

# CONDICIONES AMBIENTALES Y SEDIMENTOLÓGICAS DE LA BAHÍA FERROL, CHIMBOTE. JUNIO 2002

## ENVIRONMENTAL AND SEDIMENTOLOGICAL CONDITIONS IN THE FERROL BAY, CHIMBOTE (JUNE 2002)

Francisco Ganoza      Manuel Guzmán      Víctor García  
Edgardo Enríquez      Federico Velazco

### RESUMEN

GANOZA F, GUZMÁN M, GARCÍA V, ENRÍQUEZ E, VELAZCO F. 2020. *Condiciones ambientales y sedimentológicas de la Bahía Ferrol, Chimbote. Junio 2002. Bol Inst Mar Perú. 35(2): 304-334.*- La Bahía Ferrol-Chimbote está ubicada entre 9°4'30"S y 9°9'0"S; en junio 2002 se registró las características sedimentológicas de la bahía y espesor del fango en fondo. Se rastreó 12,16 mn<sup>2</sup>, el espesor del fango alcanzó hasta 2,5 metros con volumen estimado 54.705.671 m<sup>3</sup>. En superficie el oxígeno, sólidos suspendidos totales y pH estuvieron dentro de los requisitos de calidad acuática de la Ley General de Aguas (LGA) en las Clases V, VI: aguas de zonas de pesca y preservación de fauna; en las estaciones 9 y 12 se detectaron estados anóxicos. En fondo el 95% de los valores no superaron 2,1 mL/L (3,0 mg/L) establecidos como límites en la Clase IV (LGA). En promedio la concentración de sulfuro de hidrógeno fue 0,73 µg-at H<sub>2</sub>S-S/L y el máximo valor (1,13 µg-at H<sub>2</sub>S-S/L) se detectó en la estación 5. El valor medio de sólidos totales suspendidos fue 35,38 mg/L, menor a lo estipulado por LGA (100 mg/L). Mayor concentración de aceites y grasas (5,20 mg/L) se registró en superficie en la E-9 (frente a plantas pesqueras). En fondo blando se registraron 24 especies. El grupo polychaeta fue más importante en especies y abundancia, *Owenia collaris* fue más común; en biomasa dominó la bacteria *Thioploca* sp. El número de especies por estación varió entre 0 y 13 especies y las densidades entre 0 y 2860 ind/m<sup>2</sup>. En la bahía predomina sedimento de grano fino con textura de fango, registrándose abundantes escamas, escaso sedimento con textura de arena, restringido a las zonas próximas a la línea de costa. Los altos contenidos de materia orgánica (hasta 12,39%), están relacionados con desechos urbanos e industriales y productividad biológica en la columna de agua. Los bajos contenidos orgánicos estuvieron frente a playa Alconcillo, predominando fracciones de arena y aporte terrígeno. Los sedimentos superficiales presentaron mayor contenido en cadmio (8,85 µg/g; E-9), plomo (6,89 µg/g; E-8), cobre (40,41 µg/g; E-11) y cinc (37,44 µg/g; E-1). Las concentraciones de hidrocarburos aromáticos de petróleo variaron entre <0,1 y 10,2 µg/g. Los puntos críticos se hallaron al norte de la bahía.

PALABRAS CLAVE: Bahía Ferrol, Chimbote, ambiente, sedimentos

### ABSTRACT

GANOZA F, GUZMÁN M, GARCÍA V, ENRÍQUEZ E, VELAZCO F. 2020. *Environmental and sedimentological condition in the Ferrol Bay, Chimbote (June 2002). Bol Inst Mar Peru. 35(2): 304-334.*- Ferrol Bay is located between 9°4'30"S and 9°9'0"S. In June 2002, we recorded the sedimentological characteristics of the bay and the thickness of the mud on the bottom. The area tracked was 12.16 nm<sup>2</sup> with variable thickness of mud reaching up to 2.5 meters, the estimated volume was 54,705,671 m<sup>3</sup>. Oxygen, total suspended solids, and pH on the surface were within the aquatic quality requirements (Classes V, VI: waters of fishing areas and fauna preservation) of the General Water Law (GWL), except for stations 9 and 12 where anoxic states were detected. At the bottom, 95% of the values did not exceed 2.1 mL/L (3.0 mg/L), established as limits in Class IV of the GWL. On average, the hydrogen sulfide concentration was 0.73 µg-at H<sub>2</sub>S-S/L and station 5 showed the maximum value (1.13 µg-at H<sub>2</sub>S-S/L). The mean value of total suspended solids was 35.38 mg/L, lower than that stipulated by the GWL (100 mg/L). On the surface, we recorded a higher concentration of oils and fats (5.20 mg/L) in the E-9 (compared to fishing plants). In the soft bottom, we recorded 24 species. The Polychaeta group was the most important for the number of species and abundance, *Owenia collaris* was more common; in biomass the bacterium *Thioploca* sp dominated. The number of species varied between 0 and 13 species per station and the densities between 0 and 2860 ind/m<sup>2</sup>. The bay was characterized by fine-grained sediment with a mud texture. We recorded abundant remains of scales and little sediment with a sand texture restricted to areas close to the coastline. The high contents of organic matter (up to 12.39%) are related to particles of organic material (urban and industrial waste) and the biological productivity in the water column. The low organic contents were located off Alconcillo beach, with a predominance of sand fractions and terrigenous contribution. The surface sediments had a higher content of cadmium (8.85 µg/g; E-9), lead (6.89 µg/g; E-8), copper (40.41 µg/g; E-11), and zinc (37.44 µg/g; E-1). The concentrations of the hydrocarbon compounds ranged between <0.1 and 10.2 µg/g of aromatic hydrocarbons. The critical points were found to the north of the bay.

KEYWORDS: Ferrol Bay, Chimbote, environment, sediments

## 1. INTRODUCCIÓN

La situación de deterioro de la Bahía Ferrol - Chimbote, es consecuencia del impacto de las diversas fuentes contaminantes producidas por las actividades que se vienen desarrollando por más de treinta años. A lo largo de su línea costera se asientan, además, instalaciones que ocasionan procesos erosivos, modificación de los patrones de circulación, contaminación acuática y atmosférica, afectando también la estética y capacidades de los balnearios en perjuicio de la población costera. La configuración semicerrada de la bahía y los procesos de circulación no contribuyen a una rápida depuración del ecosistema marino, frente a una permanente e importante carga contaminante que ha superado su capacidad asimilativa.

La carencia de una planificación para el ordenamiento territorial de la zona costera, donde diversos factores de índole normativo, institucional y tecnológico han contribuido al deterioro de la bahía, así como la falta de educación y concientización ambiental no ha permitido una gestión integral para la solución de los diversos problemas ambientales; dentro de una estrategia de prevención, mitigación y recuperación de la bahía.

Diversos estudios e inventarios realizados por IMARPE, CPPS (2000) y otros, han evidenciado el grado de deterioro de la Bahía Ferrol, que la califican como un área severamente crítica de contaminación. Las diversas fuentes terrestres de origen doméstico e industrial vierten un total de 24,9 miles TM/año de DBO<sub>5</sub> constituyendo la materia orgánica el principal contaminante, aportado especialmente por el sector industrial.

La boca de la Bahía Ferrol tiene aproximadamente 5 mn de ancho y se encuentra casi cerrada de norte a sur por las islas Blanca, Ferrol del Norte, Ferrol del Centro y Ferrol del Sur, que dan origen a tres pasos de entrada utilizados por las embarcaciones que van hacia el Puerto de Chimbote. Las mareas son del tipo semidiurno con promedio de 0,70 m, las corrientes marinas son pocas significativas alrededor de la bahía lo cual permite la acumulación de desechos, las corrientes se acentúan apreciablemente por el paso norte entre la isla Blanca y la isla Ferrol del Norte.

En cumplimiento de sus objetivos institucionales relacionados con la protección del medio marino y su contribución a la recuperación de la bahía, la que indudablemente está supeditada, entre otros, a la confluencia de acciones complementarias

## 1. INTRODUCTION

There are several sources of pollution resulting from the activities that have been carried out for more than three decades in the Ferrol Bay, Chimbote. Also, along its coastline, there are facilities causing erosion processes, modification of circulation patterns, water, and air pollution, which also affect the aesthetics and capabilities of the beaches to the detriment of the coastal population. Its form, as a partially closed bay, and the circulation processes contribute to a slow purification of the marine ecosystem, while a permanent and significant pollutant load, that has exceeded its assimilative capacity, continues growing.

The shortage of planning for the territorial ordering of the coastal zone, where diverse factors of a normative, institutional, and technological nature have contributed to the deterioration of the bay, as well as the lack of education and environmental awareness has not allowed integral management for the solution of the diverse environmental problems within a strategy of prevention, mitigation, and recovery.

Several studies and inventories carried out by IMARPE, CPPS (2000) and others, have evidenced the degree of deterioration in Ferrol Bay, describing it as a severely critical area of pollution. The discharge of domestic and industrial wastewater dumps a total of 24.9 thousand MT/year of BOD<sub>5</sub> with the organic matter being the main pollutant, especially from industrial origin.

The mouth of Ferrol Bay is approximately 5 nm wide and is almost closed from north to south by the Blanca, Ferrol del Norte, Ferrol del Centro, and Ferrol del Sur islands, which give rise to three entry passages used by boats going to the Port of Chimbote. The tides are of the semi-durable type with a mean of 0.70 m. The marine currents are not significant around the bay which allows the accumulation of waste, the currents are accentuated significantly by the northern passage between Blanca Island and the Ferrol del Norte Island.

From June 22nd to 25th, 2002, IMARPE carried out an environmental and hydroacoustic survey onboard IMARPE V to fulfill its institutional objectives related to the protection of the marine environment and its contribution to the recovery

coordinadas y permanentes entre los diversos sectores, autoridad local y participación ciudadana, IMARPE ejecutó una prospección ambiental e hidroacústica del 22 al 25 de junio 2002, a bordo de L/P IMARPE V.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

El muestreo se realizó del 22 al 25 de junio del 2002 a bordo de la embarcación Imarpe V. El estudio comprendió la Bahía Ferrol, ubicada entre 9°4'30" y 9°9'0"S hasta aproximadamente 2,5 millas náuticas de la costa.

Durante el rastreo acústico se desarrollaron 21 transectas sistemáticas paralelas perpendiculares a la costa, con longitudes variables de 1 a 3 mn y una separación de 0,25 mn (Fig. 1).

La unidad básica de muestreo (UBM) de los datos hidroacústicos fue de 0,25 mn. Con el fin de cubrir y tener mayor información en el área prospectada se muestreó por 4 minutos y a 5 nudos de velocidad.

Se establecieron 13 estaciones, recolectándose en el fondo muestras de agua con botella Niskin para la obtención de parámetros hidrográficos y químicos; también muestras de agua a nivel superficial con un balde de 10 litros de capacidad (Figs. 2, 3).

of the bay, which is undoubtedly subject, among others, to the confluence of complementary actions coordinated and permanent between the various sectors, local authority, and citizen participation.

## 2. MATERIAL AND METHODS

The sampling was carried out from June 22nd to 25th, 2002, onboard IMARPE V. The study included the Ferrol Bay, located between 9°4'30" and 9°9'0"S up to approximately 2.5 nm offshore.

During the acoustic tracking, we made 21 systematic parallel transects perpendicular to the coast, with variable lengths from 1 to 3 nm and separation of 0.25 nm (Fig. 1).

The basic unit of sampling of the hydroacoustic data was 0.25 nm. To cover and have more information in the surveyed area, we performed the sampling for 4 minutes and at a speed of 5 knots.

We established 13 stations. Water samples were collected at the bottom with Niskin bottles to obtain hydrographic and chemical parameters. Also, we collected water samples at surface level with a 10-liter bucket (Figs. 2, 3).

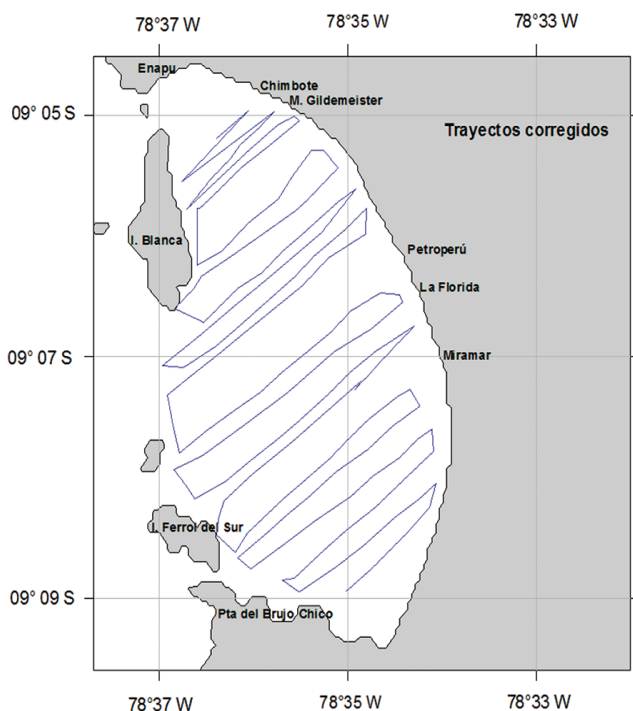


Figura 1.- Trayectos del rastreo acústico ejecutados en la Bahía Ferrol

Figure 1. Tracks of the hydroacoustic survey carried out in Ferrol Bay

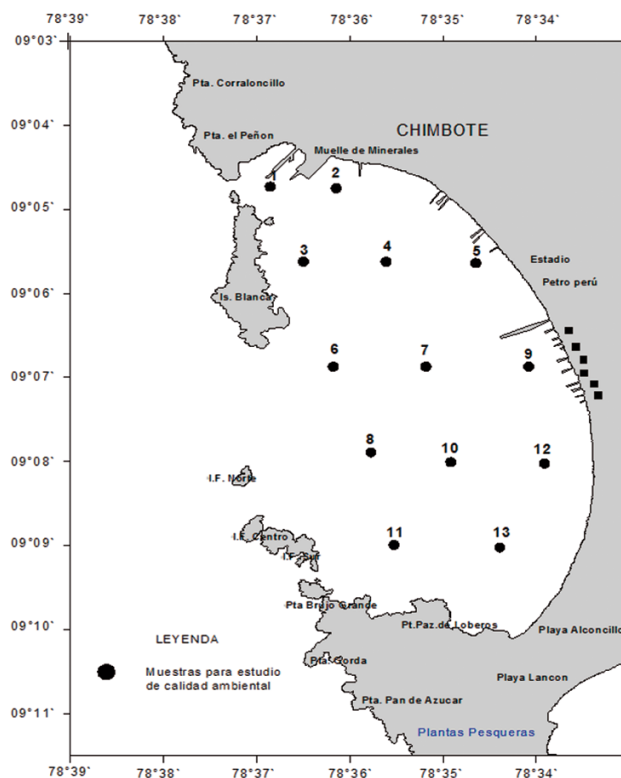


Figura 2.- Distribución de estaciones en la Bahía Ferrol

Figure 2. Distribution of stations in Ferrol Bay

Para obtener sedimento superficial, el muestreo se realizó utilizando una draga tipo van Veen y se seleccionaron los primeros 3 cm que fueron descritos visualmente; para fondo, se obtuvieron testigos de sedimentos mediante buceo autónomo.

También se consiguieron muestras de 9 testigos de sedimentos en tres transectos perpendiculares a la línea de costa.

La toma de información acústica se realizó en forma continua durante las horas diurnas, mediante buceo y utilizando dragas; además, se efectuaron análisis de calidad de agua y de corrientes.

Los datos registrados en la bitácora acústica fueron: hora, corredera, posición, fondo, espesor del fondo, el espesor del segundo registro del fondo y los datos de estaciones de comprobación del espesor del fango con varilla de acero graduada de 2,30 metros de longitud y tubo corer para determinar la composición del fondo.

Los equipos utilizados para la obtención de información acústica fueron: ecosonda científica portátil SIMRAD EY-500 con transductor remolcable *split beam* de 120 kHz de frecuencia y una ecosonda comercial FURUNO con transductor de 50 kHz de frecuencia (Fig. 4).

To obtain surface sediment, we used a van Veen type dredge and selected the first 3 cm that were visually described. For the bottom, we obtained sediment samples through autonomous diving.

We obtained samples from 9 sediment cores in three transects perpendicular to the coastline.

Acoustic information was taken continuously during daylight hours, through diving and using dredges. Furthermore, we performed water quality and current analyses.

The data recorded in the acoustic log were: time, track, position, bottom, the thickness of the bottom, the thickness of the second recording of the bottom, and data from stations to check the thickness of the mud with a graduated steel rod of 2.30 meters in length and a corer tube to determine the composition of the bottom.

