INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

INFORME

ISSN 0378-7702

Volumen 44, Número 4

Octubre - Diciembre 2017
Callao, Perú

PERÚ Ministerio de la Producción

CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS FÍSICOS, QUÍMICOS, BIOLÓGICOS Y SEDIMENTOLÓGICOS EN LAS ISLAS BALLESTAS Y CHINCHA. 2013

CHARACTERIZATION OF THE PHYSICAL, CHEMICAL, BIOLOGICAL AND SEDIMENTOLOGICAL PROCESSES IN THE BALLESTAS AND CHINCHA ISLANDS. 2013

Octavio Morón[1] *Jorge Quispe* *Alberto Lorenzo* *Georgina Flores*
Sonia Sánchez *Katia Aronés* *Juana Solís* *Luis Quipuzcoa*

RESUMEN

Morón O, Quispe J, Lorenzo A, Flores G, Sánchez S, Aronés K, Solís J, Quipuzcoa L. 2017. Caracterización de los procesos físicos, químicos, biológicos y sedimentológicos en las islas Ballestas y Chincha. 2013. Inf Inst Mar Perú. Vol. 44(4): 472-506.- Entre el 1 y 13 de octubre 2013, se realizó el monitoreo de línea base en las islas Ballestas y Chincha y en la bahía Paracas, para determinar las características oceanográficas físicas, químicas, biológicas, (fitoplancton, zooplancton y bentos), sedimentológica y de metales pesados, que permitirán describir las condiciones ambientales del área marina. Del 1 al 6 de octubre, la temperatura superficial del agua de mar fluctuó entre 15,2 y 21 °C; los valores más bajos se detectaron en las islas Chincha, norte de Ballestas y zona costera al norte del río Pisco. Entre el 8 y 13 de octubre esta temperatura disminuyó, fluctuando de 14,3 a 20,7 °C. La salinidad en la capa superficial registró valores entre 34,814 y 35,092 ups, con promedio de 34,953 ups; su núcleo máximo (35,05 ups) se ubicó al norte del río Pisco y circundante a islas Ballestas, los mínimos estuvieron al sur del río Pisco e interior de la bahía de Paracas (34,9 ups). Las corrientes marinas en la capa superficial, registraron intensidades que variaron entre 0,42 y 49,73 cm/s, con promedio 17,56 cm/s. Las velocidades se intensificaron de este a oeste frente a islas Ballestas siguiendo el campo de flujo perpendicular a la línea costera. Las corrientes marinas a 5 m de profundidad presentaron flujos con intensidades que variaron entre 1,13 y 45,33 cm/s con promedio 14,87 cm/s. El oxígeno disuelto en la superficie del mar presentó concentraciones uniformes, ligeramente mayores a 5 mL/L en la parte central de la zona de estudio. Se registraron procesos focalizados de afloramiento costero con mayor intensidad entre las latitudes 13°38'-13°40'S. La zona mínima de oxígeno fue más superficial al sur de 13°45'S, donde se halló a 10 m de profundidad. Los parámetros de calidad ambiental evaluados (DBO5, coliformes totales, coliformes termotolerantes, sólidos suspendidos totales, sulfuro de hidrógeno, aceites y grasas y metales), cumplieron con los estándares nacionales, para la categoría 2 – Actividades Marino Costeras. Los volúmenes de plancton fluctuaron entre 0,332 y 2,429 $mL.m^{-3}$, el valor más alto fue registrado al sur-este de las islas Ballestas. El predominio del fitoplancton fue en el 51,7% de muestras, la predominancia del zooplancton y codominancia entre ambos grupos fue de 37,9 y 10,3%, respectivamente. El zooplancton estuvo conformado por 68 especies, pertenecientes a 22 grupos. Los grupos más frecuentes fueron copépodos, cirrípedos y apendicularias, los que se localizaron en 100% del área evaluada. Así mismo, destacaron por frecuencias los cladóceros, poliquetos, decápodos e ictioplancton (96%), larvas de pelecípodos (71%), larvas de braquiópodos (67%) y equinodermos (63%), entre otros. Los sedimentos predominantes en la zona de estudio en la bahía de Paracas corresponde a texturas conformadas por partículas finas con dominio de limo y arcilla y pequeños parches dispersos de arena localizados hacia las islas Ballestas y Chincha. Los más bajos contenidos orgánicos, asociados a sedimentos con predominancia de fracciones de arena y origen terrígeno, se hallaron en la zona cercana a la línea de costa, al interior de la bahía frente al Chaco, donde se ubica el mínimo valor (1,60%), seguido en magnitud por contenidos de MO en sedimentos ubicados próximos a las islas Ballestas y Chincha y alrededores de la desembocadura del río Pisco, al norte del área de estudio.

Palabras clave: Caracterización de procesos, islas Ballestas y Chincha, 2013

ABSTRACT

Morón O, Quispe J, Lorenzo A, Flores G, Sánchez S, Aronés K, Solís J, Quipuzcoa L. 2017. Characterization of the physical, chemical, biological and sedimentological processes in the Ballestas and Chincha Islands. 2013. Inf Inst Mar Peru. Vol. 44(4): 472-506.- Between October 1 and 13, 2013, baseline monitoring was carried out in the Ballestas and Chincha Islands and in the Paracas Bay, to determine the physical, chemical and biological oceanographic characteristics (phytoplankton, zooplankton and benthos), sedimentological and heavy metals, which will describe the environmental conditions of the marine area. From October 1 to 6, the surface temperature of seawater fluctuated between 15.2 and 21 °C; the lowest values were detected in the Chincha Islands, north of Ballestas and coastal area north of the Pisco River. Between October 8 and 13 this temperature decreased, fluctuating from 14.3 to 20.7 °C. The salinity in the superficial layer registered values between 34,814 and 35,092 ups, with an average of 34,953 ups; its maximum nucleus (35.05 ups) was located north of the Pisco River and surrounding Ballestas Islands, the minimum were south of the Pisco River and the interior of the Bay

1 Dirección General de Investigaciones Oceanográficas y Cambio Climático. IMARPE: Esq. Gamarra y Gral. Valle s/n, Callao. *omoron@imarpe.gob.pe*

of Paracas (34.9 ups). The marine currents in the superficial layer, registered intensities that varied between 0.42 and 49.73 cm/s, with average 17.56 cm/s. The speeds intensified from east to west in front of Ballestas Islands following the flow field perpendicular to the coastline. The marine currents to 5 m of depth presented flows with intensities that varied between 1,13 and 45,33 cm/s with average 14,87 cm/s. Dissolved oxygen at the sea surface showed uniform concentrations, slightly higher than 5 mL/L in the central part of the study area. There were registered processes of coastal outcrop with greater intensity between latitudes 13°38'-13°40'S. The minimum oxygen zone was more superficial south of 13°45'S, where it was found at 10 m depth. The environmental quality parameters evaluated (BOD5, total coliforms, thermotolerant coliforms, total suspended solids, hydrogen sulfide, oils and fats and metals), complied with the national standards, for category 2 - Coastal Marine Activities. The volumes of plankton fluctuated between 0.332 and 2.429 $mL.m^{-3}$, the highest value was registered to the south-east of the Ballestas Islands. The predominance of phytoplankton was in 51.7% of samples, the predominance of zooplankton and codominance between both groups was 37.9 and 10.3%, respectively. The zooplankton consisted of 68 species, belonging to 22 groups. The most frequent groups were copepods, cirípeds and apendicularias, which were located in 100% of the evaluated area. Likewise, cladocerans, polychaetes, decapods and ichthyoplankton (96%), pelecipod larvae (71%), brachiopod larvae (67%) and echinoderms (63%), among others, stood out for frequencies. The predominant sediments in the study area in the Bay of Paracas correspond to textures made up of fine particles with silt and clay dominion and small scattered patches of sand located towards the Ballestas and Chincha islands. The lowest organic contents, associated with sediments with predominance of sand fractions and terrigenous origin, were found in the area near the coastline, in the interior of the bay facing the Chaco, where the minimum value is located (1.60%), followed in magnitude by OM contents in sediments located near the Ballestas and Chincha islands and around the mouth of the Pisco river, north of the study area.
Keywords: Processes characterization, Ballestas and Chincha islands, 2013

1. INTRODUCCIÓN

Entre el 1 y 13 de octubre 2013, se realizó el monitoreo de línea base en las islas Ballestas y Chincha y en la bahía Paracas, enmarcado dentro del proyecto GEF-UNOPS: Hacia un manejo ecosistémico de la Corriente de Humboldt (GEMCH) – PIMS 4147; cuyos resultados servirán de respaldo para validar los enfoques de manejo diferenciado utilizados como herramientas de gestión.

