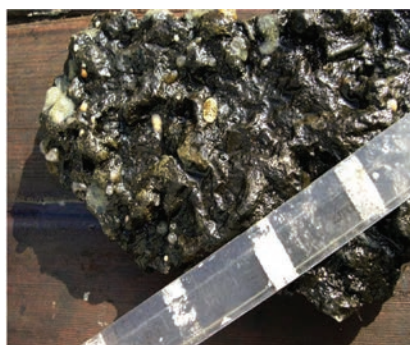


Figura 10.- Placa de fosforita recolectada con draga Van Veen en la estación 35 (446 m), frente a Pisco. Se aprecia la presencia de abundante epifauna.

mínimos obtenidos mediante esta última difícilmente fueron inferiores a  $0,2 \text{ mL.L}^{-1}$ , aun cuando incluyen varias mediciones efectuadas cerca al fondo en el centro de la mínima de oxígeno (300–450 m). Por ello, considerando la estrecha relación del oxígeno versus la temperatura asociada a la mezcla de las masas de agua Ecuatoriales Subsuperficiales y aguas de mezcla, se estimó la topografía de la isoterma de  $15^\circ \text{C}$  como un mejor indicador de la topografía del borde superior de la mínima de oxígeno (aprox.  $0,2 \text{ mL.L}^{-1}$ ), la que se muestra en la Fig. 7. En general, los resultados preliminares indican que las aguas ecuatoriales subsuperficiales dominaron gran parte de la columna de agua ( $>50 \text{ m}$ ), alimentando un afloramiento intenso en ambas áreas durante el período del muestreo. La topografía de la isoterma de  $15^\circ \text{C}$  y la distribución horizontal de oxígeno disuelto a diferentes niveles de profundidad también sugiere una posición más somera del borde de la mínima de oxígeno frente a Pisco que frente a Callao.

#### CONTENIDO DE AGUA Y CLOROFILA-A EN SEDIMENTOS SUPERFICIALES

**Contenido de agua.**- Frente a Callao, el contenido de agua fluctuó entre  $0,61$  y  $0,89$ . Se apreció una cuña de sedimentos con bajo contenido de agua ( $<0,80$ ) que coincidió con el área donde el sedimento se mostró más resistente al sacatestigos de gravedad (Fig. 8a). Esta cuña se distribuye en una orientación SE a NW, posiblemente prolongándose hasta Islas Hormigas. Los sedimentos con mayor contenido de agua ( $>0,85$ ) se encontraron al sur y al NE de Islas Hormigas, a más de  $150 \text{ m}$  de profundidad. Frente a Pisco, el contenido

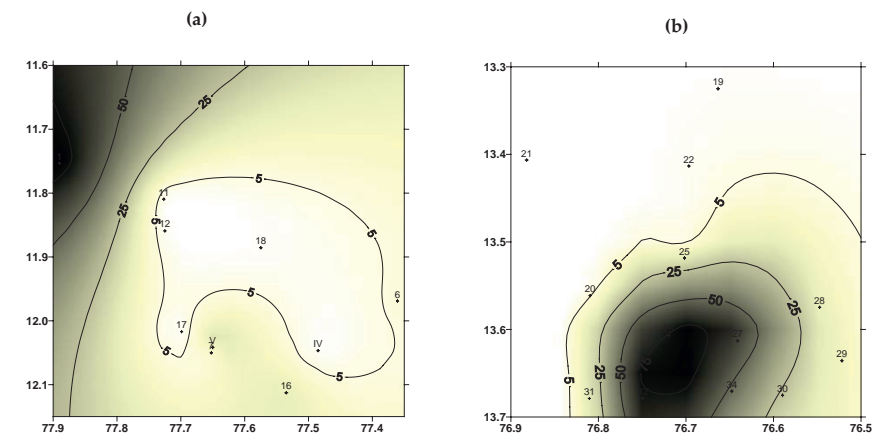


Figura 11.- Distribución de la biomasa (peso húmedo) de *Thioploca* spp. ( $\text{g.m}^{-2}$ ) en los sedimentos frente a Callao (a) y frente a Pisco (b).

de agua en el sedimento superficial varió entre  $0,48$  y  $0,88$ , y al igual que frente a Callao, la distribución de la propiedad no estuvo directamente relacionada con la profundidad (Fig. 8b). En la parte norte se observaron los menores contenidos de agua ( $<0,75$ ), coincidiendo con texturas gruesas, resistencia al sacatestigos de gravedad y presencia de concreciones o de nódulos de fosforita. En la parte sur y a profundidades menores a  $300 \text{ m}$ , se determinaron los contenidos de agua más altos ( $>0,80$ ).