We used the following equipment to obtain acoustic information: SIMRAD EY-500 portable scientific echo sounder with 120 kHz split-beam towable transducer and a FURUNO commercial echo sounder with 50 kHz frequency transducer (Fig. 4).



Figura 3.- Botella Niskin, lanzamiento y toma de muestra para análisis de calidad de agua

Figure 3. Niskin bottle, launching and sampling for water quality analysis



Figura 4.- Ecosonda Científica EY-500

Figure 4. EY-500 scientific echo sounder

Las determinaciones físicas, químicas y de contaminantes se basaron en los siguientes métodos:

Método titulométrico de Winkler modificado por Carpenter (1966), para el análisis de oxígeno.

*Standard Methods* para la determinación de sólidos suspendidos totales (APHA-AWWA-WPCF 1998).

Método colorimétrico de Fonselius (1962), para la determinación de sulfuro de hidrógeno.

Método potenciométrico Hanna 9023C, para la medición de pH.

Método gravimétrico para la determinación de grasas y aceites (*Environment Water Resources Service*, 1976).

Se realizó la cuantificación de Coliformes Termotolerantes, siguiendo la metodología de Tubos múltiples (Número Mas Probable) según el *Standard Methods for Examination* (1995).

La Salinidad se determinó por inducción usando el Salinómetro Kahlsico RS 10. Para la determinación de las corrientes marinas se ancló un correntómetro Aanderaa RCM9 (Fig. 5), por 10 minutos en cada nivel y la información registrada fue procesada usando el programa Surfer y el del equipo, así como hojas de cálculo.

El análisis granulométrico se realizó con tamices (INGRAM, 1971), determinando la fracción gruesa compuesta de arena (2 – 0,063 mm) cada ½ Phi y reportando la fracción limo-arcilla (0,063 mm-0,004 micrones) de manera global; la determinación del contenido de MOT (Materia Orgánica Total) se hizo por el método de pérdida de peso por ignición (DEAN, 1974). Se determinaron las texturas sedimentarias en base al diagrama de FOLK (1954).

Para el macrozoobentos se siguió la metodología estándar para el muestreo, separación e identificación de los especímenes. En cada estación se obtuvieron 3 réplicas de sedimentos con draga van Veen de 0,05 m<sup>2</sup>, las muestras fueron lavadas y tamizadas a bordo de la embarcación con una bolsa tamiz de 500 micras de abertura de malla, el material retenido fue conservado en formol al 10%, tamponado con bórax. En el laboratorio se procedió a la separación e identificación de los especímenes al menor nivel taxonómico posible (Fig. 6).

The physical, chemical, and pollutant determinations were based on the following methods:

Winkler titration method modified by Carpenter (1966), for oxygen analysis.

Standard Methods for the determination of total suspended solids (APHA-AWWA-WPCF 1998).

Fonselius' colorimetric method (1962), for the determination of hydrogen sulfide.

Hanna 9023C potentiometric method, for pH measurement.

Gravimetric method for the determination of oils and fats (Environment Water Resources Service, 1976).

We carried out the quantification of Thermotolerant Coliforms, following the methodology of multiple tubes (Most Probable Number) according to the Standard Methods for Examination (1995).

The salinity was determined by induction using the Kahlsico Salinometer RS 10. For the determination of the marine currents, we anchored an Aanderaa RCM9 current meter (Fig. 5) for 10 minutes at each level and the recorded information was processed using the Surfer software and that of the equipment, as well as spreadsheets.

We used sieves to carry out the granulometric analysis (INGRAM, 1971), determining the coarse fraction composed of sand (2 – 0.063 mm) each ½ Phi and reporting the silt-clay fraction (0.063 mm-0.004 microns) globally. The determination of the TOM content (Total Organic Matter) was made by the method of weight loss by ignition (DEAN, 1974). Sedimentary textures were determined based on the diagram of FOLK (1954).

For the macrozoobenthos, we followed the standard methodology for sampling, separation, and identification of the specimens. In each station, 3 replicates of sediments were obtained with a 0.05 m<sup>2</sup> van Veen dredge, the samples were washed and sieved onboard the vessel with a 500-micron mesh opening sieve bag, and the retained material was preserved in 10% formalin, buffered with borax. In the laboratory, specimens were separated and identified at the lowest possible taxonomic level (Fig. 6).



Figura 5.- Lanzamiento y toma de registros de correntómetro RCM9

Figure 5. Launching and recording of RCM9 current meter



Figura 6.- Muestra de sedimento recolectado con draga van Veen

Figure 6. Sample of sediment collected with a van Veen dredge

La estructura comunitaria fue evaluada registrando el número de especies, la densidad (número de individuos por  $m^2$ ), biomasa (peso húmedo por estación), riqueza específica de Margalef (d), diversidad de Shannon -Wiener ( $H'$ ) y equidad de Pielou ( $J'$ ).

La clasificación numérica de las estaciones se obtuvo mediante el índice de similitudes de Bray - Curtis sobre los datos transformados de la abundancia y con ello se trazó el dendrograma de similitudes mediante el método de clasificación jerárquica aglomerativa basada en la media no ponderada (UPGMA). También se aplicó el método de ordenación de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) para una mejor visualización de la distribución espacial de las estaciones, estos análisis se realizaron empleando el programa PRIMER (PLM, 1991).

Los efectos de la perturbación sobre las comunidades bentónicas se estimaron siguiendo los criterios dados por CARBAJAL (1998) en comunidades marinas.

La determinación de hidrocarburos de petróleo en sedimentos marinos se desarrolló según el Manual y Guía N° 11 de la COI-UNESCO.

Para la determinación de metales pesados en sedimentos se pesó, aproximadamente, 0,2 g de muestra liofilizada en los tubos ACV (*Advanced Composite Vessel*), se adicionó 10 mL de agua bidestilada, 5 mL de ácido nítrico, 4 mL de ácido fluorhídrico y 1 mL de ácido clorhídrico, todos concentrados, se cerraron los tubos herméticamente y se programó en el sistema de digestión por microondas.

The community structure was evaluated by recording the number of species, density (number of individuals per  $m^2$ ), biomass (wet weight per station), Margalef's specific richness (d), Shannon-Wiener diversity ( $H'$ ), and Pielou's equity ( $J'$ ).

We obtained the numerical classification of the stations using the Bray-Curtis similarity index on the transformed abundance data, and with it, we drew the similarity dendrogram employing the hierarchical agglomerative classification method based on the unweighted mean (UPGMA). The non-metric multidimensional scaling (NMDS) ordination method was also applied for better visualization of the spatial distribution of the stations, these analyses were carried out using the PRIMER software (PLM, 1991).

The effects of the disturbance on benthic communities were estimated following the criteria given by CARBAJAL (1998) in marine communities.

The determination of petroleum hydrocarbons in marine sediments was developed according to the IOC-UNESCO Manual and Guide No. 11.

For the determination of heavy metals in sediments, we weighed about 0.2 g of freeze-dried sample in the ACV (*Advanced Composite Vessel*) tubes, then we added 10 mL of double-distilled water, 5 mL of nitric acid, 4 mL of hydrofluoric acid, and 1 mL of hydrochloric acid, all concentrated. The tubes were hermetically sealed and programmed into the microwave digestion system.

Antes de diluir las soluciones se agregó 5 mL de ácido bórico al 1%.

Las lecturas analíticas se realizaron en el Espectrofotómetro de Absorción atómica modelo 6701F-Shimadzu con sistema automatizado en horno de grafito y llama.

En el procesamiento de la información acústica para el levantamiento de cartas batimétricas y de espesor del fango (cartas isópacas) se utilizaron programas de post procesamiento (*Sonar Data Echo-View*), Microsoft Excel para la digitación de los datos y Surfer para interpolación de datos.

La elaboración de las cartas isópacas se realizó utilizando los diversos datos de profundidad obtenidos por sondeos, los que son proyectados sobre la carta topográfica y por interpolación se trazan las líneas de igual profundidad obteniéndose la carta con las curvas de nivel.

En las cartas isópacas se representan los valores del espesor en una región amplia, se denominan isópacas a las líneas trazadas sobre la unidad, que corresponden al mismo valor del espesor de la misma.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Rastreo hidroacústico

Se rastrearon 141 Unidades Básicas de Muestreo (UBM) en toda el área de la Bahía Ferrol, realizándose comprobaciones del espesor del fango registrado en los ecogramas con la ayuda de una varilla de acero graduada de 2,30 metros de longitud y con muestras de fango obtenidos mediante tubos corer (Fig. 7).

Según el análisis de los ecogramas se registraron isobatas de 4,70 a 30 metros de profundidad, distribuidas desde 0,15 hasta 3 mn en la entrada de la bahía, encontrándose los fondos más someros siguiendo la configuración de la línea costera de la bahía hasta 1,5 mn y la zona más profunda en la parte central sur, entre las islas Blanca, Ferrol Norte, Ferrol Centro y Ferrol Sur (Fig. 8).

El área prospectada en la bahía fue de 12,16 mn<sup>2</sup>, el volumen de fango que se determinó en toda el área evaluada fue de 54.705.671 m<sup>3</sup> que se distribuyó en 5 estratos (0,50; 1,00; 1,50; 2,00 y 2,50 metros); el estrato que registró mayor espesor de fango fue a 1,5 metros, en un área de 4,15 mn<sup>2</sup> con volumen de 21.358.564 m<sup>3</sup> seguido del estrato de 2 metros con área de 2,81 mn<sup>2</sup> y volumen de 19.312.331 mn<sup>3</sup> (Tabla 1).

Before diluting the solutions, we added 5 mL of 1% boric acid.

The analytical readings were made in the Atomic Absorption Spectrophotometer model 6701F-Shimadzu with an automated system in graphite and flame furnace.

We used post-processing programs (*Sonar Data Echo-View*), Microsoft Excel for data entry, and Surfer for data interpolation to process the acoustic information for surveying bathymetric and mud thickness charts (isopach charts).

We elaborated the isopach charts by using the diverse data of depth obtained by soundings, which are projected on the topographic chart and the lines of equal depth are drawn by interpolation, resulting in the chart with the contour lines.

We represent the thickness values in a wide region of the isopach charts. The lines drawn on the unit are called isopachs, which correspond to the same value of the thickness of the unit.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### Hydroacoustic tracking

We tracked 141 basic units of sampling throughout the Ferrol Bay area, we checked the thickness of the mud recorded on the echograms using a graduated steel rod of 2.30 meters in length and with mud samples obtained from corer tubes (Fig. 7).

According to the analysis of the echograms, isobaths were recorded from a depth of 4.70 to 30 meters, distributed from 0.15 to 3 nm at the entrance of the bay. We found the shallowest bottoms following the configuration of the coastline of the bay up to 1.5 nm and the deepest area in the central south zone, between Blanca, Ferrol Norte, Ferrol Centro, and Ferrol Sur islands (Fig. 8).

The surveyed area in the bay was 12,16 mn<sup>2</sup>, the volume of mud determined in the whole evaluated area was 54,705, 671 m<sup>3</sup> that was distributed in 5 strata (0.50, 1.00, 1.50, 2.00, and 2.50 meters). The stratum that recorded the greatest thickness of mud was 1.5 meters, in an area of 4.15 mn<sup>2</sup> with a volume of 21,358,564 m<sup>3</sup> followed by the 2-meter stratum with an area of 2.81 mn<sup>2</sup> and a volume of 19,312,331 mn<sup>3</sup> (Table 1).

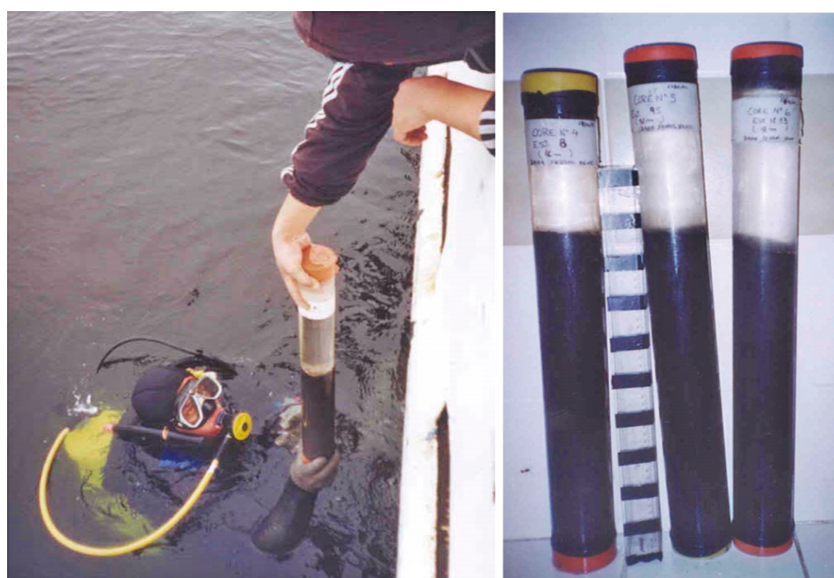


Figura 7.- Toma de muestra de fango recolectada con tubos corer

Figure 7. Sampling of mud collected with corer tubes

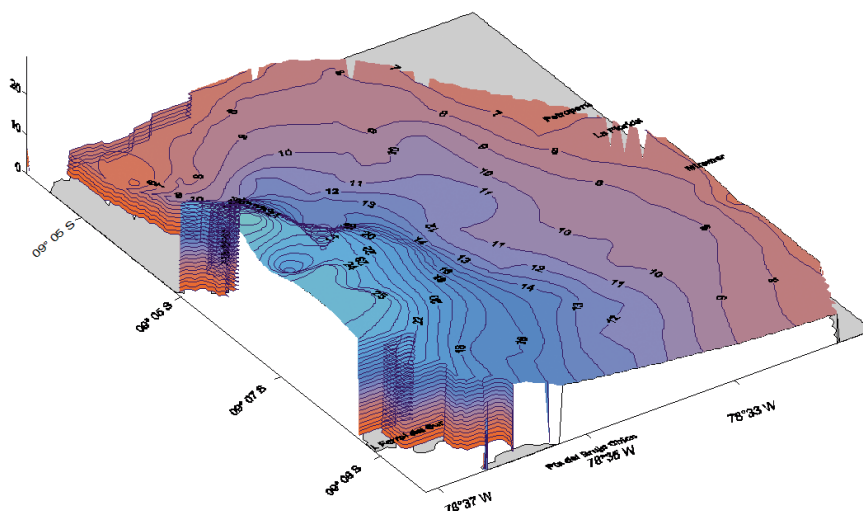


Figura 8.- Batimetría tridimensional de la Bahía Ferrol. Junio 2002

Figure 8. Tridimensional bathymetry of Ferrol Bay, June 2002

Tabla 1.- Distribución de áreas y volumen de fango en el fondo de la Bahía El Ferrol de Chimbote. Junio 2002

Table 1. Distribution of areas and volume of mud at the bottom of El Ferrol Bay in Chimbote, June 2002

Estrato / Stratum	Espesor / Thickness (m)	Área / Area (mn <sup>2</sup> )	Volumen / Volume (m <sup>3</sup> )
1	0,50	2,37	4.070.773
2	1,00	2,77	9.526.630
3	1,50	4,15	21.358.564
4	2,00	2,81	19.312.331
5	2,50	0,05	437.373
Total		12,16	54.705.671



En la Bahía Ferrol, el espesor del fango en el fondo varió de 1,5 a 2,5 m en las zonas protegidas por las islas, en las áreas someras cercanas a la costa entre la isla Blanca, sur del muelle Gildemeister, norte de Petroperú, Florida, Miramar, Punta del Brujo Chico e isla Ferrol del Sur; y los menores espesores (0,1 a 1,0 m) se encontraron en la parte central de la bahía (Fig. 9).

El espesor del fango encontrado en las zonas someras alrededor del sur de la bahía se debe, posiblemente, a la desembocadura de un ramal del río Lacramarca; y en la parte norte a la actividad de carga y descarga (granos, minerales y otros productos) de los barcos en el muelle de ENAPU, a la actividad de la flota pesquera artesanal e industrial en las chatas, muelles de FONDEPES, Gildemeister y otros, así como también influyen las plantas pesqueras que descargan sus desperdicios al mar, procesos que se desarrollan durante años y que como consecuencia han generado la acumulación de fango con material orgánico en las zonas protegidas de la bahía.

La zona central en dirección de la entrada a la Bahía Ferrol, entre las islas Blanca y Ferrol del Norte, presenta menor acumulación de fango debido a que existe mejor circulación del agua marina que permite arrastrar estos sedimentos hacia mar abierto.