Las islas Ballestas y Chincha, debido a sus ubicaciones geográficas, se encuentran en un área de alta productividad primaria asociada al ingreso de aguas frías ricas en nutrientes, procedentes de la bahía Independencia - San Juan, las mismas que convergen con las aguas cálidas de la zona originando marcados frentes térmicos y halinos.

La contaminación de la zona marino costera en el Perú es uno de los principales problemas ambientales, debido al incremento de actividades productivas que se desarrollan en dichas zonas, además de las actividades turísticas. En Pisco, la actividad pesquera es reconocida como un quehacer permanente de carácter discontinuo en razón de la naturaleza aleatoria de los recursos hidrobiológicos; sin embargo, esta actividad productiva cobra especial importancia dada la gran disponibilidad durante la "temporada de pesca". La zona costera, presenta regularmente alteraciones de la calidad del medio marino, registrándose en numerosas oportunidades discoloración del agua de mar, varazones de peces pequeños, invertebrados y abundante crecimiento de macroalgas en el litoral sur y norte de la ciudad de Pisco; asimismo, continuas zonas de anoxia, situaciones que corresponden a procesos de degradación de la materia orgánica (Sánchez *et al*. 1997).

En la capa subsuperficial, el fondo marino es muy importante como factor abiótico condicionante de la distribución de organismos bénticos (Vegas 1980), por lo que es necesaria la caracterización sedimentológica y geoquímica de los sedimentos. Estos estudios, en conjunto con la caracterización morfológica del fondo marino y las características hidrodinámicas y químicas de la columna de agua, ayudan a comprender los procesos que ocasiona la dispersión de sedimentos y de contaminantes particulados, así como los procesos biogeoquímicos en los sedimentos relacionados a la mineralización de la materia orgánica, contribuyendo a conocer mejor la ecología y el hábitat de los organismos bentodemersales.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

Los límites fueron de 13°36'47,6'' a 13°50'22,1''S y de 76°13'20,8''W a 76°26'12,9''W, incluyendo las islas Ballestas y Chincha y bahía de Pisco-Paracas, hasta el norte de la desembocadura del río Pisco (Fig. 1). Los límites geográficos para el estudio de línea base están enmarcadas dentro de los establecidos para la Reserva Nacional Sistema de Islas, Islotes y Puntas Guaneras RNSIIPG.

Por las características de los equipos y un mejor desarrollo de los trabajos, el estudio se realizó en dos etapas: la primera se ejecutó entre el 1 y 6 de octubre a bordo de la embarcación "Mar y Cielo", cubriendo las

latitudes 13°36' - 13°51'S y longitudes 76°12' - 76°27'W. Fueron programadas 65 estaciones en las que se realizaron determinación de corrientes marinas; registro continuo de temperatura, salinidad y oxígeno en la columna de agua; obtención de muestras de salinidad, oxígeno, nutrientes, clorofila-a, fitoplancton a profundidades estándar. Se complementó el trabajo con observaciones de dirección y velocidad del viento utilizando un anemómetro manual.

La segunda etapa fue realizada del 8 al 13 de octubre a bordo de la embarcación "Tío Chicha 2", se cubrió el mismo trayecto de la primera etapa (Fig. 3). Con las muestras de agua se realizaron los análisis de DBO2, microbiológicos, aceites y grasas, sulfuros, solidos suspendidos totales, y metales. También, se utilizaron redes de arrastre para fitoplancton (estándar) y zooplancton (baby bongo), se tomaron muestras triplicadas del fondo para el estudio de bentos y sedimentos. En todas las estaciones se tomó la temperatura superficial y se efectúo lanzamiento de CTD.

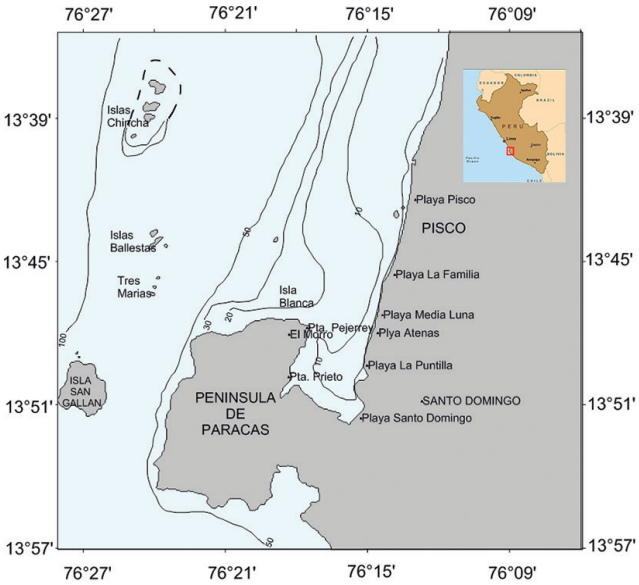

Figura 1.- Ubicación de bahía Paracas e islas Ballestas y Chincha

Hidrografía y dinámica física de las corrientes marinas

El trabajo se realizó del 1 al 6 octubre del 2013, en bahía Paracas e islas Ballestas. Se tomaron registros en superficie según carta de posiciones (Fig. 2) y en la columna de agua a profundidades estándares (NODC).

Se realizaron 65 estaciones hidrográficas, empleándose un CTD-O SBE 19Plus V2, modelo 6265, para registrar data de temperatura y salinidad; la información fue procesada con el programa del equipo "SeaBird" en la rutina SBE-DataProcessing-Win32. La toma de muestras de agua para análisis de salinidad, oxígeno, clorofila-a, nutrientes, fitoplancton y de contaminación marina, se efectuó con una botella Niskin de 5 L de capacidad.

En la determinación de las corrientes marinas se utilizó el correntómetro doppler (ADCP) RDI Sentinel de 300 Hrz portátil, fijado al casco de la embarcación en modo arrastre, que registró velocidad y dirección, tomando información en niveles (capas), de superficie a fondo en forma continua conforme se desplazaba la embarcación. La información se procesó usando el programa del fabricante (VMDAS, WINADCP), utilizando para los cálculos respectivos programas basados en MatLab.

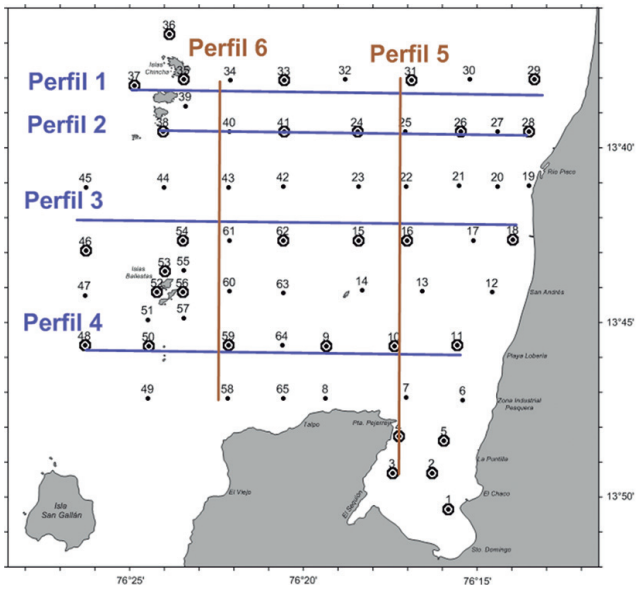

Figura 2.- Carta de ubicación de estaciones de la etapa 1. Pisco. 1-6 octubre, 2013

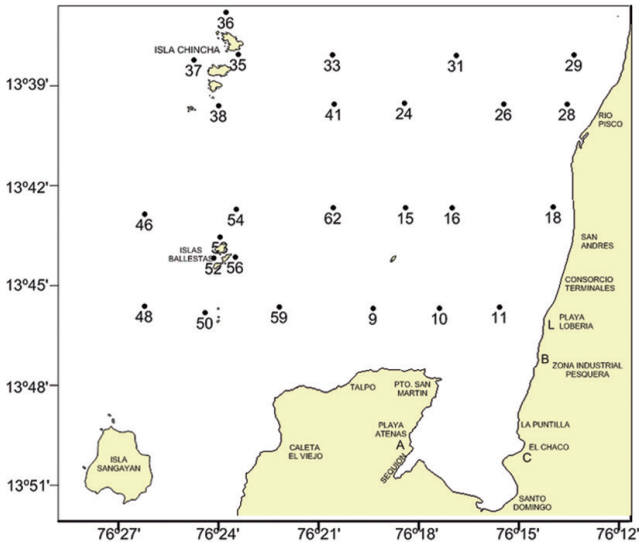

Figura 3.- Carta de ubicación de estaciones de la etapa 2. Pisco. 8-13 octubre, 2013

Se colectaron datos de viento (magnitud y dirección) con el anemómetro manual Marca Ames. La determinación de salinidad se realizó por inducción mediante el salinómetro Portasal Guildline 8410A.