**Clorofila-a.**- La distribución de clorofila-a en los sedimentos superficiales tendió a mostrar los mismos patrones espaciales que el contenido de agua. Frente a Callao, la concentración superficial de clorofila-a varió entre  $17,3$  y  $127,5 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$ ; los núcleos de mayor concentración se localizaron nuevamente al sur y al noreste de Isla Hormigas entre los  $150$  y  $190 \text{ m}$  de profundidad (Fig. 9a). Frente a Pisco, la concentración superficial de clorofila-a estuvo en el rango de  $7,6$  a  $87,5 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$  y los más altos valores se ubicaron en la porción sureste del área de estudio a menos de  $300 \text{ m}$  de profundidad (Fig. 9b)

#### COMUNIDADES BENTÓNICAS

**Macrofauna.**- La abundancia y la biomasa de la macrofauna mostraron en general valores muy pobres en ambas localidades (Tabla 1). Frente a Callao, la biomasa varió entre  $0,00$  y  $0,16 \text{ g.m}^{-2}$ ; frente a Pisco varió entre  $0,00$  y  $4,05 \text{ g.m}^{-2}$ . De las 11 estaciones analizadas frente a Callao y de las 12 estaciones analizadas frente a Pisco, no se encontró macrofauna en 4 frente a Callao y Pisco, respectivamente. La macrofauna presente estuvo compuesta

casi en su totalidad por poliquetos, siendo el más frecuente *Paraprionospio pinnata*. De las 15 estaciones positivas, solamente en tres de ellas se encontraron crustáceos y en ninguna de ellas otro grupo taxonómico mayor. Frente a Pisco, las mayores biomásas ( $>1 \text{ g.m}^{-2}$ ) se determinaron en las estaciones más profundas ( $>400 \text{ m}$ ). Aunque en tres de las cinco estaciones a más de  $400 \text{ m}$  de profundidad no se colectaron muestras para macrofauna, se observó a bordo mayor presencia y diversidad de macrofauna en las muestras de sedimento. En la estación 35 (446 m), se colectó una placa de fosforita, totalmente colonizada por epifauna bentónica por ambos lados, destacando poliquetos serpúlidos, polioplacóforos y antozoarios (Fig. 10).

**Thioploca spp.**- La biomasa de *Thioploca* spp. osciló entre  $0,02$  y  $83,31 \text{ g.m}^{-2}$  frente a Callao, y entre  $0,00$  y  $90,04 \text{ g.m}^{-2}$  frente a Pisco (Tabla 1). Frente a Callao el valor máximo de biomasa se determinó en la estación 1, localizada a  $247 \text{ m}$  de profundidad, mientras que los valores más bajos se ubicaron en la porción central del área de estudio. En cambio, frente a Pisco en términos generales las máximas biomásas coincidieron espacialmente con las concentraciones más altas de clorofila-a en los sedimentos superficiales (Fig. 11).

**Nemátodos.**- Se recuperaron abundantes nemátodos con la malla de  $500 \text{ micras}$ . Frente a Callao, las abundancias variaron entre  $160$  y  $2960 \text{ ind.m}^{-2}$ , mientras que frente a Pisco oscilaron entre  $0$  y  $1150 \text{ ind.m}^{-2}$ . En ambas áreas de estudio, la mayor abundancia se localizó periféricamente a los focos de mayor contenido de agua y de clorofila-a superficiales.

Tabla 1. Principales propiedades del bentos y de los sedimentos sobre el margen continental superior. Datos del BIC Olaya 0305 (primera etapa) y (\*) de estaciones fijas frente a Callao, febrero/junio 2003 (\*\*). En base a inspección directa y de radiografías de rayos X de 1-2 testigos (AGM). (\*\*\*) En otro testigo de la misma estación se observaron laminaciones y estratificación cruzada.