In Ferrol Bay, the thickness of the mud on the bottom varied from 1.5 to 2.5 m in the areas protected by the islands, in the shallow areas near the coast, between Blanca Island, south of Gildemeister dock, north of Petroperú, La Florida, Miramar, Punta del Brujo Chico, and Ferrol del Sur Island. The lowest thicknesses (0.1 to 1.0 m) were found in the central part of the bay (Fig. 9).

The thickness of the mud found in the shallow areas around the south of the bay is possibly due to the mouth of a branch of the Lacramarca River and in the northern part to the loading and unloading activity (grains, minerals, and other products) of the ships in the ENAPU dock, to the activity of barges of the artisanal and industrial fishing fleets, FONDEPES and Gildemeister docks, among others, as well as to the influence of the fishing plants that discharge their waste to the sea. These processes have been developed for years and resulted in the accumulation of mud with organic material in the protected areas of the bay.

The central area towards the entrance of Ferrol Bay, between the Blanca and Ferrol del Norte islands, presents less accumulation of mud since there is better circulation of seawater that allows these sediments to be dragged towards the open sea.

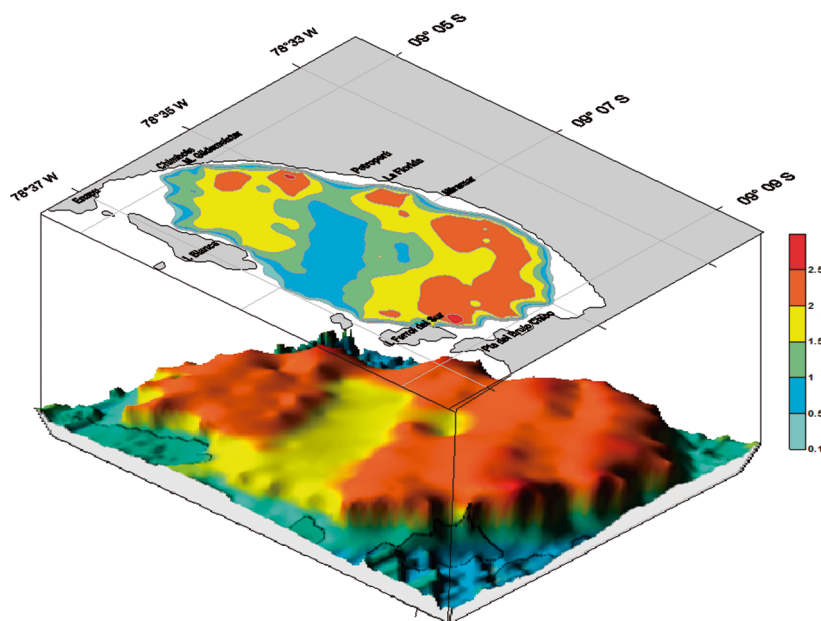


Figura 9.- Distribución del espesor del fango en el fondo de la Bahía Ferrol. Junio 2002

Figure 9. Distribution of mud thickness at the bottom of Ferrol Bay, June 2002

Durante el rastreo acústico se realizaron tres líneas de muestreos de comprobación con varilla: frente a la Playa Alconcillo ( $9^{\circ}10'S$ ), frente al muelle de Petroperú y las plantas pesqueras ( $9^{\circ}6'S$ ) y entre el muelle minerales y el muelle Gildemeister ( $9^{\circ}4,5'S$ ), realizándose 11 estaciones que permitieron determinar el espesor real en toda la bahía y ajustar los datos de los registros acústicos obtenidos en toda la prospección (Fig. 10).

El rango del ecosonda científico, permite mostrar los registros del fondo con una resolución diferente a los demás registros del ecograma. Ese rango se utilizó para analizar las capas de sedimentos suaves y consistencia del fondo. Se atenúan olas que se propagan fuertemente y los ecos de las capas sobre el fondo están debajo del rango dinámico de la escala a colores del ecograma (Fig. 11).

La amplificación adicional del sistema del menú en dB por metro debajo del fondo descubierto es fija. El valor que se utiliza es 0,5 dB/m. Sin embargo, el valor óptimo dependerá del tipo de fondo y la frecuencia y, deberá encontrarse experimentalmente.

#### Parámetros hidrográficos y de circulación marina

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos, hidrográficos y contaminantes se observan en las Tablas 2 y 3.

#### Temperatura

La zona de estudio presentó condiciones ambientales ligeramente frías, mostrando anomalía de  $-0,4^{\circ}C$ , respecto al promedio histórico del Cuadrado Marsden 343-27.



Figura 10.- Comprobación de espesor de fango, buceando con varilla graduada y tubos corer

Figure 10. Mud thickness check by means of diving with graduated rod and corer tubes

During the acoustic tracking, we carried out three lines of check sampling with rods: off Alconcillo Beach ( $9^{\circ}10'S$ ), off Petroperú's dock and fishing plants ( $9^{\circ}6'S$ ), and between the ore-shipping dock and the Gildemeister dock ( $9^{\circ}4,5'S$ ). We performed 11 stations that allowed us to determine the real thickness in the whole bay and to adjust the data of the acoustic records obtained in all the surveys (Fig. 10).

The range of the scientific echo sounder allows displaying the bottom records with a different resolution than the other records in the echogram. This range was used to analyze the soft sediment layers and bottom consistency. Waves that propagate strongly are attenuated and the echoes from the layers above the bottom are below the dynamic range of the color scale in the echogram (Fig. 11).

The additional amplification of the menu system in dB per meter below the bare bottom is fixed. The value used is 0.5 dB/m. However, the optimum value will depend on the type of bottom and frequency and should be experimentally found.

#### Hydrographic and marine circulation parameters

Tables 2 and 3 show the results of the physicochemical, hydrographic, and pollutant parameters.

#### Temperature

The study area presented slightly cold environmental conditions, showing an anomaly of  $-0.4^{\circ}C$ , compared to the historical mean of the Marsden Square 343-27.

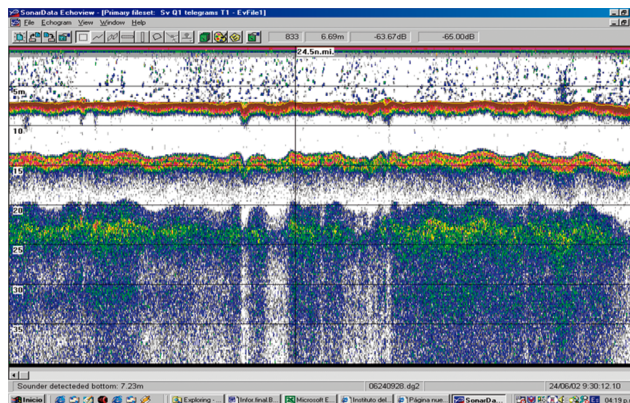


Figura 11.- Registro del espesor de fango del fondo, frente a Petroperú y las plantas pesqueras a 0,30 mn de distancia

Figure 11. Recording of the thickness of mud on the bottom, off Petroperu and the fishing plants at 0.30 nm distance

La temperatura superficial del mar fluctuó entre 16,0 y 18,9 °C con promedio en 17,5 °C, la distribución mostró valores más altos (>18,5°C) en el extremo norte frente al muelle de minerales y lo contrario sucedió en el otro extremo del área de estudio (<15,3 °C), casi al centro de la bahía se registró un núcleo de 18,0 °C (Fig. 12a).

En fondo la temperatura varió de 15,2 a 16,3 °C, con promedio de 15,6 °C. La distribución de temperatura fue homogénea (Fig. 12b).

The sea surface temperature ranged between 16.0 and 18.9 °C with a mean of 17.5 °C, the distribution showed higher values (>18.5 °C) at the northern end of the ore-shipping dock and the opposite happened at the other end of the study area (<15.3 °C), almost in the center of the bay, we recorded a nucleus of 18.0 °C (Fig. 12a).

At the bottom, the temperature varied from 15.2 to 16.3 °C, with a mean of 15.6 °C. The temperature distribution was homogeneous (Fig. 12b).

Tabla 2.- Parámetros físico-químicos de la calidad acuática. Bahía Ferrol-Chimbote. 22- 25 junio 2002

Table 2. Physic-chemical parameters of aquatic quality. Ferrol Bay – Chimbote. June 22nd - 25<sup>th</sup>. 2002

Est. / Station	Posición / Location	Fondo Bottom (m)	Prof. Muestreo Sampling depth (m)	Temp. (°C)	Oxígeno Oxygen (mL/L)	pH	Sulfuros Sulfides (µg-at H <sub>2</sub> S-S/L)	SST* TSS (mg/L)	Grasa Oil (mg/L)
1	9°4'45,06" 78°36'49,74"	10	0	17,9	6,92	7,80	-	37,29	0,20
			9	15,4	1,02	7,56	0,62	40,59	0,10
2	9°4'45,24" 78°36'03,24"	6	0	18,9	8,10	7,94	-	44,94	0,10
			5	16,3	0,70	7,44	0,84	48,54	0,20
3	9°5'43,20" 78°36'30,00"	8	0	17,7	5,79	7,90	-	30,06	-
			7	16,3	2,73	7,63	0,70	35,26	-
4	9°5'43,20" 78°35'27,00"	9	0	18,4	4,86	7,71	-	37,12	0,30
			8	15,5	0,80	7,55	0,74	37,12	1,40
5	9°5'39,18" 78°34'39,00"	7	0	17,3	2,64	7,30	-	31,98	0,20
			6	15,8	1,08	7,45	1,13	20,00	0,10
6	9°6'49,80" 78°36'2,16"	13,5	0	17,4	7,31	7,91	-	88,80	0,20
			12,5	15,3	0,66	7,76	0,66	34,81	0,10
7	9°6'43,14" 78°35'9,60"	11	0	18,0	7,08	7,92	-	19,77	-
			10	15,6	0,33	7,64	0,71	32,89	-
8	9°7'57,84" 78°35'59,82"	14	0	17,1	2,18	7,50	-	22,89	0,10
			13	15,3	1,46	7,69	0,62	26,86	1,20
9	9°6'52,62" 78°34'7,14"	7,6	0	17,2	0	6,85	-	43,75	5,20
			7	15,8	0,70	7,47	0,61	43,88	1,30
10	9°8'2,40" 78°34'50,10"	10	0	18,6	2,64	7,46	-	20,69	-
			9	15,2	0,33	7,59	0,72	43,05	0,11
11	9°9' 0,54" 78°35'28,68"	12	0	16,2	6,06	7,94	-	29,65	-
			11	15,2	0,89	7,69	0,63	23,93	-
12	9°8'0,96" 78°33'53,10"	8	0	16,5	0,23	7,34	0,78	22,58	-
			7	15,3	0	7,20	-	42,86	-
13	9°9'0,06" 78°34'16,26"	8	0	16,0	3,75	7,85	-	44,16	0,10
			7	15,3	0,80	7,64	0,68	30,06	2,40
Superficie Surface	Promedio / Mean			17,5	4,48	-	-	30,28	0,80
	Min			16,0	0	6,85	-	8,80	0,10
	Max			18,9	8,10	7,94	-	44,94	5,20
Fondo Bottom	Promedio / Mean			15,6	0,88	-	0,73	35,38	0,77
	Min			5	15,2	0	7,20	20	0,10
	Max			13	16,3	2,73	7,76	48,54	2,40

\*SST: Sólidos suspendidos totales / TSS: Total suspended solids

Tabla 3.- Parámetros hidrográficos de circulación marina. Bahía Ferrol-Chimbote. 22 -25 junio 2002

Table 3. Hydrographic parameters of marine circulation, Ferrol Bay-Chimbote. June 22nd - 25th, 2002

EST.	FECHA	PROF. (m)	TEMP. (°C)	SALINIDAD (ups)	CORRIENTES AANDERAA	
					Vel (cm/s)	Dirección (°)
1	22.06.02	0	17,9	34,676	6,06	218,0
		9	15,4	35,002	1,04	337,1
2	22.06.02	0	18,9	34,371	0,27	217,2
		5	16,3	34,814	0,89	225,3
3	23.06.02	0	17,7	34,741	4,18	300,4
		7	16,3	34,921	4,88	084,9
4	23.06.02	0	18,4	34,696	1,75	209,5
		9	15,5	35,007	4,52	095,1
5	23.06.02	0	17,3	34,609	3,94	162,0
		6	15,8	34,971	1,82	121,5
6	23.06.02	0	17,4	34,433	2,19	157,8
		13	15,3	35,054	1,38	003,3
6A	23.06.02	0	17,4	---	5,60	239,7
		27	---	---	2,40	147,3
7	23.06.02	0	18,0	34,607	1,70	092,3
		10	15,6	35,035	3,40	192,9
8	24.06.02	0	17,1	34,399	1,30	195,0
		13	15,3	35,046	4,00	078,8
9	24.06.02	0	17,2	34,721	5,30	150,8
		6	15,8	35,003	1,20	012,4
10	24.06.02	0	18,6	34,567	4,80	180,5
		9	15,2	35,042	2,10	269,9
11	24.06.02	0	16,2	34,996	5,50	024,2
		11	15,2	35,066	4,86	231,1
12	25.06.02	0	16,5	34,551	2,73	181,8
		7	15,3	35,043	0,64	092,4
13	24.06.02	0	16,0	35,031	4,90	044,3
		7	15,3	35,058	1,50	235,3

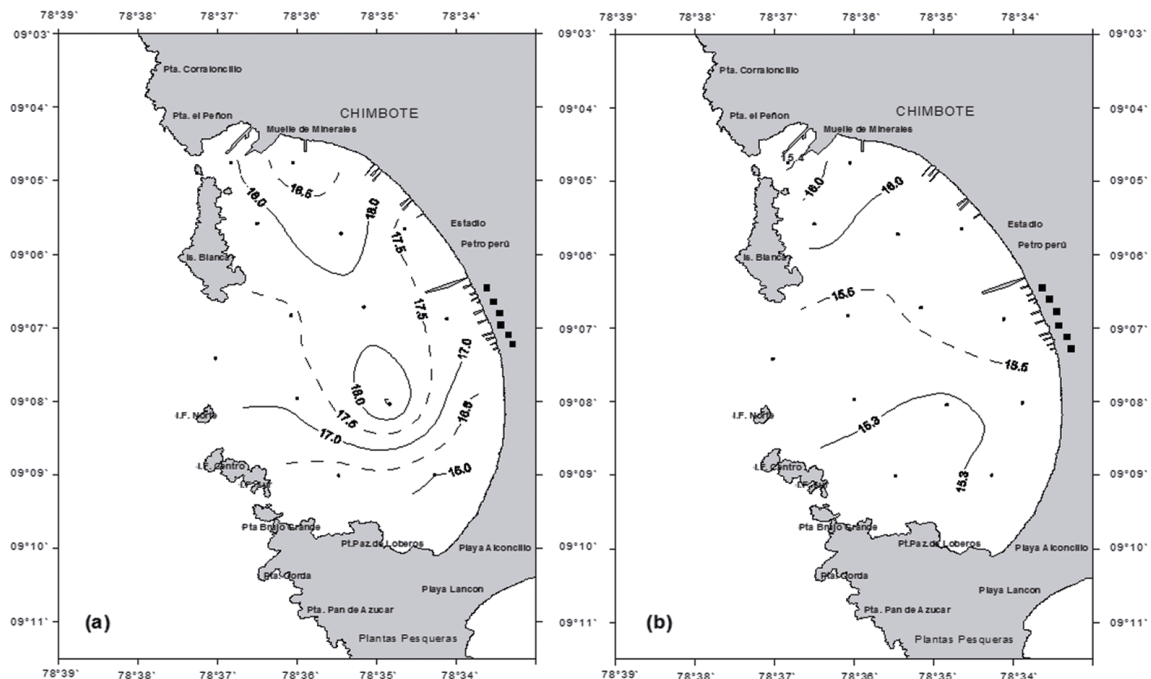


Figura 12.- Distribución de Temperatura (°C), a) Superficie, b) Fondo de la Bahía Ferrol-Chimbote

Figure 12. Temperature Distribution (°C), a) Surface, b) Bottom in Ferrol Bay, Chimbote

**Salinidad**

La salinidad en superficie estuvo distribuida homogéneamente, con valores que fluctuaron entre 34,371 y 35,031 ups. Las concentraciones menores de 34,9 ups son producto de la interacción de las Aguas Costeras Frías y las aguas de mezcla provenientes de las empresas pesqueras (alteradas por las descargas de colectores adyacentes a la zona); desplazadas por las corrientes hacia afuera de la Bahía Ferrol, el núcleo de estas aguas se localizó frente a la entrada principal de la bahía con valores menores a 34,5 ups (Fig. 13a).