Análisis químicos

Los diferentes análisis químicos de agua de mar se realizaron de acuerdo a los siguientes métodos:

Determinación titulométrica de oxígeno disuelto por el método de Winkler modificado por Carrit y Carpenter (1966). Determinación colorimétrica de nutrientes, por el método descrito por Strickland y Parsons (1972). Determinación electrométrica de pH, mediante el medidor de pH Hanna, modelo HI 9025 con electrodo de pH combinado. Determinación gravimétrica de sólidos suspendidos totales por el método Method 2540 D; de la demanda bioquímica de oxígeno DBO5 Method 5210 B. Biochemical oxygen demand (BOD) 5-day BOD test (APHA-AWWA-WEF, SM, 20TH 1998).

La determinación de coliformes termotolerantes con Method 9221E (1998); de coliformes totales con Method 9221B (1998); de aceites y grasas con Method 5520B (1998). Determinación colorimétrica de sulfuro de hidrógeno por el método de Fonselius (Grasshoff *et al*. 1999) y de metales totales disueltos en agua y metales en sedimentos, por el método EPA 200.8 (1994).

Fitoplancton

Se obtuvo un total de 31 muestras de fitoplancton de red a nivel de superficie, las que fueron recolectadas con red estándar de fitoplancton (75 µm), mediante arrastres horizontales durante 5 minutos y a 3 nudos de velocidad. La preservación de las muestras se realizó con formalina al 2%.

En el laboratorio de fitoplancton se obtuvieron los volúmenes de plancton mediante el método de centrifugación a 2400 RPM durante 5 minutos y para obtener el volumen de plancton se empleó la ecuación (1):

$$V = \frac{Vc}{K} \quad (1)$$

Donde:

V = Volumen de plancton (mL/m^3).

Vc= Volumen de Plancton centrifugado (mL)

K= 6.6762 m^3 (constante que indica el agua filtrada por la red)

Los resultados son expresados en mililitros de plancton por metro cúbico de agua de mar filtrada (mL/m^3).

Se obtuvieron 120 muestras de agua de mar (100 mL) con el uso de botellas Niskin a distintas profundidades (0, 10, 20, 30, 50, 70 m). Las muestras de agua fueron trasladadas al laboratorio donde se analizaron cuantitativamente mediante la metodología Utermöhl.

Las cartas de posiciones, distribución de los volúmenes de plancton y abundancia cuantitativa del fitoplancton total fueron elaboradas utilizando el programa Surfer versión 13. Se realizó el análisis de Similaridad de las muestras al nivel de profundidad de 0 y 10 m, para lo cual se utilizó el Índice Bray-Curtis estandarizado previamente al número de individuos Log (x+1), luego los resultados fueron ordenados en árboles utilizando el programa Primer 6. Por último, se graficaron los agrupamientos de las estaciones según la similaridad obtenida previamente, utilizando el Programa Surfer 13.

Para la determinación taxonómica de los diferentes organismos se consultaron los trabajos de Hasle y Syvertsen (1996), Hendey (1964), Schiller (1937), Sournia (1967), entre otros.

Zooplancton

Se obtuvo 24 muestras de zooplancton en toda el área de estudio, con una red Baby Bongo operada en jales oblicuos desde 2 m de profundidad hacia la superficie. En la boca de una de las redes se colocó un medidor de flujo marca HYDRO BIOS run stop, con la finalidad de conocer el volumen de agua filtrada en el muestreo. Las muestras se fijaron con formaldehído al 2%.

El análisis de las muestras se realizó en el laboratorio del Área de Evaluación de Producción Secundaria en donde se hicieron las determinaciones, el conteo, y las mediciones del biovolumen de zooplancton obtenido por el método de desplazamiento (Kramer *et al.* 1972). Las abundancias de las especies se expresan en número de individuos/100 m^3 y los biovolúmenes de zooplancton en mL/100 m^3.

Sedimentología y geoquímica

El trabajo de campo consistió en un muestreo del fondo marino del 8 al 13 de octubre 2013 a bordo de la embarcación IMARPE VII empleando una draga Van Veen de 0,25 m^2 de área de cobertura. Se colectaron 23 muestras de sedimentos superficiales, distribuidas en 4 perfiles latitudinales y también se recogieron muestras en algunas estaciones próximas a las islas Ballestas y Chincha. En bahía Paracas se obtuvieron sedimentos en 4 estaciones. Las profundidades de muestreo variaron entre 3 y 77 m.

Las muestras de sedimentos fueron conservadas en refrigeración y trasladadas al Laboratorio de Geología Marina de IMARPE donde se mantuvieron congeladas

hasta el momento en que fueron trabajadas. Los análisis granulométricos se realizaron con tamices según Ingram (1971). El contenido de partículas finas de limo y arcilla se determinó por el método de la pipeta (Galehouse 1971).

Los análisis de materia orgánica fueron realizados mediantes el método de pérdida de peso por ignición según Dean (1974). La textura sedimentaria se determinó empleando el diagrama de Shepard (1954) en base a las proporciones de arena, limo y arcilla. El procesamiento de datos se realizó en Excel. La confección de cartas temáticas - mapas se realizó utilizando el programa Surfer 11. Todos los valores obtenidos de los análisis representan un porcentaje del peso total del sedimento seco.

Bentos

Las muestras de sedimento fueron obtenidas con una draga tipo Van Veen de 0,05 m^2 de superficie de colecta, tomándose entre una y tres réplicas por estación; el contenido fue tamizado a través de una malla de 500 µm y preservado en frascos con formol al 10% neutralizado con bórax y teñido con rosa de bengala para mejor determinación de los organismos.

Mediante el análisis biológico se estableció la composición de la comunidad macrozoobentónica hacia el menor nivel taxonómico posible. La densidad (número de individuos por 0,05 m^{-2}) y la biomasa (peso húmedo en gramos por 0,05 m^{-2}) de los organismos se expresaron al metro cuadrado.

La estructura comunitaria es descrita teniendo en cuenta densidad, biomasa y número de especies por réplica y estación de muestreo. La abundancia por especie y por estación de muestreo fue utilizada para calcular el índice de diversidad de Shannon y Wiener (H') y el índice de equidad (J´) de Pielou se calculó usando Log2 (en base 2).

Se realizó un análisis multivariado de ordenamiento (NMDS) y posteriormente de clasificación numérica, para determinar el grado de similitud entre estaciones y especies usando el método de clasificación jerárquica aglomerativa con media ponderada (grupo par no ponderado con promedio aritmético (UPGMA) (Sneath y Sokal 1973) con el índice de Bray-Curtis.

3. RESULTADOS

Hidrografía y dinámica física de las corrientes marinas

Temperatura por capas horizontales

Las capas horizontales o niveles fueron 0, 5, 10, 20, 30 y 50 m. La temperatura en la capa superficial (0 m) registró valores entre 15,2 y 21,0 °C, promedio 17,54 °C; su núcleo máximo (20 °C) se presentó en la zona costera al sur del río Pisco, entre San Andrés y playa Lobería, disminuyendo de este a oeste, mientras que el mínimo (isoterma de 16 °C) se mostró como una lengua ingresante frente al río Pisco y circundante a las islas Chincha.

La temperatura a 5 m de profundidad presentó variaciones entre 14,5 y 19,5 °C, promedio 17 °C, distribución algo similar a la capa superficial (la isoterma de máximo valor 19 °C estuvo frente a San Andrés) disminuyendo hacia el sur (Punta Pejerrey), mientras que la isoterma de mínimo valor 15 °C tuvo mayor distribución espacial con dos núcleos predominantes, uno en la parte central frente al río Pisco y otro al interior en la bahía de Paracas. En la capa de 10 y 20 m de profundidad la distribución espacial fue homogénea con isotermas de 14 y 15 °C; a 30 y 50 m las isotermas variaron de 13,4 a 13,7 °C (Fig. 4).