Area	Estaciones	Latitud	Longitud	Profundidad (m)	Cont. Agua	Clorofila "a" ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Feop: Cl-a	<i>Thioploca</i> ( $\text{g m}^{-2}$ )	Macrofauna ( $\text{g m}^{-2}$ )	Nemátodos (Nro.ind. $\text{m}^{-2}$ )	Observaciones **
Callao	1	-11.75	-77.89	247	0.87	107.70	4.15	83.31	0.00	1500	con laminaciones
	2	-11.68	-77.72	133	0.89	72.99	7.07				bandeado
	3	-11.63	-77.59	101	0.79	51.67	6.90				bandeado
	4	-11.72	-77.44	95	0.83	71.46	7.89				bandeado
	5	-11.86	-77.39	107	0.82	87.12	7.38				bandeado
	6	-11.97	-77.36	111	0.88	98.12	6.63	6.23	0.00	540	bandeado
	7	-12.05	-77.65	180	0.86	103.42	7.16	6.17	0.00	600	con laminaciones
	8	-11.95	-77.66	189							Fosforitas
	9	-11.76	-77.57	118	0.84	59.70	6.48				láminas/estratíf. cruzada
	10	-11.92	-77.50	136	0.86	82.24	10.10				bandeado
	11	-11.81	-77.73	154	0.87	89.69	7.92	0.36	0.16	420	con laminaciones
	12	-11.86	-77.73	163	0.89	102.15	6.43	1.44	0.01	1630	bandeado
	13	-11.86	-77.62	155	0.89	117.95	6.09				láminas/estratíf. cruzada
	14	-11.94	-77.59	159	0.61	17.27	7.43				Fosforitas
	15	-12.03	-77.57	153	0.79	46.71					Fosforitas
	16	-12.11	-77.53	161				15.18	0.10	430	fondo duro
	17	-12.02	-77.70	180	0.87	106.49	7.24	0.26	0.01	680	con laminaciones
	18	-11.89	-77.57	147	0.88	127.47	5.99	0.69	0.00	370	bandeado/laminado
	V*	-12.04	-77.65	179	0.87	158.02	6.41	0.02	0.01	2280	con laminaciones
	IV*	-12.05	-77.49	145	0.81	68.93	7.33	22.41	0.02	2960	sin datos
III*	-12.04	-77.37	119	0.79	49.44	6.38	5.39	0.08	160	sin datos	
n				21	19	19	18	11	11	11	
Prom.				149.14	0.84	85.19	6.94	12.86	0.04	1052	
D.E.				35.55	0.07	33.08	1.17	24.42	0.05	913	
Pisco	19	-13.33	-76.66	140				1.12	0.00	0	Fosforitas
	20	-13.56	-76.81	310	0.79	45.08	6.85	1.13	0.01	320	grava
	21	-13.41	-76.88	411	0.71	20.23	3.97	0.005	3.96	550	Fosforitas
	22	-13.41	-76.70	151	0.48	13.27	8.72	2.175	0	370	Fosforitas
	23	-13.52	-76.62	152	0.84	87.50	9.55				bandeado
	24	-13.41	-76.61	137	0.77	37.25	9.89				Fosforitas
	25	-13.52	-76.70	181	0.79	55.77	8.13	6.399	0.00	900	Fosforitas
	26	-13.61	-76.72	230	0.85	77.16	9.66	90.038	0.04	50	bandeado
	27	-13.61	-76.64	174	0.86	77.63	7.78	72.2	0.01	80	bandeado
	28	-13.57	-76.55	135	0.83	71.13	10.78	11.957	0.00	640	laminado/ slump?
	29	-13.64	-76.52	135	0.85	52.66	10.38	10.683	0.87	1150	bioperturbado
	30	-13.68	-76.59	168	0.88	85.86	7.76	18.557	0.07	450	con laminaciones***
	31	-13.68	-76.81	425	0.65	7.61	13.03	0	4.05	0	láminas/estratíf. cruzada
	32	-13.68	-76.75	303	0.86	73.19	13.70	88.69	0.00	400	bandeado
	33	-13.68	-76.81	411	0.69	22.81	8.71				bandeado/estratíf. cruzada
	34	-13.67	-76.65	201	0.83	56.35	7.36	38.844	0.31	570	con laminaciones
	35	-13.58	-76.92	450							Fosforitas
	36	-13.60	-76.85	408	0.58	12.72	6.04				fost./band./estratíf. cruzada
n				18	16	16	16	13	13	13	
Prom.				251.22	0.77	49.76	8.90	26.29	0.72	422	
D.E.				119.95	0.12	27.82	2.45	34.59	1.48	350	

Tabla 2. Pruebas de U-Mann Whitney entre las áreas de Callao y Pisco para diferentes propiedades del sedimento y componentes del bentos.