En fondo las concentraciones de salinidad variaron de 34,814 a 35,066 ups. Las mayores concentraciones se ubicaron en gran parte del área de estudio, las más bajas se localizaron próximas al muelle de minerales (Fig. 13b).

**Circulación marina**

En superficie se presentaron flujos irregulares con velocidades de 0,27 a 6,06 cm/s. Los flujos presentaron dirección SE, S, NW siendo de mayor tendencia en el sur de la bahía (Fig. 14a) y los de menor tendencia estuvieron ubicados en el centro de la bahía.

**Salinity**

Surface salinity was evenly distributed, with values ranging from 34.371 to 35.031 psu. The concentrations of less than 34.9 psu are the result of the interaction of the Cold Coastal Waters and the mixing waters coming from the fishing companies (altered by the discharges of nearby collectors) and displaced by the currents out of Ferrol Bay. The nucleus of these waters was located off the main entrance of the bay with values lower than 34.5 psu (Fig. 13a).

At the bottom, the salinity concentrations varied from 34.814 to 35.066 psu. The highest concentrations were located in much of the study area, the lowest ones were located near the ore-shipping dock (Fig. 13b).

**Marine circulation**

On the surface, we had irregular flows with speeds of 0.27 to 6.06 cm/s. The flows presented direction SE, S, NW, with the greatest tendency were found south of the bay (Fig. 14a) and those of smaller tendency were located in the center of the bay.

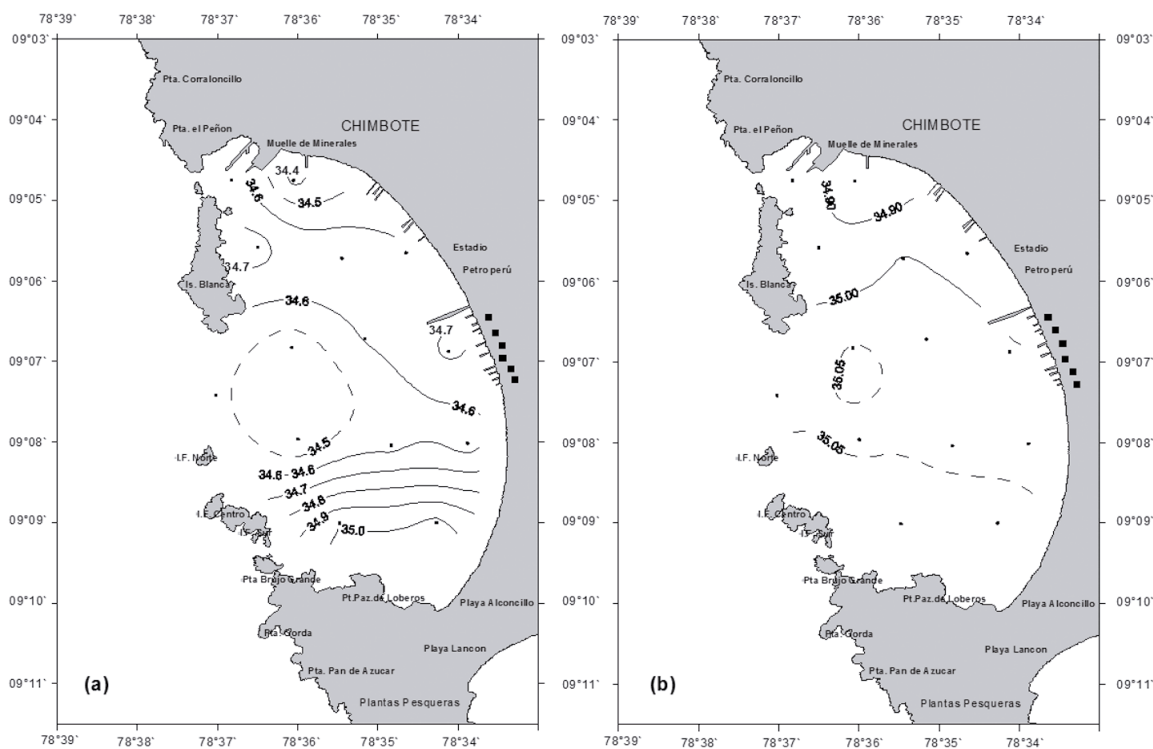


Figura 13.- Distribución de Salinidad ups) en a) Superficie y b) Fondo de la Bahía Ferrol-Chimbote

Figure 13. Salinity Distribution (psu) a) Surface and b) Bottom in Ferrol Bay, Chimbote

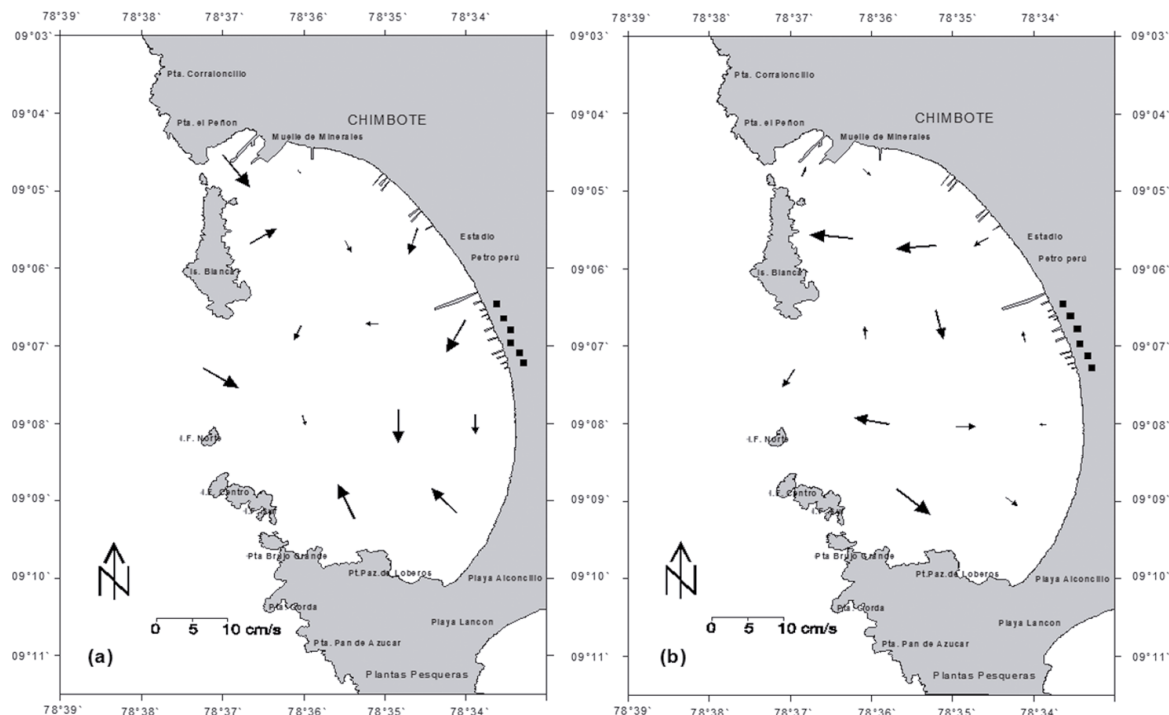


Figura 14.- Circulación marina (cm/s) en a) Superficie y b) Fondo de la Bahía Ferrol-Chimbote

Figure 14. Marine circulation (cm/s) a) Surface and b) Bottom in Ferrol Bay, Chimbote

En fondo las velocidades se presentaron entre 0,64 y 4,88 cm/s; los flujos predominantes fueron irregulares con mayor tendencia S, W, SSE y los más débiles se encontraron en la costa en forma irregular con tendencias NE, NW, W, SE. En la boca de la bahía la tendencia fue SW con velocidad intermedia.

At the bottom, the speeds were between 0.64 and 4.88 cm/s; the predominant flows were irregular with greater tendency S, W, SSE, and the weakest were found in the coast in an irregular form with tendencies NE, NW, W, SE. At the mouth of the bay, the tendency was SW with intermediate velocity.

**Parámetros fisicoquímicos**

**Oxígeno.-** El oxígeno disuelto en superficie varió de 0 a 8,10 mL/L. El valor medio del área estudiada fue de 4,48 mL/L. El 90% de los valores superaron 2,1 mL/L (3,0 mg/L) establecidos como límites en la Clase IV de la Ley General de Aguas (LGA).

**Physicochemical parameters**

**Oxygen.-** Surface dissolved oxygen varied from 0 to 8.10 mL/L. The mean value of the area studied was 4.48 mL/L. 90% of the values exceeded 2.1 mL/L (3.0 mg/L) established as Class IV limits in the General Water Law (GWL).

A nivel de fondo, los valores fluctuaron entre 0 y 2,73 ml/L, con valor medio de 0,88 mL/L. El 95% de los valores no superaron 2,1 mL/L establecidos como límites en la Clase IV de la LGA. La estación 12 registró un estado puntual anóxico.

At the bottom, values ranged from 0 to 2.73 ml/L, with a mean value of 0.88 mL/L. 95% of the values did not exceed 2.1 mL/L established as Class IV limits of the GWL. Station 12 recorded an anoxic state.

**Sulfuros.-** Los valores de sulfuros a nivel de fondo fluctuaron de 0,61 a 1,13 µg-at H<sub>2</sub>S-S/L, con valor medio representativo de 0,73 µg-at H<sub>2</sub>S-S/L. El mayor valor se registró en la estación 5. En general, los valores de sulfuros ligeramente elevados se deben a procesos de óxido-reducción consecuencia de presencia significativa de material orgánico en el área evaluada asociada al porcentaje de materia orgánica registrada en las estaciones 5, 9 y 12. Los valores más elevados se encontraron en la zona costera.

**Sulfides.-** At the bottom, the values of sulfides varied from 0.61 to 1.13 µg-at H<sub>2</sub>S-S/L, with a representative mean value of 0.73 µg-at H<sub>2</sub>S-S/L. The highest value was recorded in station 5. Generally, the slightly elevated values of sulfides are due to oxidation-reduction processes resulting from the significant presence of organic material in the evaluated area associated with the percentage of the organic matter recorded in stations 5, 9, and 12.

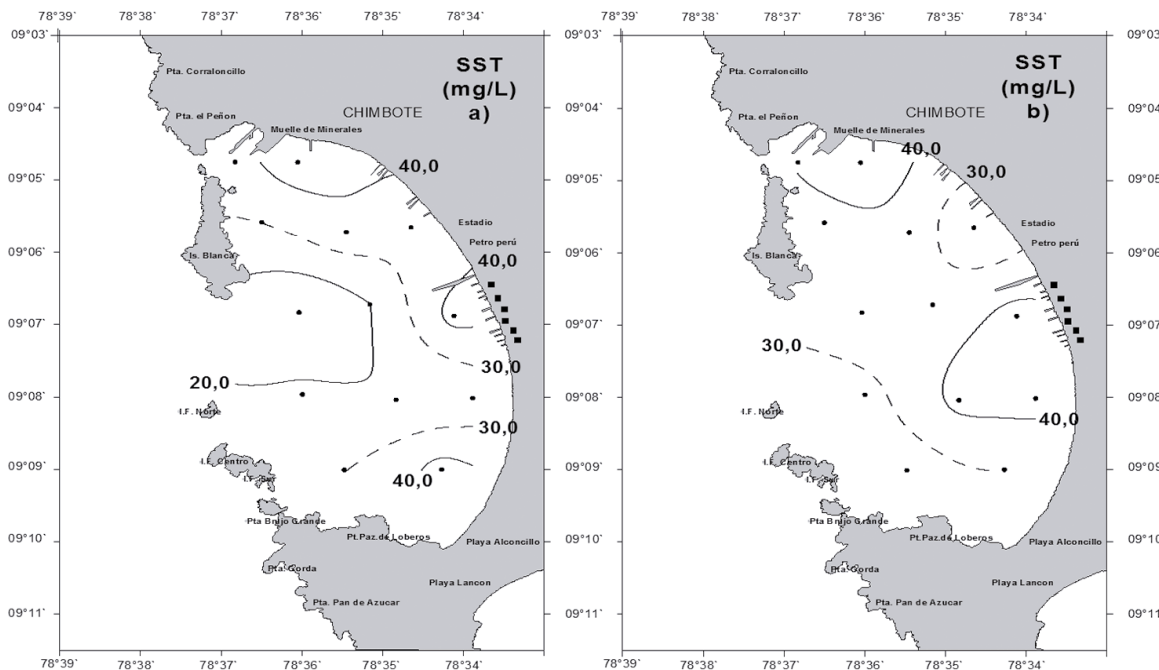


Figura 15.- Distribución de sólidos suspendidos totales en: a) Superficie y b) Fondo de la Bahía Ferrol-Chimbote. Junio 2002

Figure 15. Distribution of total suspended solids: a) Surface and b) Bottom in Ferrol Bay, Chimbote. June 2002

**Potencial de iones Hidronio (pH).**- Los valores de pH en superficie variaron de 6,85 a 7,94. El más bajo se registró en la estación 9 asociado a un estado puntual anóxico. En fondo variaron de 7,20 a 7,76. En general los valores de pH se ajustaron a los requisitos de calidad vigentes de 6,0 a 8,5 (LGA).

La distribución horizontal en superficie y fondo indicó la homogeneidad en ambos niveles, registrándose los valores más bajos frente a las plantas pesqueras.

**Sólidos suspendidos totales.**- A nivel superficial el rango varió de 8,80 a 44,94 mg/L, con valor promedio de 30,28 mg/L; la concentración más elevada se registró en la estación 2 (frente al muelle minerales).

A nivel de fondo, el rango de concentración varió de 20,00 a 48,54 mg/L, con valor medio de 35,38 mg/L. El valor más elevado se registró en la estación 2 (Fig. 15).

En general el 100% de los valores registrados en ambos niveles de muestreo no superaron los 100 mg/L establecidos en la Ley General de Aguas (1969).

**Aceites y grasas.**- Los valores de aceites y grasas en superficie variaron de 0,10 a 5,20 mg/L. El valor más elevado se registró en la estación 9 asociado

**Hydronium ion potential (pH).**- Surface pH values ranged from 6.85 to 7.94. The lowest was recorded at station 9 associated with a specific anoxic state. At the bottom, they varied from 7.20 to 7.76. Overall, the pH values were in line with current quality requirements from 6.0 to 8.5 (GWL).

The horizontal distribution in surface and bottom indicated the homogeneity in both levels, with the lowest values being recorded off the fishing plants.

**Total suspended solids.**- On the surface, the range of total suspended solids fluctuated from 8.80 to 44.94 mg/L, with a mean value of 30.28 mg/L. The highest concentration was recorded at station 2 (off the ore-shipping dock).

At the bottom, the concentration range varied from 20.00 to 48.54 mg/L, with a mean value of 35.38 mg/L. Station 2 had the highest value (Fig. 15).

Generally, 100% of the values recorded at both sampling levels did not exceed 100 mg/L as established in the General Water Law (1969).

**Oils and fats.**- The values of oils and fats on the surface varied from 0.10 to 5.20 mg/L. The highest value was recorded at station 9 associated with an anoxic state and basic pH. At the bottom,

a un estado puntual anóxico y al pH básico. En fondo, los valores variaron de 0,10 a 2,40 mg/L. Los valores más elevados se registraron en la zona costera frente a las fábricas pesqueras (Figs. 16a, b). La distribución de isolíneas a nivel de fondo muestra una tendencia creciente hacia el sur de la bahía.

### Contaminación microbiológica

Los valores registrados en la evaluación de los indicadores de contaminación fecal por mar a nivel superficial, se muestran en la Tabla 4.

A nivel superficial se registraron valores de coliformes totales de  $<30$  a  $4,3 \times 10^3$  NMP/100 mL y coliformes termotolerantes de  $<30$  a  $2,3 \times 10^3$  NMP/100 mL, registrándose los mayores valores en las estaciones 5 y 9 ubicadas más cercanas a la costa y en la zona de influencia de las principales fuentes contaminantes en la bahía cerca de los emisores de aguas residuales domésticas e industriales. Los valores encontrados fueron mayores a los límites máximos permisibles para las clases IV y V de la LGA.

Las estaciones ubicadas en la zona sur de las bahías presentaron bajos valores de estos indicadores los cuales no sobrepasaron los límites máximos permisibles de la LGA.

the values ranged from 0.10 to 2.40 mg/L. The highest values were recorded in the coastal area located off the fishing factories (Figs. 16a, b). The distribution of isolines at the bottom level shows an increasing tendency towards the south of the bay.

### Microbial pollution

Table 4 shows the values recorded in the evaluation of the indicators of fecal pollution at the sea surface level.