Salinidad por capas horizontales

La profundidad de las capas horizontales fue la misma que para la temperatura. La salinidad en la capa superficial (0 m) registró valores entre 34,814 y 35,092 ups, promedio 34,953 ups, valores que indican mezcla moderada de Aguas Costeras Frías (ACF) y Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) con predominio de las primeras. Su núcleo máximo (35,05 ups) se ubicó al norte del río Pisco y circundante a islas Ballestas, mientras que los mínimos estuvieron al sur del río Pisco e interior de la bahía Paracas (34,9 ups).

En las capas de 5, 20, 30 y 50 m (Fig. 5) predominaron salinidades de 34,9 a 35 ups. En la capa de 10 m de profundidad frente a La Puntilla y en áreas adyacentes a las islas Chincha, se ubicaron algunos núcleos de aguas de mezcla con predominancia de ACF.

Condiciones físicas en la columna de agua

Perfil 1 (13°38'S) Frente a Caucato

La distribución vertical de temperatura y salinidad estuvo comprendida entre 0 y100 m y de 0 a 14 mn en el perfil 1. La temperatura presentó una débil termoclina sobre los 20 m, con isotermas entre 14 y 17 °C. La isoterma de 15 °C se ubicó sobre los 10 m de profundidad, mientras que debajo de los 20 m se ubicó una capa muy homogénea. Se registraron valores de salinidad entre 34,95 y 35,05 ups. Solo entre las 6 y 10 mn y sobre los 6 m de profundidad se ubicaron mezclas con las ASS (Fig. 6).

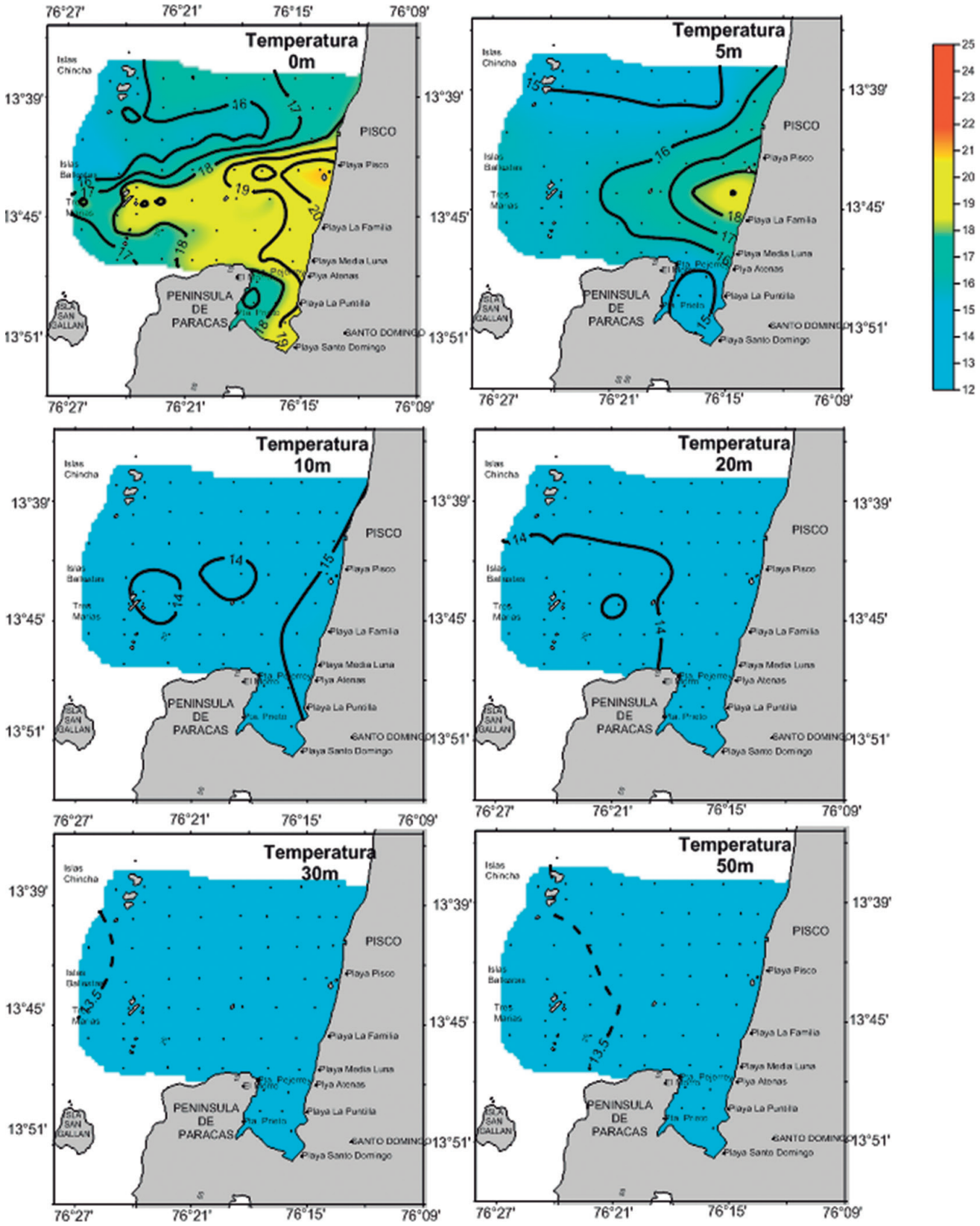

Figura 4.- Distribución de la temperatura por niveles en bahía Paracas e islas Ballestas y Chincha. Octubre, 2013

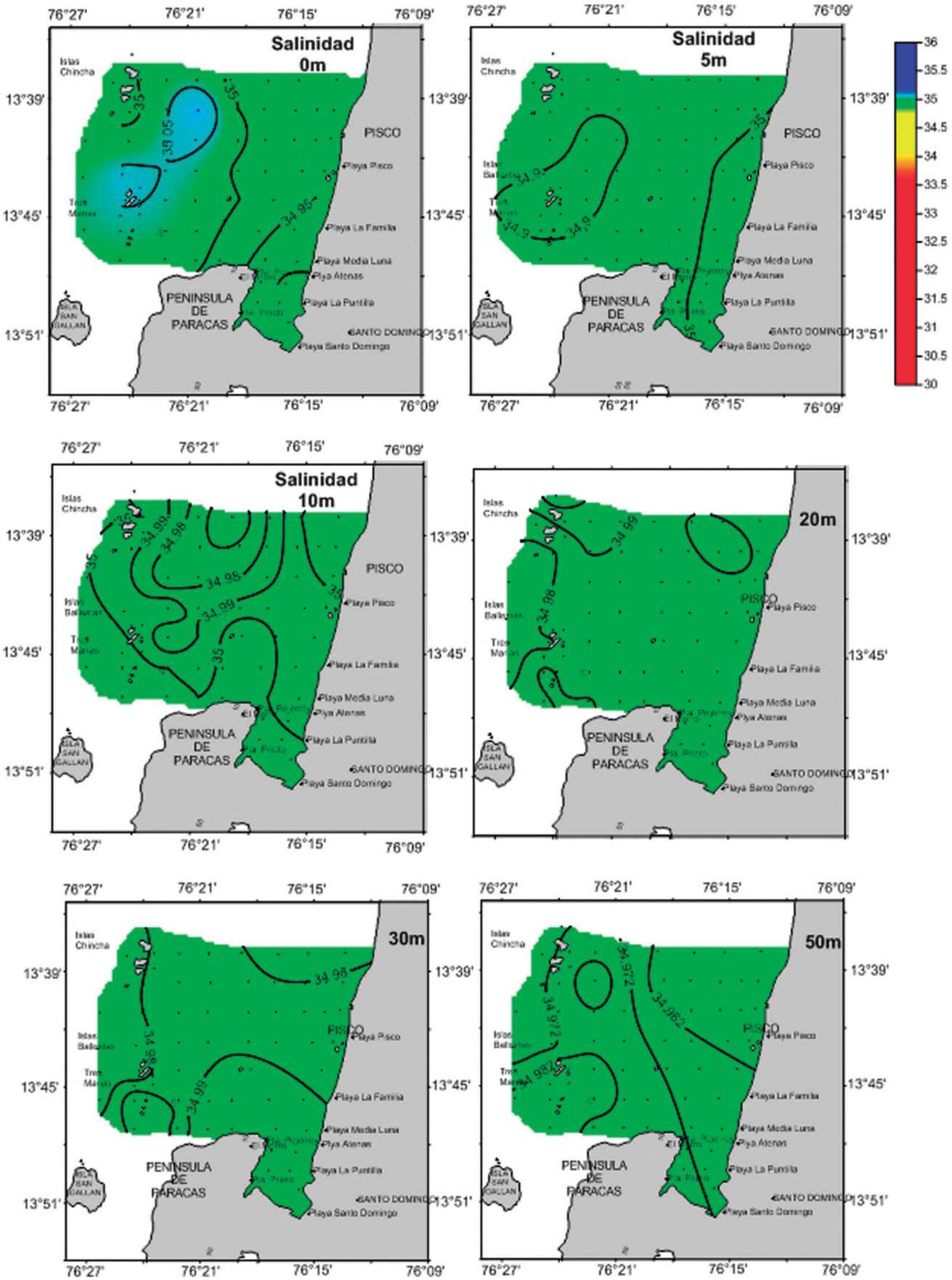

Figura 5.- Distribución espacial de salinidad por niveles (capas) en la bahía de Paracas e islas Chincha y Ballestas. Capa de 0, 5, 10, 20, 30 y 50 m de profundidad. 1-6 octubre, 2013