	Suma Rangos Callao	Suma Rangos Pisco	U	Z ajustado	N Callao	N Pisco	valor p exacto
Contenido de Agua	416.0	214.0	78.0	2.45	19	16	0.014
Clorofila "a" ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	429.0	201.0	65.0	2.88	19	16	0.003
Razón Feop: Cl-a	232.0	363.0	61.0	-2.86	18	16	0.003
<i>Thioploca</i> ( $\text{g m}^{-2}$ )	121.0	179.0	55.0	-0.96	11	13	0.361
Macrofauna ( $\text{g m}^{-2}$ )	127.0	173.0	61.0	-0.62	11	13	0.569
Nematodos (Nro. $\text{m}^{-2}$ )	170.5	129.5	38.5	1.91	11	13	0.055

Tabla 3. Análisis de varianza de Kruskal Wallis y grupos homogéneos ( $\alpha=0.05$ ) según la prueba de U-Mann Whitney del contenido de agua y contenido de clorofila "a", según tipo de estructuras sedimentarias (laminadas, bandeadas o con fosforitas).

Tipo de estructuras	N	media	desv. est.	suma rangos H (2, N= 31)	valor p	Grupos homogéneos
<b>CONT. AGUA</b>						
Con laminaciones	12	0.85	0.07	245.0000	10.65703	0.0049
Bandeado sin lam.	13	0.82	0.09	217.0000		
Fosforitas	6	0.69	0.12	34.0000		L B F
<b>CLOROFILA "a"</b>						
Con laminaciones	12	90.95	39.05	251.0000	10.42722	0.0052
Bandeado sin lam.	13	70.52	26.69	208.0000		
Fosforitas	6	31.75	17.40	37.0000		L B F

**Estadística básica.**- La Tabla 1 también muestra los valores promedio y sus respectivas desviaciones estándar de todos los parámetros estimados. El área de estudio frente a Callao fue significativamente más somera y presentó sedimentos significativamente más ricos y de contenido más 'fresco' de materia orgánica de origen fitoplanctónico, a juzgar por los valores de clorofila-a y de razón feopigmentos: clorofila-a en el primer centímetro (Tabla 2). Las estaciones con sedimentos laminados o bandeados presentaron concentraciones significativamente mayores de clorofila-a en la capa superficial respecto a las demás estaciones (Tabla 3). En cuanto al bentos, no se encontraron diferencias significativas entre ambas áreas, debido a la fuerte variabilidad interna. No obstante las biomásas de *Thioploca* y de macrofauna tendieron a ser mayores en Pisco, mientras que la abundancia de nemátodos tendió a ser mayor en Callao.

## DISCUSIÓN

### HIDRODINÁMICA Y AMBIENTES SEDIMENTARIOS

Las concentraciones de clorofila-a encontradas en la superficie de los sedimentos superan los niveles encontrados sobre el margen continental de otras partes del globo (LEVIN et al. 1991, 2000; SUN et al. 1994, RADZIEJEWSKA et al. 1996), incluidos aquellos determinados para la plataforma continental frente a Concepción, la principal área de surgencia de la costa chilena (GUTIÉRREZ et al. 2000) y son los más altos encontrados en el margen continental peruano hasta el momento (ABM, datos no publicados). Ello coincide con la alta productividad biológica de la zona de estudio y con las condiciones permanentes de hipoxia en años No Niño en la costa central peruana. Por otra parte, la pobre presencia de macrofauna y la dominancia de *Thioploca* en biomasa es una característica de los fondos sublitorales intersectados por la ZMO en el Pacífico Sudeste (GALLARDO 1977, HENRICHES y FARRINGTON 1984; ARNTZ et al. 1991).

Los datos hidrográficos indican que las aguas afloradas se presentaron sobre la plataforma exterior y siguieron un patrón ciclónico de circulación frente a ambas áreas, especialmente frente a Pisco (Figs. 4 y 5). Las secciones transversales que se presentan, además, sugieren una circulación de dos capas, en la que la capa superior ocupaba los primeros 25 m de la columna de agua. Dada la pequeña escala espacial donde se manifiestan estas características es posible que estas correspondan a plumas de afloramiento originadas al sur de cada área. Esta hipótesis debe ser examinada con nuevas observaciones de mayor escala espacial. Ello permitiría comprobar la recurrencia de estas características, y examinar el papel de la topografía costera (Península de Paracas, Isla San Lorenzo) en generar este tipo de circulación local. De cualquier modo, los giros favorecen la retención de aguas afloradas y de la floración fitoplanctónica en las mismas áreas. Dada la configuración de la plataforma, la circulación de dos capas también favorece indirectamente la retención de materia orgánica particulada exportada desde la capa eufótica sobre la plataforma exterior (Fig. 12). Este proceso puede ser uno de los factores que explica las altas concentraciones de clorofila-a alcan-