On the surface, we recorded total coliform values from  $<30$  a  $4.3 \times 10^3$  NMP/100 mL and thermotolerant coliforms from  $<30$  a  $2.3 \times 10^3$  NMP/100 mL, with the highest values recorded in stations 5 and 9 which are located closer to the coast and in the influence zone of the main pollutant sources in the bay near the domestic and industrial wastewater emitters. The values found were higher than the maximum permissible limits for classes IV and V of the GWL.

The stations located in the southern part of the bay presented low values of these indicators which did not exceed the maximum permissible limits of the GWL.

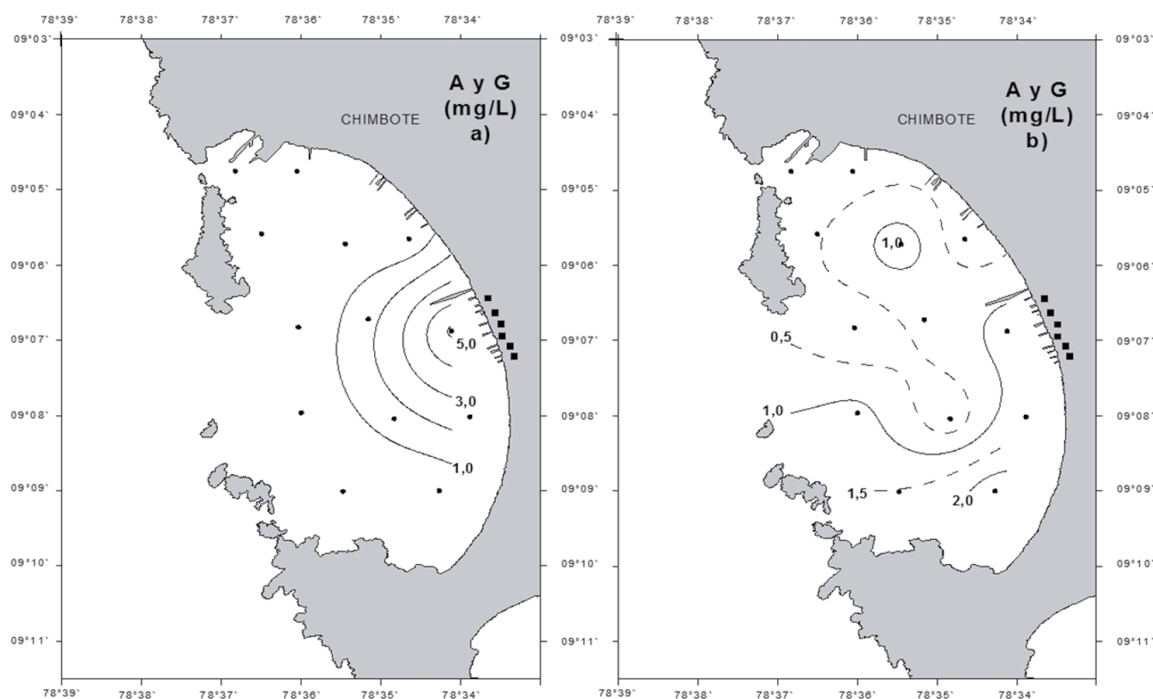


Figura 16.- Distribución de aceites y grasas en: a) Superficie y b) Fondo de la Bahía Ferrol-Chimbote. Junio 2002

Figure 16. Distribution of oils and fats: a) Surface and b) Bottom in Ferrol Bay, Chimbote. June 2002



Tabla 4.- Análisis Microbiológicos de la Evaluación Acústica, condiciones ambientales y sedimentológicas en la Bahía Ferrol-Chimbote. 22 - 25 de junio 2002

Table 4. Microbial Analysis of Acoustic Evaluation, environmental and sedimentological conditions in Ferrol Bay, Chimbote. June 22nd - 25th, 2002

ESTACIONES		COLIFORMES TOTALES NMP/100ml	COLIFORMES TERMOTOLERANTES NMP/100ml
23/06/02			
3	S	4,0 X 10	4,0 X 10
4	S	9,0 X 10	4,0 X 10
5	S	4,3 x 10 <sup>3</sup>	2,3 x 10 <sup>3</sup>
6	S	4,0 X 10	<30
7	S	<30	<30
24/06/02			
8	S	4,0 X 10	<30
9	S	2,3 x 10 <sup>3</sup>	9,3 x 10 <sup>2</sup>
10	S	9,0 X 10	<30
13	S	<30	<30

**Granulometría, textura y Materia Orgánica Total (MOT)**

Se determinaron texturas de sedimentos en 24 muestras. Se registró predominancia de arena fangosa en la mayor extensión de la bahía y arena solo en las zonas más próximas a la costa frente a Playa Alconcillo y Muelle del FONDEPES.

En la zona de estudio predomina la arena fangosa, extendiéndose en 80% del total del área de estudio. Se hallaron zonas localizadas muy distantes entre sí, caracterizadas por ser mayormente arena como son: la zona costera de la bahía frente al sector industrial pesquero, en la zona norte entre Punta Peñón y Norte de isla Blanca, área muy cerrada que presenta poca circulación; y hacia el suroeste frente a islas Ferrol Norte, Centro y Sur.

Los valores de MOT se muestran en la Tabla 5, los más elevados (12,39%; E-9) se hallaron cerca de la línea de costa frente al sector industrial pesquero, observándose una tendencia similar de distribución hacia la zona sur; los valores más bajos de materia orgánica en sedimentos se localizaron en la zona noroeste de la bahía, hallándose valores de (3,69%; E -2) frente a isla Blanca (Fig. 17).

Los valores más bajos de materia orgánica corresponden a los sedimentos arenosos ubicados en la zona norte, en un área cerrada caracterizada por lo difícil de la circulación y el transporte de material; los mayores valores se hallaron en la zona sur cerca de la línea de costa, frente al sector industrial pesquero, mostrando tendencia inusual al disminuir hacia la zona central de la bahía y aumentando hacia el suroeste.

**Granulometry, texture, and total organic matter (TOM)**

We determined sediment textures in 24 samples. Muddy sand was predominant in the largest part of the bay and sand only in the near-shore areas off Alconcillo beach and FONDEPES dock.

In the study area, muddy sand predominates, covering 80% of the total study area. We found areas located very distant from each other, characterized by being predominantly sand such as the coastal area of the bay off the industrial fishing sector, in the northern area between Punta Peñón and the north of Blanca Island, which is a very closed area that has little circulation; and towards the southwest off Ferrol Islands (Norte, Centro, and Sur).

Table 5 shows the TOM values. We found the highest (12.39%; Sta-9) near-shore off the industrial fishing sector, with a similar distribution pattern towards the south. The lowest values of organic matter in sediments were located in the northwest area of the bay, with values of (3.69%; Sta -2) off Blanca Island (Fig. 17).

The lowest values of organic matter correspond to the sandy sediments located in the northern area, in an enclosed area characterized by the difficulty of circulation and transport of material. We found the highest values in the southern area near-shore, off the industrial fishing sector, showing an unusual pattern to decrease towards the central area of the bay and increase towards the southwest.

Tabla 5.- Resultados de los análisis granulométricos y su clasificación en sedimentos superficiales según Fok. Bahía Ferrol-Chimbote. 22 - 25 de junio 2002

Table 5. Results of granulometric analysis and classification into surface sediments according to Fok. Ferrol Bay, Chimbote. June 22nd - 25th, 2002

Estación	Fecha	Profundidad (m)	MOT (%)	Arena (%)	Limo - arcilla (%)	Clasificación (Folk, 1954)
1		10	3,27	28,96	75,04	Arena fangosa
2		6	5,42	61,96	38,04	Arena fangosa
3		9,7	10,42	45,88	54,12	Arena fangosa
4	23/06/2002	9,6	5,04	66,4	33,6	Arena fangosa
5		7	10,94	66,68	33,32	Arena fangosa
6		13,5	6,52	72,12	27,88	Arena
7		11	5,53	58,52	41,48	Arena fangosa
8		16	11,24	50,88	49,12	Arena fangosa
9		8	12,39	62,08	37,32	Arena fangosa
10		10,2	7,89	8,32	91,68	Fango
11		12	9,12	53,4	46,6	Arena fangosa
12		12	8,04	12,92	87,08	Arena fangosa
13		8	10,87	53,52	46,68	Arena fangosa
S-1		7	6,6	63,28	36,72	Arena fangosa
S-2		7,7	3,69	74,24	25,76	Arena fangosa
S-3	24/06/2020	11	4,7	53,44	46,56	Arena fangosa
S-4		8	11,23	49,16	50,84	Arena fangosa
S-5		7,7	12,41	46,88	--	Arena fangosa
S-8		9,5	11,84	45,4	54,6	Arena fangosa
S-9		12	10,91	75,0	25,00	Arena fangosa
S-10		8	9,49	43,68	56,32	Arena fangosa
S-11		10	10,59	47,16	52,84	Arena fangosa
S-12		5,8	2,85	84,48	15,52	Arena fangosa
3-A		7	10,06	54,36	45,64	Arena fangosa

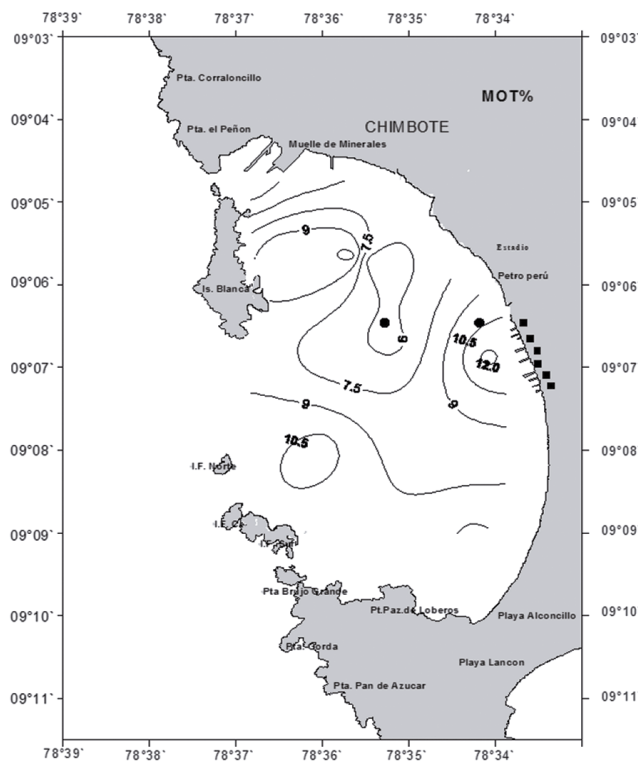


Figura 17.-Distribución de Materia orgánica totales en la Bahía Ferrol-Chimbote. Junio 2002

Figure 17. Distribution of total organic matter in Ferrol Bay, Chimbote. June 2002

Al comparar los resultados de materia orgánica obtenidos en la presente evaluación con los hallados en otras evaluaciones, se comprueba que esta bahía presenta gran variabilidad en sus características geoquímicas, dependiendo del incremento o decremento de la actividad industrial pesquera en la zona, con descargas de material orgánico y elevados contenidos de materia orgánica en el fondo y, también altos contenidos de materia orgánica en los sedimentos. En la bahía del Callao, en 1997 se registraron valores de hasta 13,1% de materia orgánica y en las bahías Ferrol y Samanco valores máximos de 19,10 y 13,26%, respectivamente. En zonas donde el desarrollo industrial y urbano no es tan grande como en la ensenada de Sechura en 1996 se registraron valores máximos de 7,57%.

Como resultado de una serie de procesos geológicos (tectonismo, subsidencia, sedimentación, etc.) ocurridos del pasado a la actualidad, se ha desarrollado la morfología actual del fondo de la zona de estudio.

La zona cercana a la línea de costa, hacia el norte de la bahía se caracteriza por relieves debidos a cuerpos arenosos modelados por la energía del oleaje y las corrientes de marea, con efectos tanto erosivos como deposicionales. En estas zonas los sedimentos tienen mayor tamaño de grano. La consecuencia de este régimen hidrodinámico elevado es la formación de estructuras sedimentarias del fondo conocidas como *ripples* u ondulaciones (indicados por el buzo científico), cuya normal a su alineamiento indica la dirección del flujo, el cual puede tener dos sentidos de ida y venida, lo que provee cierta simetría a la estructura, siendo el transporte neto de sedimentos la consecuencia del flujo de mayor sentido. Los menores valores de materia orgánica total ubicados en las zonas litorales, se hallan asociados a estos sedimentos arenosos localizados donde el régimen hidrodinámico es intenso y la presencia de oxígeno es mayor, permitiendo la mineralización de la materia orgánica.

Los flujos de materia orgánica total hacia el fondo estarían condicionados por el aporte de los desechos orgánicos provenientes de las industrias productoras de harina de pescado, productividad de la columna de agua (principalmente fitoplanctónica), la resuspensión de material y aporte de material terrígeno transportado por las corrientes, aportes de descargas urbanas, condiciones oxidantes en la columna de agua, eficiencia de las trampas, etc.

When comparing the results of organic matter obtained in this evaluation with those found in previous ones, we can see that this bay presents great variability in its geochemical characteristics, depending on the increase or decrease of the industrial fishing activity in the area, with discharges of organic material and high contents of organic matter in the bottom and also high contents of organic matter in the sediments. In 1997, we recorded values of up to 13.1% of organic matter in Callao Bay and maximum values of 19.10 and 13.26% in Ferrol and Samanco Bays, respectively. In 1996, in areas where industrial and urban development is not as great as in the Sechura Inlet, we recorded maximum values of 7.57%.

The current morphology of the bottom of the study area has been developed as a result of a series of geological processes (tectonism, subsidence, sedimentation, etc.) that have occurred from the past to the present.

The area near-shore, towards the north of the bay, is characterized by relief due to sandy masses that are shaped by the energy of the waves and tidal currents, with both erosive and depositional effects. In these areas, the sediments have a larger grain size. The consequence of this high hydrodynamic regime is the formation of sedimentary structures of the bottom known as ripples (indicated by the scientific diver), whose normal to their alignment indicates the direction of flow, which can have two directions of going and coming, which provides certain symmetry to the structure, being the net transport of sediments the result of the flow of greater sense. The lower values of total organic matter located in the coastal areas are associated with these sandy sediments located where the hydrodynamic regime is intense and the presence of oxygen is greater, allowing the mineralization of organic matter.

The flows of total organic matter to the bottom would be conditioned by the contribution of organic waste from the industries producing fishmeal, the productivity of the water column (mainly phytoplankton), the resuspension of material and contribution of soil material transported by the currents, the contributions of urban discharges, oxidizing conditions in the water column, efficiency of the traps, etc.

**Macrobentos**

Se registraron 24 grupos taxonómicos de invertebrados bentónicos. En la Tabla 6 se observa la lista detallada del bentos de fondo blando. 22 grupos fueron clasificados como macrobentos, un grupo como meiobentos (nematodos) y otro perteneciente al bacteriobentos (*Thioploca* sp.). Los grupos taxonómicos más comunes en forma decreciente fueron los poliquetos (58,3%) y moluscos (20,8%). El número de grupos taxonómicos registrado en cada estación varió entre 2 (estaciones 4, 10, 12 y 13 en la parte norte y sur de la bahía) y 13 en la estación 6 (parte central de la bahía, cerca de isla Blanca). En la zona norte de la bahía las estaciones 2 y 3 no presentaron fauna.

**Macrobenthos**

We recorded 24 taxonomic groups of benthic invertebrates. Table 6 shows the detailed list of the soft bottom benthos. A total of 22 groups were classified as macrobenthos, one group as meiobenthos (nematodes), and another belonging to the bacteriobenthos (*Thioploca* sp.). The most common taxonomic groups in decreasing order were polychaetes (58.3%) and mollusks (20.8%). The number of taxonomic groups recorded in each station varied between 2 (stations 4, 10, 12, and 13 in the northern and southern part of the bay) and 13 in station 6 (central part of the bay, near Blanca Island). In the northern part of the bay, stations 2 and 3 did not show any fauna.