Perfil 2 (13°39′30″S) norte del río Pisco

La distribución vertical de temperatura y salinidad estuvo comprendida entre 0 y 75 m y de 0 a 12 mn en el perfil 2. La distribución de temperatura se presentó bastante similar al Perfil 1: termoclina débil, isoterma de 15 °C sobre los 10 m y una capa homotérmica debajo de los 20 m de profundidad. La distribución halina en la vertical mostró el predominio de ACF, con núcleos mínimos de aguas de procesos de mezcla cerca de la costa (Fig. 7).

Perfil 3 (13°42′40″S) frente al Muelle Fiscal

La temperatura presentó variaciones con isotermas de 14 a 20 °C sobre 20 m de profundidad, notándose fuerte estratificación de este a oeste dentro de las 8 mn, generadas por temperaturas mayores a 20 °C que se ubicaron pegadas a la costa. La distribución halina en la vertical estuvo asociada a la presencia de ACF. La isoterma de 15 °C se ubicó en la zona costera sobre los 10 m de profundidad mientras que hacia el oeste estuvo sobre los 5 m (Fig. 8).

Perfil 4 (13°45′40″S) Playa Lobería

La distribución termohalina fue muy similar a los perfiles anteriores. Sobre los 10 m estuvo la estratificación con temperaturas de 15 a 18 °C y un ligero ascenso de la isoterma de 14 °C. La distribución halina con valores entre 34,9 y 35,0 ups mostró la fuerte presencia de las ACF (Fig. 9).

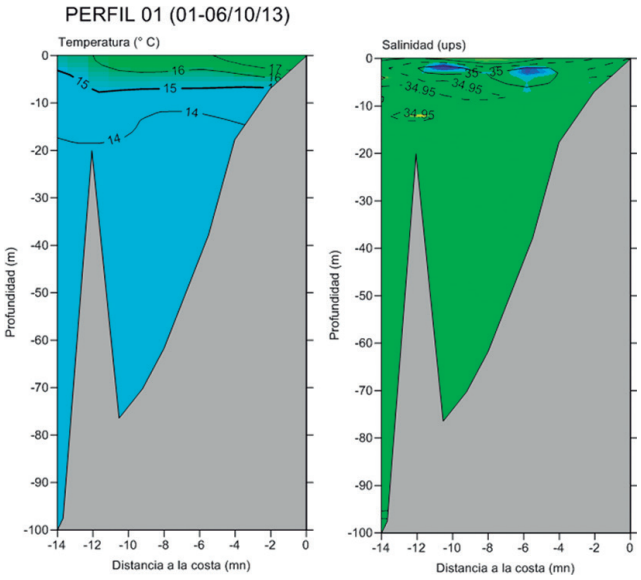

Figura 6.- Distribución vertical de temperatura y salinidad. Bahía Paracas e islas Ballestas. Octubre, 2013

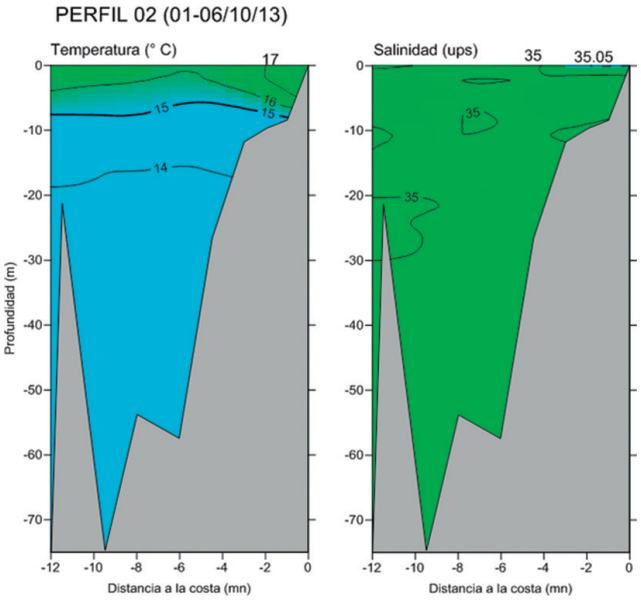

Figura 7.- Distribución vertical de temperatura y salinidad en bahía Paracas e islas Ballestas. Octubre, 2013

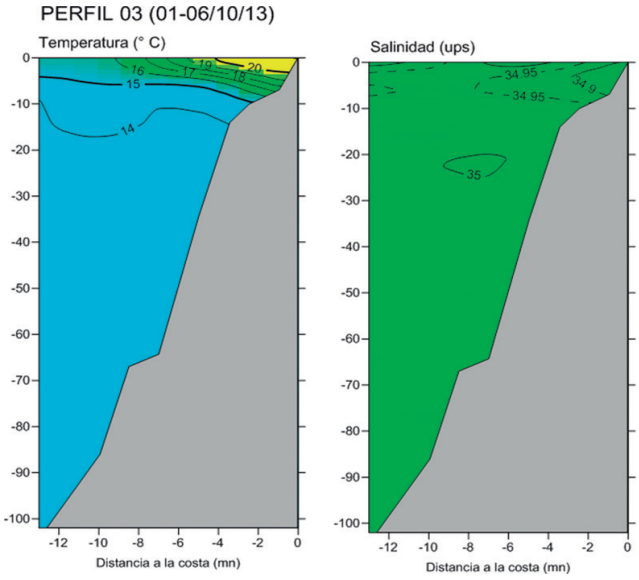

Figura 8.- Distribución vertical de temperatura y salinidad en bahía Paracas e islas Ballestas. Octubre, 2013

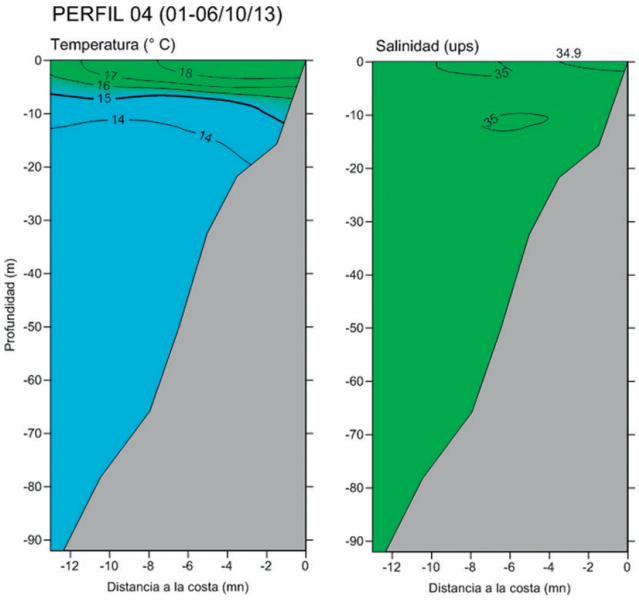

Figura 9.- Distribución vertical de temperatura y salinidad en bahía Paracas e islas Ballestas (0-90 m de profundidad). Octubre, 2013

Perfil 5

La figura 10 muestra la distribución vertical de temperatura y salinidad paralela a la línea costera (aproximadamente 2 mn de costa), notándose la profundización de isotermas (15 a 19 °C) como efecto del núcleo cálido superficial, mientras que la salinidad presenta predominancia de ACF con 2 pequeños núcleos de aguas de mezcla ubicados en ambos bordes de la sección, entre 2 y 6 m de profundidad.

Perfil 6 paralelo a 8 mn de la línea de costa (76°22′08″W)

En esta sección se pudo notar que sobre 5 m de profundidad las temperaturas variaron de 15 a 17 °C mientras que por debajo de 10 m se ubicó una capa termohalina homogénea. En toda la columna de agua, la distribución halina estuvo asociada a la presencia de ACF (Fig. 11).