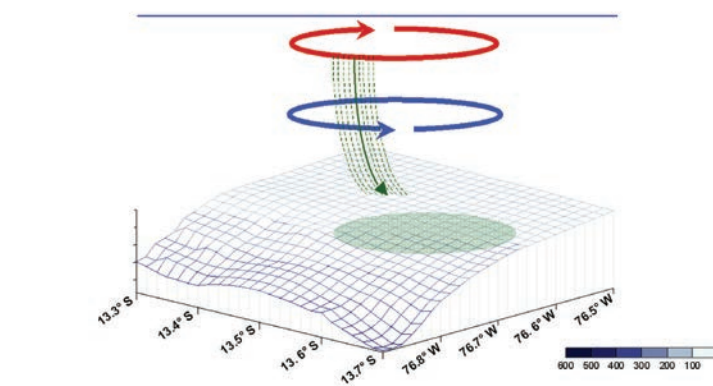


Figura 12.- Esquema del posible mecanismo de retención y acumulación de partículas orgánicas en la plataforma exterior y borde del talud frente a Pisco. La escala vertical de la columna de agua está exagerada y se indican los posibles patrones de circulación horaria (superficie) y antihoraria (subsuperficie).

zadas en los sedimentos superficiales de ambas áreas, especialmente frente a Pisco.

En el caso de Callao, la distribución del contenido de clorofila-a en los sedimentos superficiales sugiere la existencia de otros factores importantes en la acumulación de material particulado sobre la plataforma. Las estaciones que mostraron menor contenido de agua y de clorofila-a superficial, presentaron fondo duro con presencia de nódulos y/o incrustaciones de fosforita en la capa superficial. La formación actual *in situ* y la preservación de nódulos de fosforita es posible en ambientes severamente deficientes en oxígeno con bajas tasas de acumulación de sedimento (FROELICH et al. 1988). Si la circulación superficial local favorece la retención de partículas en la capa eufótica, entonces una hipótesis para explicar la heterogeneidad de las propiedades del sedimento superficial es que la topografía del fondo sea irregular y favorezca procesos erosivos reduciendo la sedimentación neta de material. Sin embargo, al comparar la batimetría a partir de los sondeos *in situ* con la distribución de propiedades del sedimento, no se observa una correlación evidente. Será necesario un levantamiento batimétrico de mayor resolución y un muestreo hidrográfico y sedimentológico de mayor escala espacial para comprender mejor la distribución de los sedimentos superficiales en esta área.

### ENRIQUECIMIENTO ORGÁNICO Y MACROBENTOS

Las diferencias entre ambas áreas en cuanto al contenido de materia orgánica "fresca" en los sedimen-

tos superficiales, pueden explicar las tendencias observadas en las características del macrobentos. Es conocido que la bacteria filamentosa *Thioploca* presenta un comportamiento microaerófilo (JØRGENSEN y GALLARDO 1999). Además, experimentos en laboratorio han demostrado que los tricomas de *Thioploca* presentan quimiotaxia negativa a altas concentraciones de  $H_2S$  (HUETTEL et al. 1996), lo cual coincide con la ausencia de estos organismos en fondos fuertemente sulfurosos (JØRGENSEN y GALLARDO 1999). GUTIÉRREZ et al. (2000) encontraron una estrecha correlación entre la concentración de materia orgánica "fresca" y la acumulación de  $H_2S$  en el agua intersticial de sedimentos blandos en el área de afloramiento frente a Concepción, Chile. Si bien no se hicieron mediciones de  $H_2S$  durante el crucero, sí se advirtió un fuerte olor a  $H_2S$  en varios de los testigos colectados frente a Callao. Las condiciones de mayor enriquecimiento orgánico de Callao también explicarían la mayor defaunación frente a Callao, ya que es coherente con la menor tolerancia de los metazoarios a la hipoxia en presencia de  $H_2S$  (DÍAZ y ROSENBERG 1995). Por último también coinciden con la mayor abundancia de nemátodos, ya que estos organismos tienden a ser más tolerantes a la anoxia (NEIRA et al. 2001). Cabe indicar que, en un transecto a través de la zona de mínima de oxígeno frente a Callao, LEVIN et al. (2002) encontraron que la abundancia de nemátodos varió en forma independiente de la concentración de oxígeno disuelto sobre el fondo, mientras que guardó alta correlación positiva con el contenido de carbono orgánico en la superficie de los sedimentos.