Tabla 6.- Lista de especies del macrozoobentos, fondo blando.  
Bahía Ferrol, Chimbote. 22-25 junio 2002

Table 6. List of macrozoobenthos species, soft bottom. Ferrol Bay,  
Chimbote. June 22-25 th, 2002

Taxa/Estación	1	2	3	4	6	7	8	10	11	12	13
<b>Polychaeta</b>											
<i>Cossura chilensis</i>					60			20			
<i>Diopatra chiliensis</i>					580	180	20		20	60	40
<i>Glycera americana</i>							20				
<i>Leitoscoloplos chilensis</i>					780	40	20		60		
<i>Magelona phyllisae</i>					60	40					
<i>Mediomastus branchiferus</i>										120	
<i>Nephtys impressa</i>						20					
<i>Owenia collaris</i>					960	100					
<i>Polydora socialis</i>	20				20						
<i>Sphiophanes kroyeri</i>									20		
<i>Chaetozone</i> sp.					20						
<i>Pectinaria</i> sp.						40					
<i>Scolecopsis</i> sp.					20						
<i>Tharyx</i> sp.									20		
<b>Mollusca</b>											
<i>Nassarius gayii</i>					20		20	20	40		
<i>Polinices uber</i>				20							
<i>Tellina</i> sp.					20						
Nuculidae	20										
Tellinidae							20				
<b>Arthropoda</b>											
Oedicerotidae									20		
<b>Otros</b>											
<i>Cucumaria</i> sp.					300				180		140
<i>Notoplana</i> sp.					20						
<i>Thioploca</i> sp.					1						
Nematodo	360			40		20					

La especie más abundante fue el poliqueto *Owenia collaris*, que representó el 22,9% del total de organismos colectados. Esta especie se halló exclusivamente en la parte central de la bahía. También fueron abundantes los poliquetos *Diopatra chiliensis* y *Leitoscoloplos chilensis* (19,5% del total de organismos). Ambas especies estuvieron presentes solo en la parte central y sur de la bahía, siendo *D. chiliensis* la especie mejor distribuida en esta zona. Cabe destacar que la mayoría de especímenes observados correspondían a estadios juveniles.

La densidad total de organismos varió entre 60 ind.m<sup>-2</sup> en la estación 4 (norte de la bahía) y 2860 individuos.m<sup>-2</sup> en la estación 6 (parte central de la bahía, al sur de isla Blanca). La mayoría de las estaciones presentaron densidades muy bajas, no mayores a 500 individuos.m<sup>-2</sup>.

En términos de biomasa, la estación 6 presentó el mayor valor (89,0 g.m<sup>-2</sup>), que se debe exclusivamente a la presencia de la bacteria *Thioploca* sp. Las otras estaciones presentaron biomásas muy bajas, menores a 1 g.m<sup>-2</sup>, lo cual indica ausencia de especies que alcancen tamaños mayores.

Los índices de riqueza específica, diversidad y equitabilidad (Tabla 7) presentaron variaciones entre los diferentes lugares evaluados, la estación 1 mostró la diversidad más baja (0,569 bitios.ind<sup>-1</sup>) que se debió a la abundancia de nemátodos, asociada al bajo número de especies; en la estación 7 se encontró mayor diversidad (2,52 bitios.ind<sup>-1</sup>) y mayor valor de equidad (0,83) lo que indica uniformidad en la distribución del número de individuos entre las especies.

Los índices de riqueza específica son bajos y esto se explica por la presencia de un bajo número de especies y de individuos en cada una de las estaciones.

En las figuras 18 y 19a, b se observan las distribuciones de densidad, índices de diversidad y riqueza específica, respectivamente. En todas ellas se aprecia que en la parte norte y más costera no se encontró fauna, asimismo, la parte sur de la bahía presentó bajos valores de densidad, diversidad y riqueza de especies. Hay en los tres casos incremento de los valores hacia la bocana principal de la Bahía Ferrol, pero este parche está constituido principalmente por juveniles de diversas especies.

The most abundant species was the polychaete *Owenia collaris*, which represented 22.9% of the total organisms collected. This species was found exclusively in the central part of the bay. Likewise, the polychaetes *Diopatra chiliensis* and *Leitoscoloplos chilensis* were also abundant (19.5% of the total number of organisms). Both species were present only in the central and southern part of the bay, with *D. chiliensis* being the best-distributed species in this area. It is noteworthy that most of the specimens observed corresponded to juvenile stages.

The total density of organisms ranged from 60 ind.m<sup>-2</sup> at station 4 (north of the bay) to 2860 individuals.m<sup>-2</sup> at station 6 (central part of the bay, south of Blanca Island). Most stations had very low densities, no more than 500 individuals.m<sup>-2</sup>.

In terms of biomass, station 6 had the highest value (89.0 g.m<sup>-2</sup>), which is due exclusively to the presence of the bacteria *Thioploca* sp. The other stations showed very low biomasses, less than 1 g.m<sup>-2</sup>, which indicates the absence of species that reach larger sizes.

The indexes of specific richness, diversity, and equity (Table 7) showed variations among the different sites evaluated. Station 1 had the lowest diversity (0.569 bits.ind<sup>-1</sup>), which was due to the abundance of nematodes, associated with the low number of species; station 7 showed greater diversity (2.52 bits.ind<sup>-1</sup>) and greater equity value (0.83), which indicates uniformity in the distribution of the number of individuals among the species.

The specific richness indexes are low and this is explained by the presence of a low number of species and individuals in each of the stations.

Figures 18 and 19a, b show the density distributions, diversity, and specific richness indexes, respectively. We can see in all of them that no fauna was found in the northern and most coastal part of the bay. Likewise, the southern part had low values of density, diversity, and species richness. There is an increase in the values towards the main entrance of Ferrol Bay in all three cases, but this patch is mainly made up of juveniles of various species.

Tabla 7.- Parámetros comunitarios de macrobentos de fondo blando por estaciones de muestreo. Bahía Ferrol, Chimbote. 22 - 25 de junio 2002

Table 7. Community parameters of soft bottom macrobenthos by sampling stations in Ferrol Bay, Chimbote. June 22 25th, 2002

Est. Sta.	Prof. Depth (m)	Oxígeno Oxygen (mL/L <sup>-1</sup> )	Densidad Density ind.m <sup>-2</sup>	Biomasa Biomass (g.m <sup>-2</sup> )	Número de especies Number of species	Riqueza Richness	Diversidad Diversity bitios.ind <sup>-1</sup>	Equidad Equity J'	Tipo de sedimento Sediment
1	10	1,02	400	0,026	3	0,67	0,57	0,36	
2	6	0,70	0	0	0	0	0	0	Fango arenoso, olor sulfuroso
3	7	2,73	0	0	0	0	0	0	
4	9	0,80	60	0,802	2	0,91	0,92	0,92	Sandy mud, sulfur odor
6	14	0,66	2860	89,00	12	2,22	2,38	0,66	
7	11	0,33	460	0,220	8	2,23	2,52	0,84	
8	16	1,46	80	0,098	4	2,16	2,00	1,00	Fango suelto, olor sulfuroso Loose mud, sulfur odor
10	10	0,33	40	0,112	2	1,44	1,00	1,00	Fango arenoso, olor sulfuroso
11	12	0,89	360	3,382	7	2,08	2,21	0,79	
12	7	0	180	0,432	2	0,46	0,92	0,92	Sandy mud, sulfur odor
13	8	0,80	180	0,888	2	0,46	0,76	0,76	
Máximo Maximum	16	2,73	2860	89,00	12	2,23	2,52	1,00	
Mínimo Minimum	6	0	0	0	0	0	0	0	
Promedio Mean		0,88	420	8,633	4	1,15	1,21	0,66	

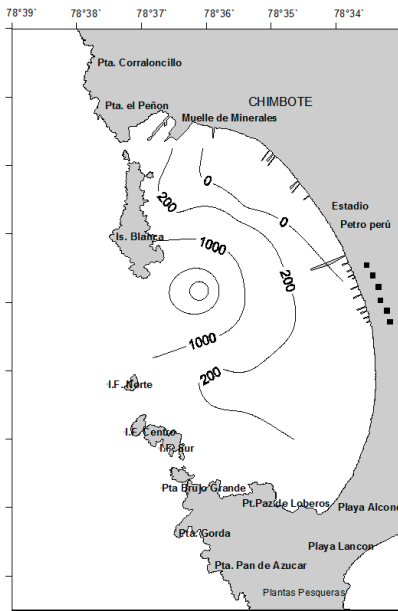


Figura 18.- Distribución de la densidad de organismos (N° ind. m<sup>-2</sup>, Bahía Ferrol, Chimbote. Junio 2002

Figure 18. Distribution of the density of organisms (N° ind. m<sup>-2</sup>, Ferrol Bay, Chimbote. June 2002

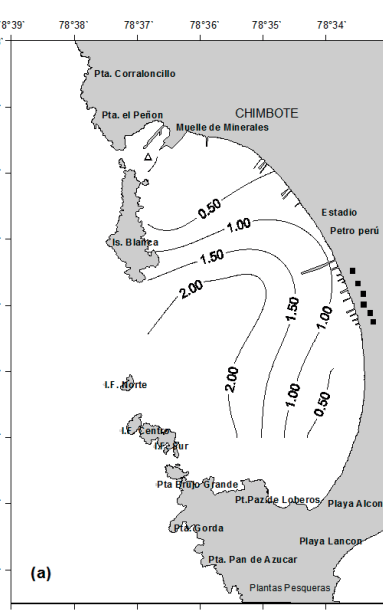
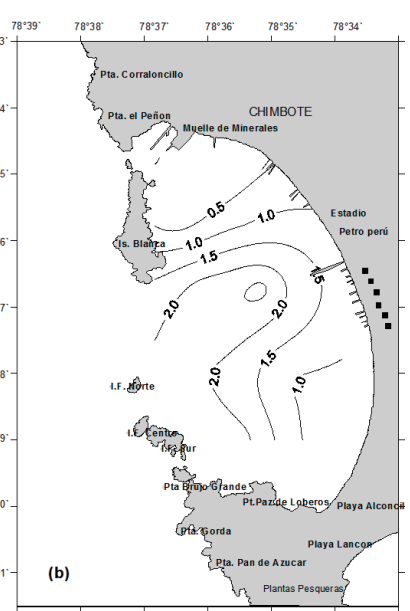


Figura 19.- Distribución de riqueza específica de Margalef (a) y (b) Distribución de diversidad de Shannon-Wiener (bitios.ond.m-1) en la Bahía Ferrol, Chimbote. Junio 2002

Figure 19. Distribution of Margalef's specific richness (a) and (b) Distribution of Shannon-Wiener diversity (bits.ind.m-1) in Ferrol Bay, Chimbote. June 2002



La clasificación numérica y el análisis de ordenamiento NMDS (Figs. 20, 21) de los organismos bentónicos revelan la presencia de 3 grupos comunitarios distintos ordenados en un gradiente latitudinal. El primer grupo conformado por las estaciones 1 y 4 ubicadas al norte de la bahía, donde dominaron los nemátodos y además se encontraron las dos estaciones sin fauna. Esta área se ve afectada directamente por las descargas de aguas residuales domésticas, de las plantas de harina de pescado y de la siderúrgica de Chimbote. Los substratos predominantes de estas zonas son fangos arenosos, color negro con fuerte olor a sulfuros.

El segundo grupo está conformado por las estaciones 6 y 7 y se caracterizan por presentar altos valores en número de especies, diversidad y densidad. Estas estaciones se encuentran en la parte central de la bahía, cerca de la bocana principal. *Owenia collaris*, *Diopatra chiliensis* y *Leitoscoloplos chilensis* son los organismos predominantes, pero todos ellos en estados juveniles.

El tercer grupo está conformado por las estaciones 8, 11, 12 y 13, todas ubicadas al sur de la bahía, presentan bajo número de especies y se caracterizan por presentar a la especie *Mediomastus branchiferus* y al holoturoideo *Cucumaria* sp. Los substratos predominantes son fango limosos y arenosos con fuerte olor a sulfuros. En esta zona, a pesar de no existir fuentes directas de perturbación, la baja densidad, bajo número de especies y baja diversidad se deben al proceso general de eutrofización al que está sometida la bahía, desde el inicio del crecimiento de la ciudad y la industria pesquera, lo cual se acentuó debido a la condición de la bahía que es semicerrada y con una lenta circulación de las aguas.

Numerical classification and NMDS ordering analysis (Figs. 20, 21) of benthic organisms reveal the presence of 3 different community groups ordered in a latitudinal gradient. The first group is formed by stations 1 and 4 located in the north of the bay, where nematodes dominated and the two stations were found to have no fauna. This area is directly affected by the discharge of domestic wastewater, from the fishmeal plants, and the Chimbote steelworks. The predominant substrates in these areas are sandy mud, black colored with a strong sulfur odor.

The second group is formed by stations 6 and 7 and is characterized by high values in the number of species, diversity, and density. These stations are located in the central part of the bay, near the main entrance. *Owenia collaris*, *Diopatra chiliensis*, and *Leitoscoloplos chilensis* are the predominant organisms, although all of them are in their juvenile stages.

The third group is formed by the stations 8, 11, 12, and 13, all located to the south of the bay. They have a low number of species and are characterized by presenting the species *Mediomastus branchiferus* and the holothuroid *Cucumaria* sp. The predominant substrates are muddy and sandy with a strong sulfur odor. Despite the absence of direct sources of disturbance in this area, the low density, low number of species, and low diversity are due to the general process of eutrophication caused by the growth of the city and the fishing industry, which was accentuated due to the condition of the bay which is partially closed and with a slow circulation of the seawaters.

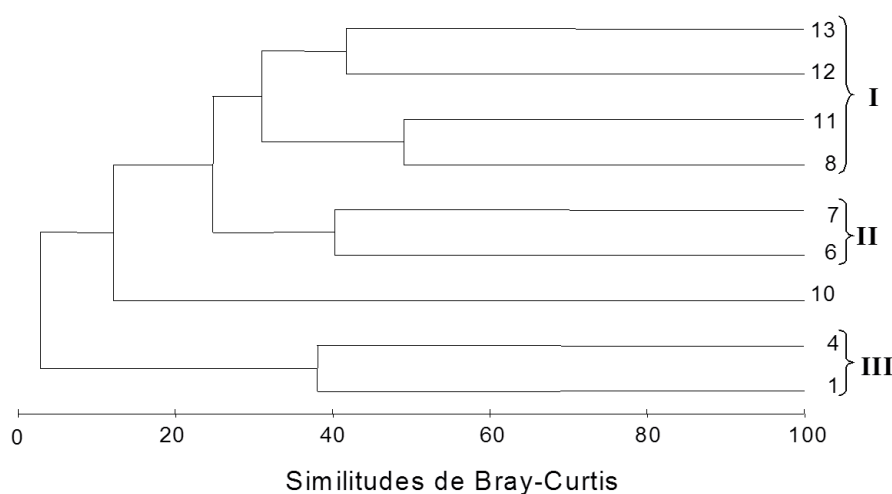


Figura 20.- Dendrograma de similitudes entre estaciones con base en la matriz de abundancias, Bahía Ferrol-Chimbote. Junio 2002

Figure 20. Similarities dendrogram between stations based on the abundance matrix, Ferrol Bay, Chimbote. June 2002

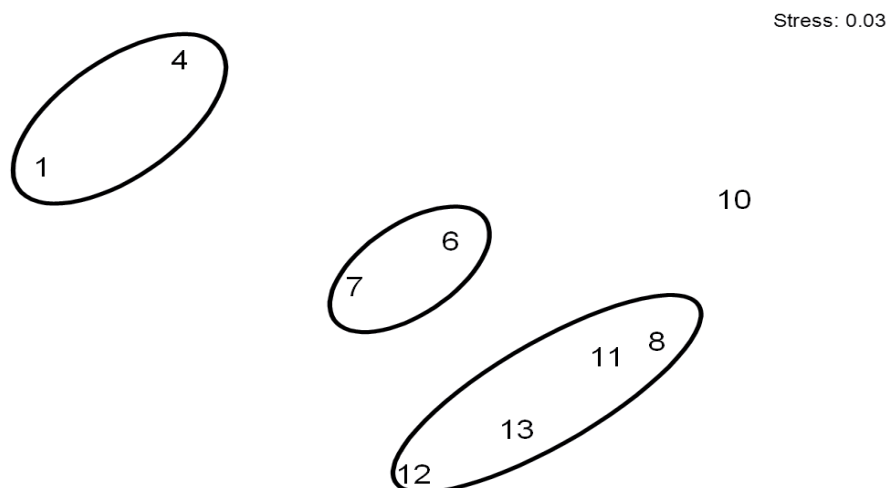


Figura 21.- Diagrama de ordenación MMDS en la Bahía Ferrol-Chimbote. Junio 2002

Figure 21. Diagram of NMDS ordering in Ferrol Bay, Chimbote. June 2002

### Efectos de la contaminación sobre el macrobentos

Los efectos de la contaminación se pueden estimar mediante los cambios en la estructura de la comunidad bentónica (CARBAJAL, 1998).

En esta evaluación se han observado algunas características que tipifican a comunidades perturbadas. La biomasa total del macrobentos en la mayoría de los puntos de muestreo es baja ( $<1 \text{ g.m}^{-2}$ ) lo cual indica inestabilidad en el medio que no permite el desarrollo de especímenes grandes.