Corrientes marinas

En las figuras 12 a 18 se muestra la distribución espacial de corrientes marinas en los niveles de 1, 5, 10, 15, 20, 25, y 30 m colocadas en la vertical mediante su campo vectorial.

Las corrientes en la capa superficial (Fig. 12) registraron intensidades que variaron entre 0,42 y 49,73 cm/s, promedio general 17,56 cm/s y desviación estándar (STD) 8,46. Las velocidades se intensificaron de este a oeste frente a las islas Ballestas, siguiendo el campo de flujo perpendicular a la línea costera.

Las corrientes marinas a 5 m de profundidad (Fig. 13) presentaron flujos con intensidades que variaron entre 1,13 y 45,33 cm/s, promedio 14,87 cm/s y STD 8,11 para la zona de muestreo, notándose un cambio en la dirección en la zona sur frente a Punta Pejerrey.

La figura 14 muestra el campo de velocidad vectorial a 10 m de profundidad, con intensidades entre 0,42 y 44,59 cm/s, promedio 13,66 cm/s y STD 7,54; la variabilidad en la dirección de las corrientes estuvo asociada a la presencia de una circulación convergente en la zona sur y norte de la bahía intensificándose en la zona costera frente al río Pisco debido a la configuración del fondo. Se observa una distribución de velocidades con un flujo hacia el suroeste en la zona de intercambio con el océano abierto y un flujo saliente frente a islas Ballestas por efectos de fricción y topografía del fondo.

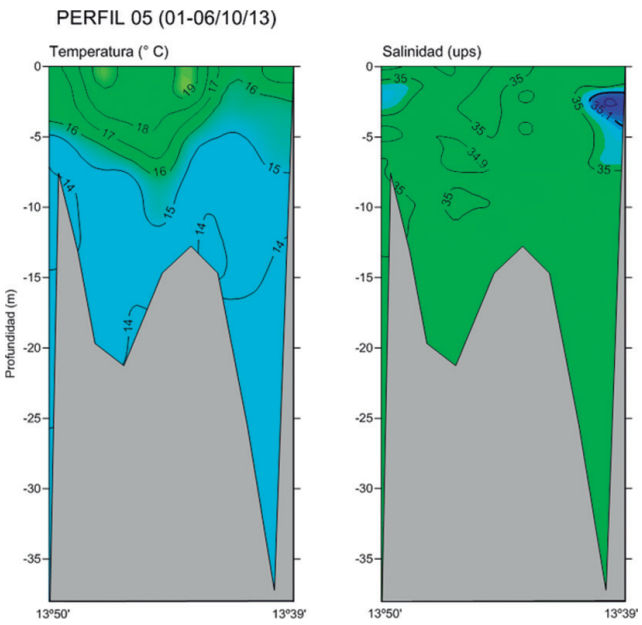

Figura 10.- Distribución vertical de temperatura y salinidad en bahía Paracas e islas Ballestas. Octubre, 2013

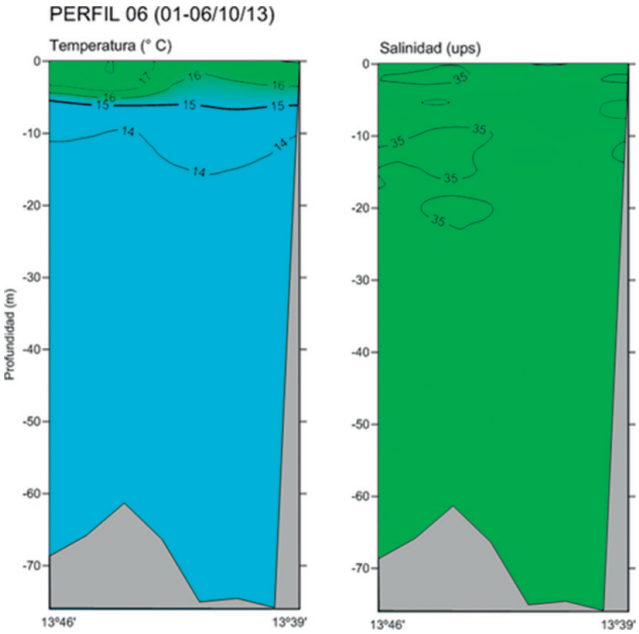

Figura 11.- Distribución vertical de temperatura y salinidad en bahía Paracas e islas Ballestas (0-75 m de profundidad). Octubre, 2013

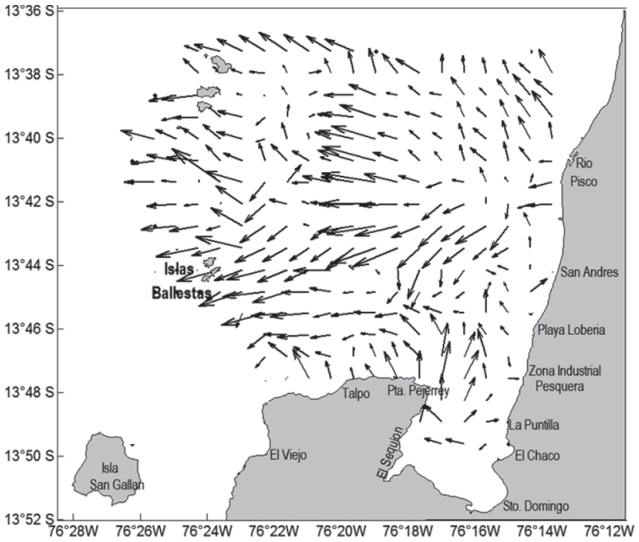

Figura 12.- Corrientes marinas en bahía Paracas. Capa de 1 m de profundidad. Octubre, 2013

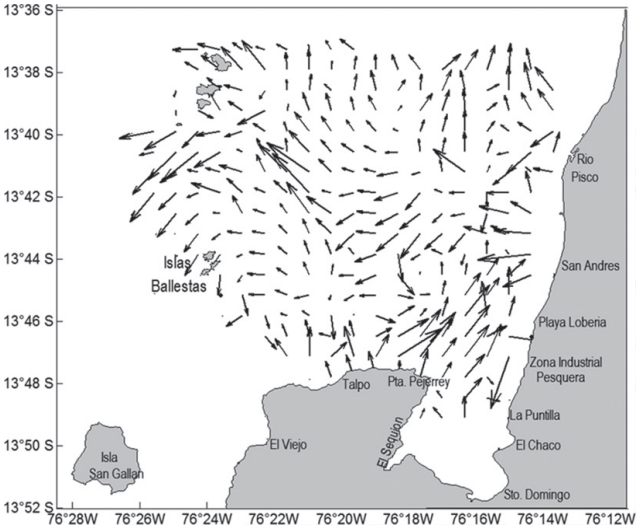

Figura 13.- Corrientes marinas en bahía Paracas. Capa de 5 m de profundidad. Octubre 2013

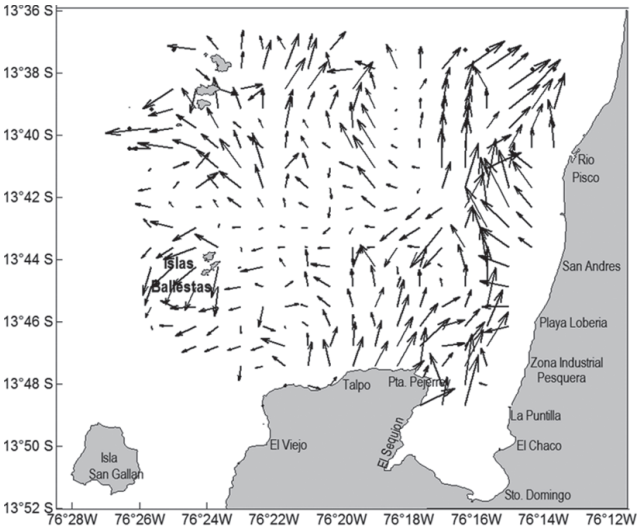

Figura 14.- Corrientes marinas en bahía Paracas. Capa de 10 m de profundidad. Octubre, 2013

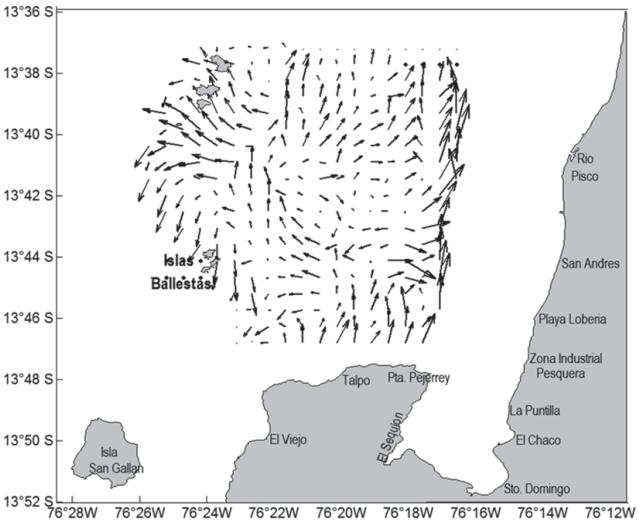

Figura 15.- Corrientes marinas en bahía Paracas. Capa de 15 m de profundidad. Octubre 2013

Las intensidades de las corrientes marinas en la capa de 15 m (Fig. 15) registraron valores entre 1,08 y 44,64 cm/s, promedio 13,91 cm/s y STD 7,50. El campo de distribución vectorial presentó vorticidades horarias en la zona central y anti-horarias en la zona sur de intercambio de flujo, mientras que al este y paralela a la franja costera se intensificaron los flujos con dirección norte por efectos de fricción y topografía de fondo.