La limitada precisión y exactitud de las mediciones directas de oxígeno disuelto durante el crucero impiden analizar adecuadamente la relación entre la oxigenación y las comunidades bentónicas. Sin embargo, los mayores niveles de biomasa y de diversidad macrofaunales en las estaciones más profundas (400-450 m) frente a Pisco sugieren una relajación de las condiciones hipóxicas. Frente a Callao, LEVIN et al. (2002) observaron un fuerte aumento en diversidad y biomasa a 560 m, sobre el límite inferior de la ZMO ( $0,26 \text{ mL.L}^{-1}$ ). Este mismo comportamiento en otras ZMO ha llevado a plantear un umbral de concentración de oxígeno de  $0,3 \text{ mL.L}^{-1}$  debajo del cual existe una fuerte limitación de la biomasa macrofaunal y de la bioperturbación de los sedimentos (LEVIN et al. 1991; GUTIÉRREZ 2000). Se ha descrito que la ZMO tiende a hacerse más somera y pierde espesor de norte a sur a partir de los  $10^{\circ}\text{S}$  (WOOSTER y GILMARTIN 1961). Las observaciones hidrográficas muestran una posición más somera de la topografía de la isoterma de  $15^{\circ}\text{C}$ , muy asociada al límite de la ZMO, frente a Pisco. Un espesor menor de la ZMO frente a Pisco podría explicar el patrón batimétrico de la biomasa de la macrofauna. Alternativamente, también es posible que una oxigenación reciente haya permitido una rápida colonización de los sedimentos superficiales. Esta hipótesis se funda en que en la estación 31 (425 m), simultáneamente a la macrofauna, en su mayoría compuesta por el poliqueto tubícola *Piromis* sp., se observaron claras laminaciones debajo de los 2 a 3 cm superficiales (Fig. 13). Un caso similar fue descrito por LEVIN et al. (2002), quienes a 305 m frente a Callao encontraron una capa superficial (3-4 cm) de sedimento homogéneo con abundante oligoquetos, bajo la cual se encontraban láminas muy marcadas.

## CONCLUSIONES

1. La materia orgánica "fresca" de origen fitoplanctónico (MOF) se distribuyó de forma heterogénea en Callao y Pisco, alcanzando concentraciones muy elevadas sobre la plataforma exterior y talud superior, las más altas determinadas para el margen continental peruano hasta el momento.
2. La distribución espacial de MOF frente a Pisco, y el patrón de circulación de la celda de aguas afloradas durante el crucero, su-

gieren un mecanismo de retención de material particulado que favorece la acumulación de MOF sobre los sedimentos en la zona que presentó las mayores concentraciones.

3. Frente a Callao, la distribución espacial de MOF es más compleja sugiriendo la influencia de otros factores, tales como la topografía e hidrodinámica del fondo.
4. Existe una asociación positiva entre contenido de materia orgánica "fresca" superficial y presencia de sedimentos laminados o bandeados en ambas áreas.
5. En general, el área frente a Callao presenta un mayor enriquecimiento orgánico y tiende a presentar menores biomasa de macrofauna y *Thioploca* spp. y mayor abundancia de nemátodes que el área de Pisco.
6. La distribución batimétrica de la macrofauna sugiere un debilitamiento de las condiciones hipóxicas a partir de los 400 m frente a Pisco.