Los índices de diversidad son todos menores a 3 bits.ind<sup>-1</sup>, señalado como valor compatible para comunidades bentónicas marinas. Los valores de la riqueza específica son igualmente bajos, debido a la escasez de especies observadas en cada una de las zonas evaluadas.

La magnitud del impacto, medida a través de la diversidad de Shannon y Wiener (MINISTERIO DE PESQUERÍA, 2002) nos indicó que las estaciones 1, 4, 12 y 13 estuvieron en un estado crítico, las estaciones 8 y 10 tenían severo impacto y las estaciones 6, 7 y 11 un impacto medio.

La Bahía Ferrol ha sido estudiada con cierta regularidad desde hace varios años, todas las investigaciones han concluido en la severidad de los efectos de la contaminación sobre las comunidades bentónicas en la parte norte de la bahía de Ferrol, donde casi no existe fauna

### Effects of pollution on macrobenthos

We can estimate the effects of pollution by changing the structure of the benthic community (CARBAJAL, 1998).

In this evaluation, we have observed some characteristics that typify disturbed communities. The total biomass of the macrobenthos in most of the sampling points is low ( $<1 \text{ g.m}^{-2}$ ) which indicates instability in the environment that does not allow the development of large specimens.

The diversity indexes are all less than 3 bits.ind<sup>-1</sup>, which has been indicated as a compatible value for marine benthic communities. The values of species richness are equally low, due to the scarcity of species observed in each of the areas evaluated.

The magnitude of the impact, measured through the diversity of Shannon and Wiener (MINISTERIO DE PESQUERÍA, 2002) indicated that stations 1, 4, 12, and 13 were in a critical state, stations 8 and 10 had a severe impact and stations 6, 7, and 11 exhibited a moderate impact.

For several years, with some regularity has been studied Ferrol Bay. All research has concluded on the severity of the effects of pollution on benthic communities in the northern part of Ferrol Bay, where benthic fauna is almost non-existent (ROMERO, 1990; OROZCO *et al.*, 1997; ENRÍQUEZ *et al.*, 1998; QUIPUZCOA *et al.*, 1999). This evaluation



bentónica (ROMERO, 1990; OROZCO *et al.*, 1997; ENRÍQUEZ *et al.*, 1998; QUIPUZCOA *et al.*, 1999). Esta evaluación ha permitido confirmar esta situación y determinar que los efectos, incluso, se pueden observar en áreas alejadas de la zona donde se concentra la actividad humana, lo que indica una generalización de la eutrofización en toda la bahía.

El número de especies registrado en esta evaluación no difiere de lo observado por otros autores, pero sí en la composición de la misma, QUIPUZCOA *et al.* (1999), OROZCO *et al.* (1997) y ENRÍQUEZ *et al.* (1998) encontraron como abundantes y dominantes a los poliquetos *Magelona phyllisae* y especímenes de la familia Capitellidae. En esta evaluación hallamos a *Owenia collaris* y *Diopatra chiliensis* como los más abundantes, aunque en estadios juveniles. Esta alternancia en la dominancia de especies no hace sino confirmar la inestabilidad del ecosistema en esta zona y que es aprovechada indistintamente por diferentes grupos taxonómicos.

Los índices de diversidad en general son bajos, el promedio en la presente prospección fue 1,21 bits/ind. Comparando con la diversidad promedio registrada por QUIPUZCOA *et al.* (1999) el valor hallado no es muy diferente. Estos bajos índices se atribuyen a los valores críticos de oxígeno que se presentan en la bahía, los cuales son anóxicos e hipóxicos, producto del vertimiento de aguas residuales de la industria pesquera, principalmente.

Los criterios aplicados para detectar perturbación en las comunidades bentónicas, nos indican que sí existe perturbación, crítica en la parte norte de la bahía, severa en la parte central y sur de la bahía y media en las inmediaciones de la bocana principal de la bahía.

Los métodos de clasificación y ordenación multivariadas nos han permitido establecer las agrupaciones que hay en la bahía y estas coinciden con las áreas consideradas con perturbación crítica, severa o media, lo cual responde a un patrón latitudinal de norte a sur.

## Contaminantes químicos en sedimentos

### Metales pesados

En la tabla 8 se presentan los resultados analíticos de cadmio, plomo, cobre, cinc e hidrocarburos aromáticos totales obtenidos en sedimentos superficiales.

has confirmed this situation and determined that the effects can even be observed in areas far from the zone where the anthropogenic activity is concentrated, indicating a generalization of eutrophication throughout the bay.

The number of species recorded in this evaluation does not differ from what has been observed by other authors, but the species composition is different. QUIPUZCOA *et al.* (1999), OROZCO *et al.* (1997), and ENRÍQUEZ *et al.* (1998) found the polychaetes *Magelona phyllisae* and specimens of the family Capitellidae to be abundant and dominant. In this evaluation, we found *Owenia collaris* and *Diopatra chiliensis* as the most abundant, although in juvenile stages. This alternation in the dominance of species only confirms the instability of the ecosystem in this area and that is used indiscriminately by different taxonomic groups.

Overall, diversity indexes are low. In this survey, the mean was 1.21 bits/ind. When compared to the mean diversity recorded by QUIPUZCOA *et al.* (1999) the value found is not very different. These low indexes are due to the critical values of oxygen in the bay, which are anoxic and hypoxic, resulting from the discharge of wastewater from the fishing industry, mainly.

The criteria applied to detect a disturbance in benthic communities indicate that there is a disturbance, which is critical in the northern part of the bay, severe in the central and southern part, and moderate in the vicinity of the main entrance to the bay.

The multivariate classification and ordering methods have allowed us to establish the groupings that exist in the bay and these coincide with the areas considered to be critically, severely, or moderately disturbed, which respond to a latitudinal pattern from north to south.

## Chemical pollutants in sediments

### Heavy metals

Table 8 provides the analytical results of cadmium, lead, copper, zinc, and total aromatic hydrocarbons obtained in surface sediments.

Tabla 8.- Trazas de metales e hidrocarburos en sedimentos de la Bahía Ferrol-Chimbote. 22- 25 junio 2002

Table 8. Traces of metals and hydrocarbons in sediments of Ferrol Bay, Chimbote. June 22- 25th, 2002

Est. Sta.	Posición Location	Fondo Bottom (m)	Cd (µg/g)	Pb (µg/g)	Cu (µg/g)	Zn (µg/g)	HPAT** (µg/g)
1	9°4'45,06" 78°36'49,74"	10	0,29	1,15	22,04	37,44	9,14
2	9°4'45,24" 78°36'03,24"	6	0,58	2,38	22,38	23,08	9,42
3	9°5'43,20" 78°36'30,00"	8	1,32	4,93	21,72	13,27	2,43
4	9°5'43,20" 78°35'27,00"	9	1,00	2,47	19,53	12,35	4,88
5	9°5'39,18" 78°34'39,00"	7	7,57	4,21	27,70	15,90	10,18
6	9°6'49,80" 78°36'2,16"	13,5	1,37	4,95	13,04	15,06	1,88
7	9°6'43,14" 78°35'9,60"	11	3,26	2,94	20,44	6,58	-
8	9°7'57,84" 78°35'59,82"	14	2,08	6,89	36,10	9,84	0,86
9	9°6'52,62" 78°34'7,14"	7,6	8,85	5,85	35,02	10,28	6,21
10	9°8'2,40" 78°34'50,10"	10	0,35	6,57	32,79	12,70	2,01
11	9°9' 0,54" 78°35'28,68"	12	6,12	0,88	40,41	7,05	0,08
12	9°8'0,96" 78°33'53,10"	8	1,97	5,03	22,53	7,00	1,02
13	9°9'0,06" 78°34'16,26"	8	8,38	3,73	38,43	3,16	3,92
		Promedio Mean	3,32	4,00	27,09	13,36	4,34
Fondo Bottom		Min	0,29	0,88	13,04	3,16	0,08
		Max	8,85	6,89	40,41	37,44	10,18

\*Referido a muestra liofilizada / Refers to a freeze-dried sample

\*\* Hidrocarburo de petróleo aromáticos totales, expresados en unidades de criseno por muestra seca / Total aromatic petroleum hydrocarbons, expressed in chrysene units per dry sample

**Cadmio.-** La mayor concentración de cadmio total (8,85 µg/g) se detectó a 7,6 m de profundidad en la estación 9 (Fig. 22a), valor superior registrado en contraste con el sedimento superficial de la bahía San Vicente, Chile calificada de no contaminada, donde los valores de cadmio variaron de 3 a 5,8 µg/g.

**Plomo.-** La mayor concentración de plomo total (6,89 µg/g) se detectó a 14 m de profundidad en la estación 8 (Fig. 22b) esta concentración es muy inferior al sedimento superficial de la bahía San Vicente, Chile calificada de no contaminada (AHUMADA, 1992) donde los valores de plomo variaron de 19 a 54 µg/g.

**Cobre.-** La mayor concentración de cobre total (40,41 µg/g) se detectó a 12 m de profundidad en la estación 11, esta concentración es inferior a la bahía San Vicente, Chile (AHUMADA, 1992) donde los valores de cobre variaron de 50 a 68 µg/g.

**Cinc.-** El cinc total varió de 3,16 a 37,44 µg/g y la más elevada concentración se detectó a 10 m de profundidad en la estación 1 frente al muelle de minerales. El valor más elevado se encuentra en el rango establecido de 30,2 a 135 µg/g para el Golfo de Nicoya (Fig. 23a, b).

**Cadmium.-** The highest total cadmium concentration (8.85 µg/g) was detected at a depth of 7.6 m at Station 9 (Fig. 22a). This value is higher than the one found in San Vicente Bay, Chile, which was classified as unpolluted, where cadmium values ranged from 3 to 5.8 µg/g.

**Lead.-** The highest total lead concentration (6.89 µg/g) was detected at a depth of 14 m at Station 8 (Fig. 22b). This concentration is much lower than the one found in San Vicente Bay, Chile, which is classified as unpolluted (AHUMADA, 1992) where lead values ranged from 19 to 54 µg/g.

**Copper.-** The highest concentration of total copper (40.41 µg/g) was detected at a depth of 12 m at Station 11. This concentration is lower than in San Vicente Bay, Chile (AHUMADA, 1992) where copper values varied from 50 to 68 µg/g.

**Zinc.-** Total zinc varied from 3.16 to 37.44 µg/g and the highest concentration was detected at a depth of 10 m at Station 1 off the ore-shipping dock. The highest value is within the established range of 30.2 to 135 µg/g for the Gulf of Nicoya (Fig. 23a, b).

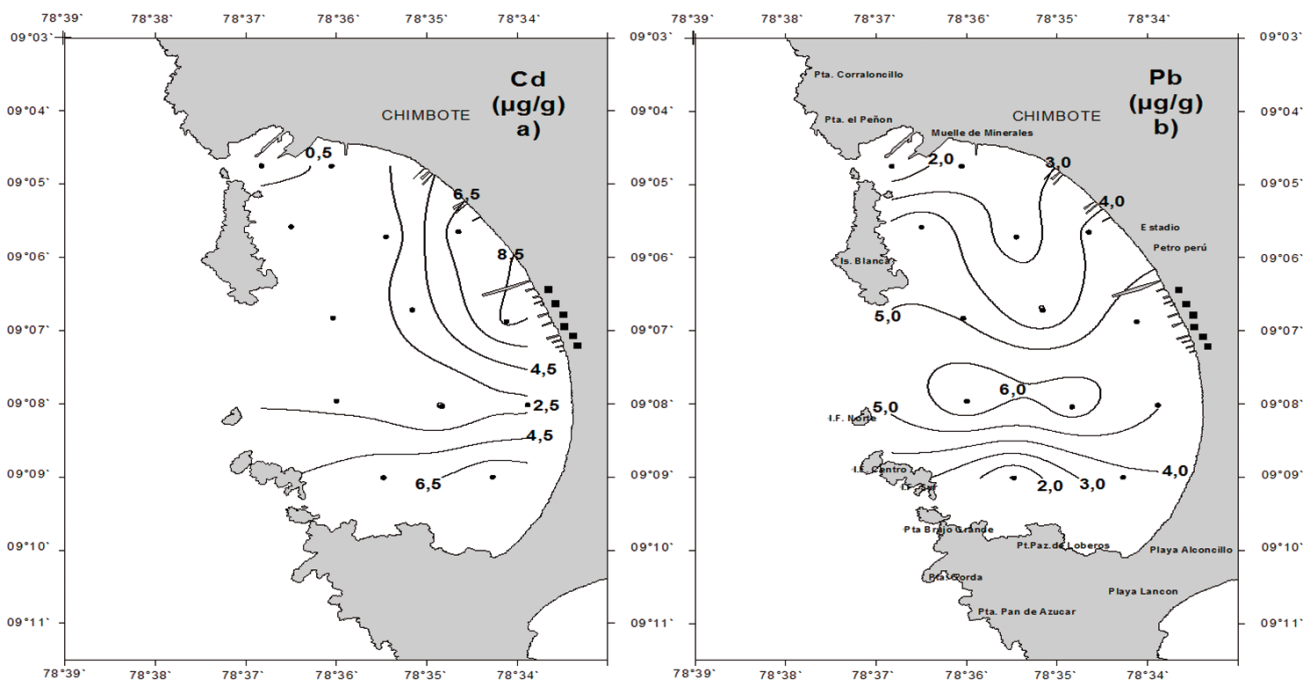


Figura 22.- Distribución de cadmio a), plomo b) en sedimentos superficiales de la Bahía Ferrol-Chimbote. Junio 2002

Figure 22. Distribution of cadmium a), lead b) in surface sediments of Ferrol Bay, Chimbote. June 2002

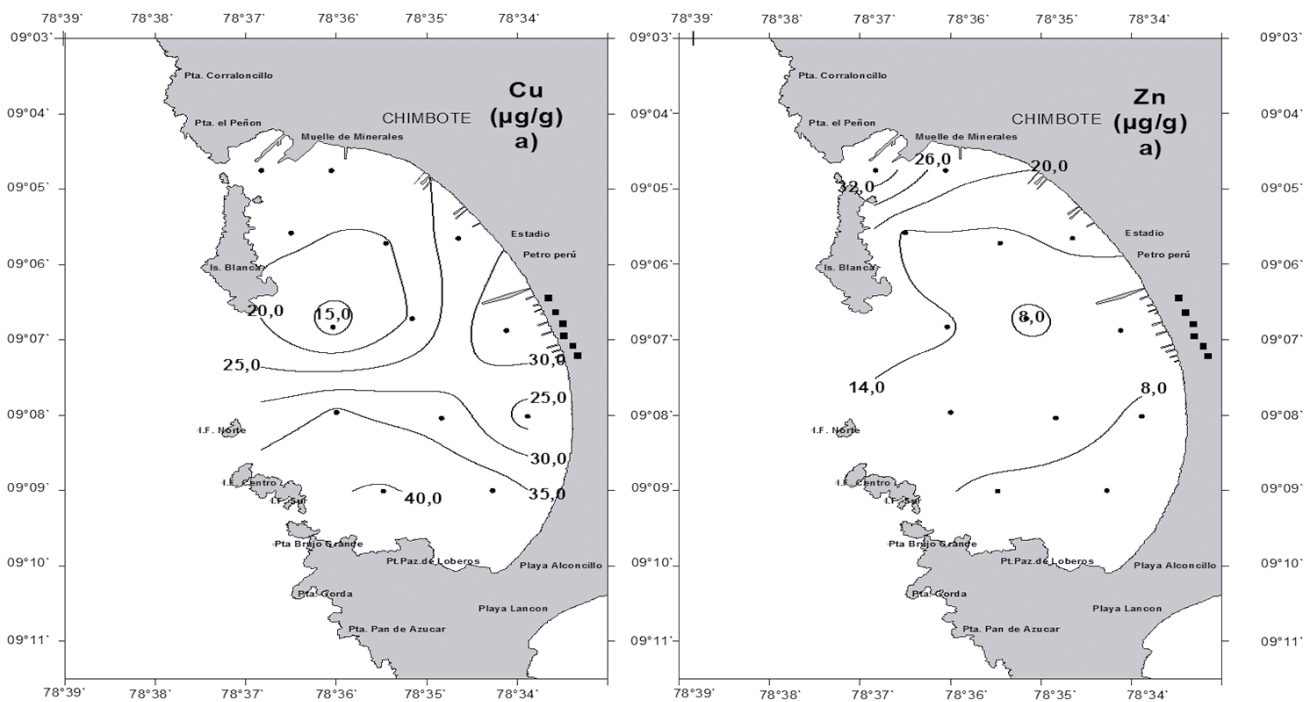


Figura 23.- Distribución de cobre a) y cinc b) en sedimentos superficiales de la Bahía Ferrol-Chimbote. Junio 2002

Figure 23.- Distribution of copper a) and zinc b) in surface sediments of Ferrol Bay, Chimbote. June 2002

### Hidrocarburos de petróleo

Las concentraciones de hidrocarburos en sedimentos variaron entre < 0,1 µg/g (estación 11) y 10,18 µg/g (estación 5) con promedio general de 4,34 µg/g (Fig. 24), concentraciones que se encuentran dentro de los rangos registrados entre el período 1995 – 1998 (CABELLO y JACINTO, 2000); sin embargo, se observa disminución con respecto a las máximas concentraciones halladas en el año 1998. Como se observa en la figura 24 hay una tendencia creciente del centro hacia el norte de la bahía. Los puntos críticos se registran en las estaciones 1, 2 (entre los muelles minerales y Gildemeister) y 5 (al norte de los tanques de almacenamiento de petróleo). La concentración promedio de hidrocarburos al norte de la bahía (estaciones del 1 al 5) es de 7,2 µg/g, mientras que la zona centro y sur presenta un promedio de 2,6 µg/g, que son similares a las registradas en ciertas zonas de las áreas costeras del Callao y Talara, consideradas críticas de contaminación por este tipo de compuestos orgánicos.