En la capa de 20 m (Fig. 16) se registraron valores entre 0,89 y 44,91 cm/s, promedio 11,51 cm/s y STD 6,35.

El campo de distribución vectorial mostró un intercambio de flujo por efectos de convergencia y divergencia debido a la irregularidad que presenta la topografía de fondo. Las corrientes en la capa de 25 m (Fig. 17) registraron intensidades que variaron entre 0,10 y 38,14 cm/s, promedio 14,13 cm/s y STD 8,18. Las velocidades se intensificaron de sur a norte con tendencia al noroeste frente a las islas Chincha notándose también vorticidades en la zona central.

Las corrientes marinas a 30 m de profundidad presentaron flujos con intensidades que variaron entre 0,51 y 44,01 cm/s, promedio 12,42 cm/s y STD 6,74 para la zona de muestreo (Fig. 18), notándose vorticidades en la zona central hacia el oeste y sur de islas Ballestas.

Sistemas de vientos

La figura 19, presenta la distribución vectorial del campo de viento en magnitud y dirección respectivamente, y muestra la variación espacial en la capa próxima a la superficie durante la evaluación en la zona de estudio.

Los vientos en octubre registraron intensidades de 3,12 a 8,32 m/s, promedio 5,54 m/s y desviación estándar (STD) 0,96.

Durante el monitoreo del 1 y 6 de octubre, la acción del viento registró fluctuaciones entre 4,0 y 8,0 m/s, promedio 6,0 m/s (Fuente Windguru) (Fig. 20).

En la rosa de vientos (Fig. 21) se puede observar la magnitud y dirección de los vientos para el periodo de muestreo (1 - 6 de octubre) obtenido con el anemómetro. Los valores máximo y mínimo fueron 6,6 y 1 m/s, promedio 2,73 m/s y STD 1,71. La variación temporal de la magnitud de los vientos fue alta, característico de la estación de primavera, infiriéndose que tuvo influencia en la distribución de las corrientes marinas y en la formación de vorticidades encontradas en las capas verticales.

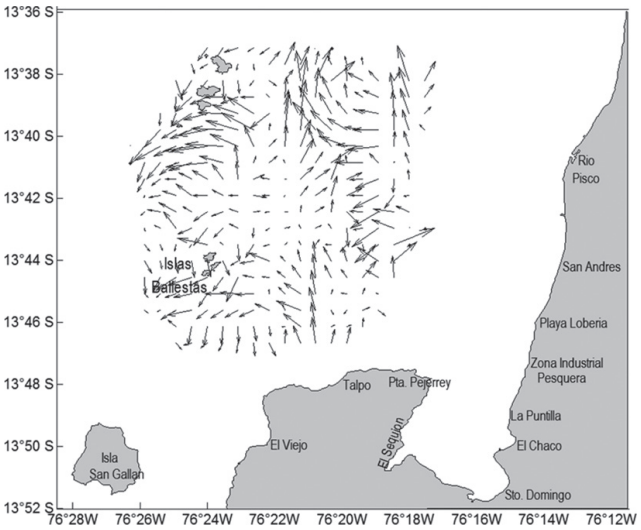

Figura 16.- Corrientes marinas en bahía Paracas. Capa de 20 m de profundidad. Octubre 2013

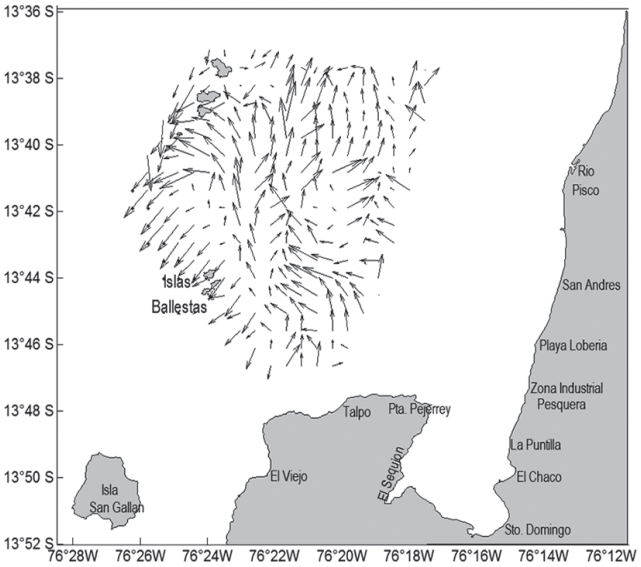

Figura 17.- Corrientes marinas en bahía Paracas. Capa de 25 m de profundidad. Octubre 2013

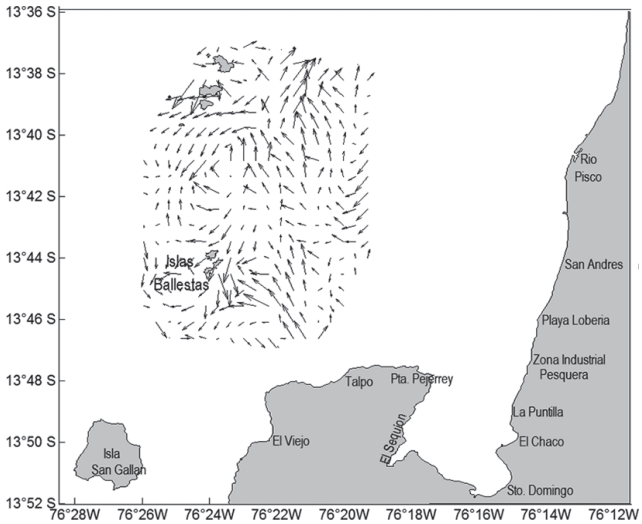

Figura 18.- Corrientes marinas en bahía Paracas. Capa de 30 m de profundidad. Octubre 2013

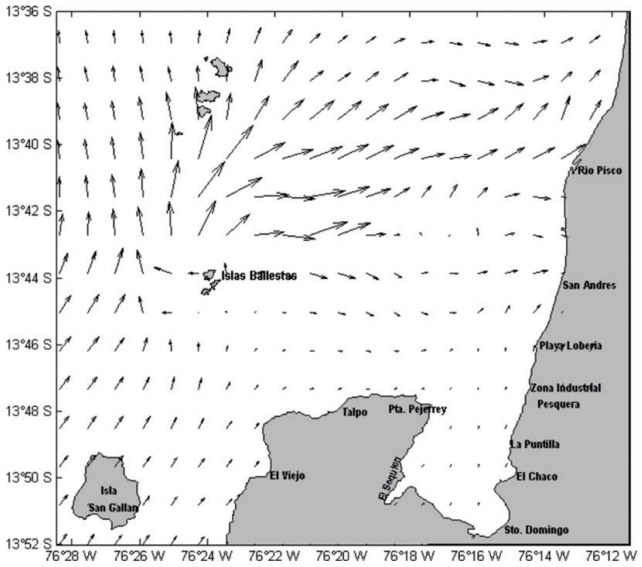

Figura 19.- Distribución vectorial del campo de viento en bahía Paracas. Octubre 2013