## REFERENCIAS

- ARNTZ W, TARAZONA J, GALLARDO VA, FLORES LA, SALZWEDEL H. 1991. Benthos communities in oxygen deficient shelf and upper slope areas of the Peruvian and Chilean Pacific coast, and changes caused by El Niño. En: R.V. Tyson y T.H. Pearson (Eds.). Modern and ancient continental shelf anoxia. Geol. Soc. Spec. Publ. 58: 131-154.
- DÍAZ RJ, ROSENBERG R. 1995. Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioral responses of benthic macrofauna. Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev., 33: 245-303.
- FAUCHALD K. 1977. The Polychaete worms. Definitions and keys to the order, families and genera. University of Southern California. Science Series 28: 1-188.
- FROELICH PN, ARHUR MA, BURNETT WC, DEAKIN M, HENSLEY V, JAHNKE R, KAUL L, KIM K-H, ROE K, SOUTAR A, VATHAKANON C. 1988. Early diagenesis of organic matter in Peru continental margin sediments: phosphorite precipitation. Marine Geology, 80, 309-343.
- GALLARDO VA. 1977. Large benthic microbial communities in sulfide biota under Peru-Chile subsurface countercurrent. Nature (London) 268:331-332.
- GUTIÉRREZ D, GALLARDO VA, MAYOR S, NEIRA C, VÁSQUEZ C, SELLANES J, RIVAS M, SOTO A, CARRASCO F, BALTAZAR M. 2000. Effects of dissolved oxygen and fresh organic matter on the bioturbation potential of macrofauna in sublittoral sediments off central Chile, during the 1997-98 El Niño. Marine Ecology Progress Series, 202:81-99.
- GUTIÉRREZ D. 2000. Bioperturbación y macrofauna en fondos sublitorales hipóxicos de un área de surgencias, Chile central ( $36^{\circ}30'\text{S}$ ): Variación estacional y espacial en el período 1997-1999. Tesis para optar el grado de Doctor en Oceanografía. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, 221 pp.
- HENRICH M, FARRINGTON J W. 1984. Peru upwelling region sediments near  $15^{\circ}\text{S}$ . 1. Remineralization and accumulation of organic matter. Limnol. Oceanogr., 29(1):1-20.
- HOBSON KD, BANSEN K. 1981. Sedentary and archannelid polychaetes of British Columbia and Washington. Bull. Fish. Aquat. Sci. 209: 1-144.



Figura 13.- Radiografía de rayos X del testigo PIGC030523-47, colectado en la estación 31 (438 m), mostrando la capa superficial colonizada por tubos de poliquetos (*Piromis* sp.) sobre los sedimentos laminados.

- HUETTEL M, FORSTER S, KLÖSSER S, FOS-  
SING H. 1996. Vertical migration in  
sediment-dwelling sulfur bacteria  
*Thioploca* spp. in overcoming diffu-  
sion limitations. *Appl. Environ.  
Microbiology*, 62:1863-1872.
- JØRGENSEN BB, GALLARDO VA. 1999.  
*Thioploca* spp.: filamentous sul-  
fur bacteria with nitrate vacuo-  
les. *FEMS Microbiology Ecology*,  
28:301-313.
- LEVIN LA, HUGGET C, WISHNER K. 1991.  
Control of deep-sea benthic com-  
munity structure by oxygen and  
organic-matter gradients in the  
eastern Pacific Ocean. *J. Mar. Res.*,  
49:763-800.
- LEVIN LA, GAGE JD, MARTIN C, LA-  
MONT PA. 2000. Macrobenthic com-  
munity structure associated within  
and beneath the oxygen minimum  
zone, NW Arabian Sea. *Deep-Sea  
Research II*, 47: 189-226.
- LEVIN LA, GUTIÉRREZ D, RATHBURN A,  
NEIRA C, SELLANES J, MUÑOZ P, GA-  
LLARDO VA, SALAMANCA M. 2002.  
Benthic processes on the Peru Mar-  
gin: A transect across the oxygen  
minimum zone during the 1997-98  
El Niño. *Progress in Oceanogra-  
phy*, 53:1-27.
- NEIRA C, SELLANES J, LEVIN LA, AR-  
NTZ WE. 2001. Meiofaunal distri-  
butions on the Peru margin: re-  
lationship to oxygen and organic  
matter availability. *DEEP-SEA RES. I*,  
48:2453-2472.
- RADZIEJEWSKA T, FLEEGER JW, RABALAI-  
S N, CARMAN KR. 1996. Meiofauna  
and sediment chloroplastic pig-  
ments on the continental shelf off  
Louisiana, USA. *Cont. Shelf Res.*,  
16(13): 1699-1723.
- SUN MY, ALLER RC, LEE C. 1994. Spa-  
tial and temporal distributions of  
sedimentary chloropigments as  
indicators of benthic processes in  
Long Island Sound. *J. Mar. Res.*, 52:  
149-176.
- WOOSTER W, GILMARTIN M. 1961. The  
Peru-Chile undercurrent. *J. Mar.  
Res.*, 19, 97-122.