Esta mayor concentración hacia el norte está asociada a la predominancia de corrientes generalmente de débiles a moderadas dentro de la bahía, con flujos de aguas que ingresan del sur hacia el norte (IMARPE, 2000) así como al tipo de grano más fino (arcillo limoso) del sedimento y elevado contenido de materia orgánica (6-19%), según VELAZCO (1998 y 1999).

El contenido de hidrocarburos de petróleo, especialmente en sedimento, ha presentado un incremento entre los períodos 1995–1998 (JACINTO y CABELLO, 1999). Este incremento (Fig. 25) registrado especialmente en los meses de verano 1998, ha mostrado disminución con respecto a la presente evaluación, disminución que estaría asociada a los intensos procesos de óxido reducción y por ende a la menor disponibilidad de la materia orgánica, compuesto que se caracteriza por una gran afinidad con diversos contaminantes.

Es innegable que existen numerosas fuentes en la bahía que aportan significativamente al ingreso de compuestos hidrocarbonados al ecosistema marino. Destacan entre ellas las descargas industriales y domésticas, mencionadas anteriormente; las operaciones (limpieza, lastre) de las embarcaciones pesqueras artesanales que en número de aproximadamente 250 (ESCUADERO, 1997) confluyen en la bahía, así como las posibles fugas de combustible en la línea submarina durante las operaciones de abastecimiento a los tanques de almacenamiento del crudo.

### Petroleum hydrocarbons

Hydrocarbon concentrations in sediments varied between < 0.1 µg/g (station 11) and 10.18 µg/g (station 5) with an overall mean of 4.34 µg/g (Fig. 24). These concentrations are within the ranges recorded between 1995 - 1998 (CABELLO & JACINTO, 2000). Nevertheless, we observed a decrease when compared to the maximum concentrations found in 1998. Figure 24 shows an increasing tendency from the center to the north of the bay. Critical points are recorded at stations 1, 2 (between mineral docks and Gildemeister), and 5 (north of oil storage tanks). The mean concentration of hydrocarbons to the north of the bay (stations 1 to 5) is 7.2 µg/g, while the central and southern zones show a mean of 2.6 µg/g, which are similar to those recorded in certain areas of the coasts of Callao and Talara, which are considered to be critically polluted by this type of organic compounds.

This greater concentration towards the north is associated with the predominance of generally weak to moderate currents within the bay, with water flows entering from the south towards the north (IMARPE, 2000) as well as with the finer grain (silty clay) of the sediment and high organic matter content (6-19%), according to VELAZCO (1998 and 1999).

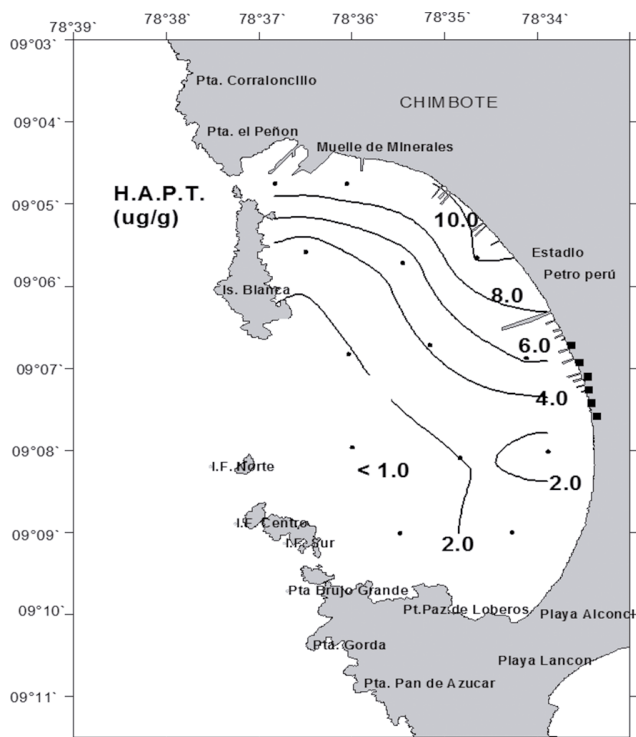


Figura 24.- Distribución de Hidrocarburos de petróleo aromáticos totales en Sedimentos Marinos de la Bahía Ferrol-Chimbote. Junio 2002

Figure 24. Distribution of Total Aromatic Petroleum Hydrocarbons in Marine Sediments of Ferrol Bay, Chimbote. June 2002

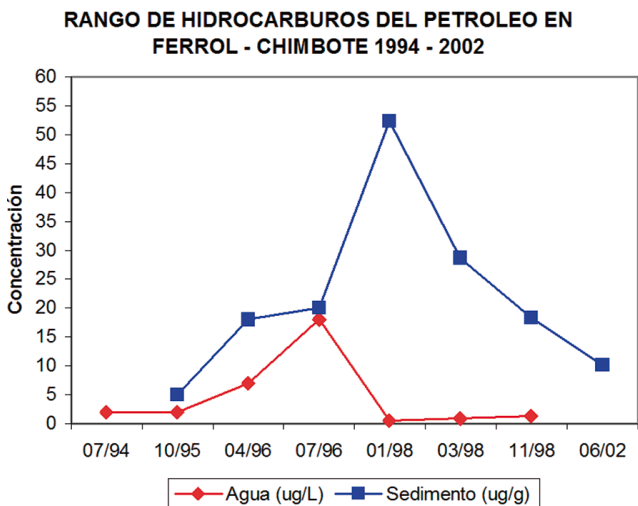


Figura 25.- Valores máximos de HCP hallados en la Bahía Ferrol-Chimbote. Junio 2002

Figure 25. Maximum values of petroleum hydrocarbons found in Ferrol Bay, Chimbote. June 2002

Otra fuente importante es la manipulación de combustibles o quema de residuos orgánicos observado en línea de playas, durante las actividades de recuperación de aceite proveniente de los efluentes pesqueros; esta quema genera compuestos hidrocarbonados aromáticos policíclicos (PAHs) que por precipitación atmosférica ingresan al medio marino incrementando los niveles naturales existentes.

#### 4. CONCLUSIONES

Se registraron isóbatas desde 4,70 hasta 30 metros dentro de la Bahía Ferrol, distribuidas desde 0,15 mn cerca de la franja costera hasta las 3 mn en la entrada de la bahía, entre las islas Blanca y Ferrol Norte.

El espesor de fango del fondo acumulado en la Bahía Ferrol alcanzó hasta 2,5 metros, los mayores espesores (1,5 a 2,5 m) se distribuyeron en áreas someras protegidas cerca de la línea de costa y los menores (0,5 a 1,0 m) en la parte central de la bahía donde existe mayor circulación de las corrientes marinas.

El área rastreada en la Bahía Ferrol fue de 12,16 mn<sup>2</sup>, el total de volumen estimado del fango fue de 54.705.671 m<sup>3</sup>.

La temperatura varió de 16,0 a 18,9 °C en superficie y de 15,2 a 16,3 °C en fondo.

Los niveles más bajos de oxígeno disuelto se detectaron en el fondo y frente a las plantas pesqueras, inclusive detectándose áreas anóxicas.

The petroleum hydrocarbon content, especially in sediment, has shown an increase between 1995 - 1998 (JACINTO & CABELLO, 1999). This increase (Fig. 25), specially recorded in summer 1998, has shown a decrease when compared to this evaluation. Such decrease would be associated with the intense oxide reduction processes and therefore to the lower availability of organic matter, a compound characterized by a high affinity with several pollutants.

We know that numerous sources in the bay contribute significantly to the entry of hydrocarbon compounds into the marine ecosystem. These include the industrial and domestic discharges aforementioned as well as the operations (cleaning, ballasting) of the artisanal fishing vessels - about 250 - (ESCUADERO, 1997) that converge on the bay, as well as the possible fuel leaks in the underwater line during the operations to supply the crude oil storage tanks.

Another important source is the manipulation of fuels or burning of organic waste observed at the beach line, during the activities of recovery of oil from fishing effluents. This burning generates polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) that by atmospheric precipitation enter into the marine environment increasing the existing natural levels.

#### 4. CONCLUSIONS

We recorded isobaths from 4.70 to 30 meters inside Ferrol Bay, distributed from 0.15 nm near the coastal strip to 3 nm at the entrance of the bay, between the Blanca and Ferrol Norte islands.

In the bottom, the thickness of the accumulated mud in Ferrol Bay reached up to 2.5 meters, the biggest thicknesses (1.5 to 2.5 m) were distributed in shallow protected areas near the coastline and the smaller ones (0.5 to 1.0 m) in the central part of the bay where there is more circulation of the marine currents.

The area tracked in Ferrol Bay was 12.16 mn<sup>2</sup>, the total estimated volume of mud was 54,705,671 m<sup>3</sup>.

The temperature varied from 16.0 to 18.9 °C on the surface and from 15.2 to 16.3 °C at the bottom.

The lowest levels of dissolved oxygen were detected at the bottom and off the fishing plants, including anoxic areas.

En general los valores registrados de sólidos totales suspendidos en ambos niveles de muestreo son menores a 100 mg/L, estipulados en la Ley General de Aguas.

El valor medio representativo de sulfuro de hidrógeno a nivel de fondo fue de 0,73  $\mu\text{g-at H}_2\text{S-S/L mg/L}$ , ligeramente elevado debido a los procesos de óxido-reducción que ocurren en la bahía.

A pesar de observarse una reducción en las concentraciones de hidrocarburos de petróleo en los sedimentos con relación a 1998, al norte de la bahía se presentan concentraciones altas de esos compuestos, similares a áreas críticas de contaminación como Callao y Talara.

Existen numerosas fuentes de origen terrestre y marítimo que contribuyen a un aporte adicional de compuestos hidrocarbonados en el ecosistema marino de la bahía.

Los índices de diversidad y riqueza específica indican que la bahía de Ferrol se encuentra perturbada en diferentes grados.

La comunidad de esta área está compuesta casi exclusivamente por estadios juveniles de poliquetos, siendo escasa la presencia de moluscos, crustáceos y otros grupos menores.

La comunidad macrobentónica está dividida en tres grupos, uno al norte con perturbación crítica, otra en la zona central con perturbación media y otra al sur con perturbaciones severas y media.

Generally, the recorded values of total suspended solids at both sampling levels are less than 100 mg/L, as stipulated in the General Water Law.

In the bottom, the mean representative value of hydrogen sulfide was 0.73  $\mu\text{g-at H}_2\text{S-S/L mg/L}$ , which is slightly increased due to the oxidation-reduction processes occurring in the bay.

Although we observed a reduction in the concentrations of petroleum hydrocarbons in the sediments when compared to 1998, high concentrations of these compounds are present in the north of the bay, which is similar to critically polluted areas such as Callao and Talara.

Numerous terrestrial and maritime sources enter an additional amount of hydrocarbon compounds into the marine ecosystem of the bay.

The diversity and species richness indexes indicate that there are different degrees of disturbance in Ferrol Bay.

The community of this area is formed almost exclusively by juvenile stages of polychaetes. The presence of mollusks, crustaceans, and other minor groups is scarce.

The macrobenthic community is divided into three groups, one in the north with critical disturbance, one in the central zone with moderate disturbance, and the last one in the south with severe and moderate disturbances.

## REFERENCIAS / REFERENCES

- AHUMADA R. 1992. Patrones de distribución espacial de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd y Pb en sedimentos superficiales de la bahía San Vicente, Chile. *Rev. Biol. Mar., Valparaíso*. 27(2): 265-282.
- APHA-AWWA-WPCF. 1998. *STANDARD METHODS for the examination of water and wastewater*. 20<sup>th</sup> Edition. 20: 1220 pp.
- CABELLO R, JACINTO M. 2000. Niveles de hidrocarburos de petróleo en el ecosistema marino costero del Perú. Bahías seleccionadas. Período 1997 - 1998. *Inf. Interno*.
- CARBAJAL W. 1998. Detección de los efectos ambientales sobre las comunidades marinas. Manual curso de entrenamiento. Instituto del Mar del Perú.
- COMISIÓN PERMANENTE DEL PACIFICO SUR, CPPS. 2000. Estado del medio ambiente marino y costero del Pacífico Sudeste. Plan de Acción para la protección del medio marino y áreas costeras del Pacífico Sudeste.
- DEAN W. 1974. Determination of Carbonate and Organic matter in calcareous sediments and rocks by loss on ignition: Comparison with other methods. *Jour. Sed. Petrology*. 44(1): 242-248.
- ENRÍQUEZ E, OROZCO R, CASTILLO S, FERNÁNDEZ E, MORÓN O, CÓRDOVA J, SÁNCHEZ S. 1998. Estado del ecosistema marino costero de las bahías Ferrol y Samanco afectado por vertidos domésticos e industriales. (10-13 de junio de 1997). Informe interno AEIE.
- ENVIRONMENTAL LABORATORY BRITISH COLUMBIA. 1976. *Water Resources Service*. Department of environment. 2<sup>nd</sup> edition. 32 pp.
- ESCUADERO L. 1997. Encuesta estructural de la pesquería artesanal del litoral peruano. *Inf Prog Inst Mar Perú*. (59): 3-87.
- FOLK R. 1954. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *Jour. Geology*. 62: 344-359.
- IMARPE. 2000. Mediciones de respuestas ecofisiológicas y ecotoxicológicas para la determinación de límites máximos permisibles de efluentes pesqueros en diferentes áreas del litoral peruano. Informe final. Comisión de Límites máximos permisibles.

- INGRAM R. 1971. Sieve Analysis. In: *Procedures in Sedimentary Petrology*. Eds. Carver, RE, de. Cap. New York. 3. pp. 49-67.
- JACINTO M, CABELLO R. 1999. Niveles de hidrocarburos de petróleo en el ecosistema marino costero del Perú. Bahías seleccionadas. Período 1996. *Inf Prog Inst Mar Perú*.110: 11-14.
- MINISTERIO DE PESQUERÍA. 2002. Protocolo de monitoreo de efluentes y cuerpo marino receptor. Resolución Ministerial N° 003-2002-PE. Separata especial El Peruano.
- OROZCO R, CASTILLO S, ENRÍQUEZ E, FERNÁNDEZ E, MORÓN O, CÓRDOVA J. 1997. Evaluación de la calidad microbiológica del agua de mar y efectos de la contaminación sobre el ecosistema marino. *Inf Prog Inst Mar Perú- Callao*. 56: 3-25.
- QUIPUZCOA L, YUPANQUI W, MARQUINA R. 1999. Macrozoobentos en la bahía de Ferrol – Chimbote, octubre 1999. Informe interno IMARPE.
- ROMERO L. 1990. Estructura del macrozoobentos en áreas críticas del litoral peruano. Informe para optar el título Profesional de Biólogo. UNMSM. 32 pp.
- VELAZCO F. 1999. Informe del estudio sedimentológico. Proyecto: análisis comparativo entre el contenido de hidrocarburos de petróleo en especies comerciales y sedimentos correspondientes a las bahías de Samanco y F. Inf. Interno Inst. Mar Perú. DGIO.
- VELAZCO F. 1997, 1998. Componente geológica del proyecto “Estudio comparativo entre los niveles de hidrocarburos de petróleo en sedimentos y organismos en las Bahías de Ferrol y Samanco” IMARPE. Informe Interno. Callao.