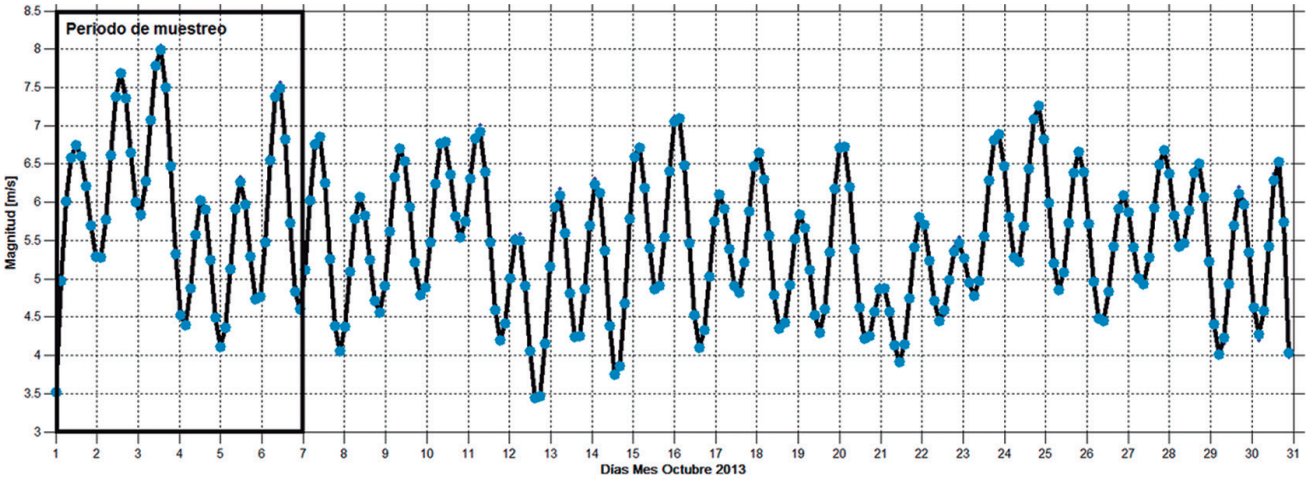

Figura 20.- Distribución temporal del campo de viento en bahía Paracas. Octubre 2013

Oceanografía química

Oxígeno disuelto

En superficie las concentraciones de oxígeno >5 mL/L se ubicaron en la parte central de la bahía de Pisco, prolongándose aproximadamente 10 mn hacia el este y sureste (inmediaciones de las islas Ballestas), valores que estuvieron asociados a temperaturas >18 °C. Las concentraciones más bajas (<4 mL/L) fueron registradas en la zona norte del área evaluada (entre 3 y 7 mn de la línea de costa) y frente a playa Atenas, lugar en la bahía de Paracas que presenta comúnmente características más frías que el norte de la bahía. En el nivel de fondo predominaron concentraciones de bajo contenido de oxígeno (<0,5 mL/L), de manera puntual se observaron dos núcleos de 3 mL/L en las inmediaciones de la isla Chincha Norte y frente al Muelle Fiscal (aproximadamente a 3,5 mn) (Fig. 22).

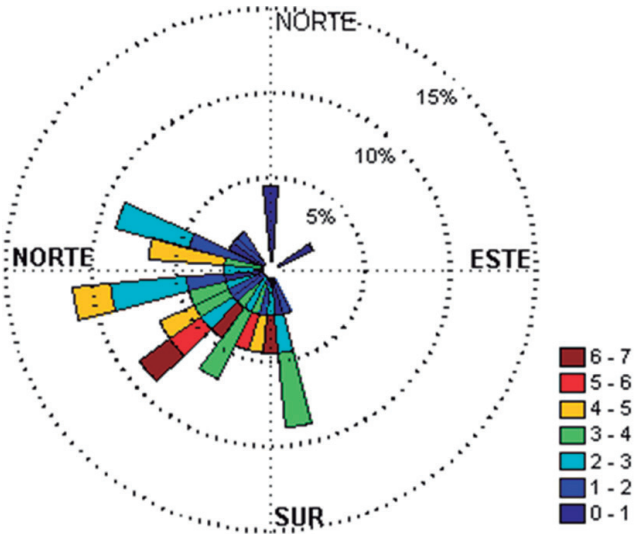

Figura 21.- Rosa de vientos. Bahía Paracas. Octubre 2013

Potencial de iones hidronio – pH

El pH en la superficie del mar tuvo distribución irregular, apreciándose inicialmente incremento de norte a sur (isolíneas de 7,8 y 7,9) que cesó en la parte central, donde los valores se hicieron más homogéneos (próximos a 8) manteniendo cierta similitud con la isoxígena de 5 mL/L. En la bahía Paracas, entre Punta Pejerrey y la playa El Chaco se observó un leve descenso en el pH. En el fondo, los valores del potencial de iones hidronio (pH) se incrementaron hacia el sureste, ubicándose un núcleo con el valor máximo (7,95) frente al Muelle Fiscal, que coincide con la máxima de oxígeno para ese nivel (Fig. 23).

Nutrientes

En superficie, concentraciones homogéneas de fosfatos (1,0 – 1,5 µM) se hallaron en la parte central y sur del área evaluada, hasta una distancia aproximada de 10 mn de la línea de costa. Hacia el norte los valores de fosfatos superaron la concentración de 2 µM, y frente a la desembocadura del río Pisco se concentraron los valores más elevados (>3 µM). En el nivel de fondo se registraron valores de fosfatos más homogéneos (entre 2 y 3 µM) y al igual que en la superficie, la zona aledaña a la desembocadura del río Pisco concentró los niveles más elevados (>3 µM) (Fig. 24).En el nivel superficial, los silicatos presentaron concentraciones pobres (<5 µM) en la parte central (entre la línea de costa y las islas Ballestas), observándose gradiente creciente hacia el norte, ubicándose dos núcleos con concentraciones >30 µM cerca de las islas Ballestas y frente a la desembocadura del río Pisco (Fig. 25). En el nivel de fondo los silicatos presentaron distribución ascendente hacia el oeste, con concentraciones <20 µM en la franja ubicada entre el río Pisco y Santo Domingo.

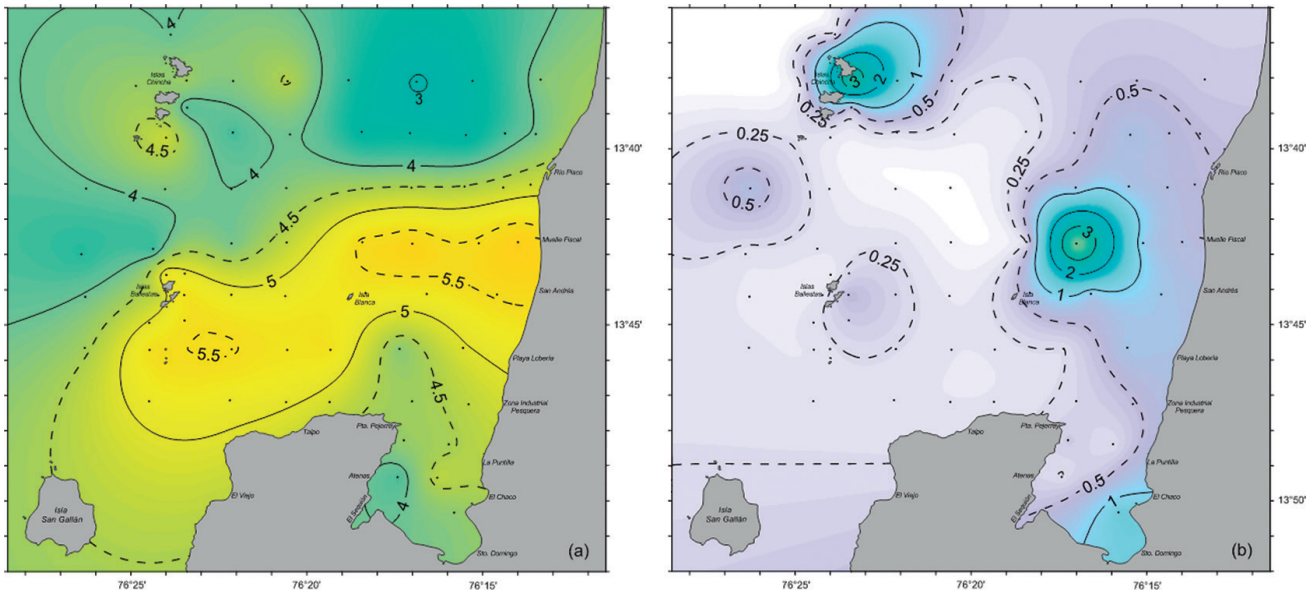

Figura 22.- Distribución de: a) oxígeno disuelto (mL/L) en la superficie, y b) en el fondo. Pisco Octubre, 2013

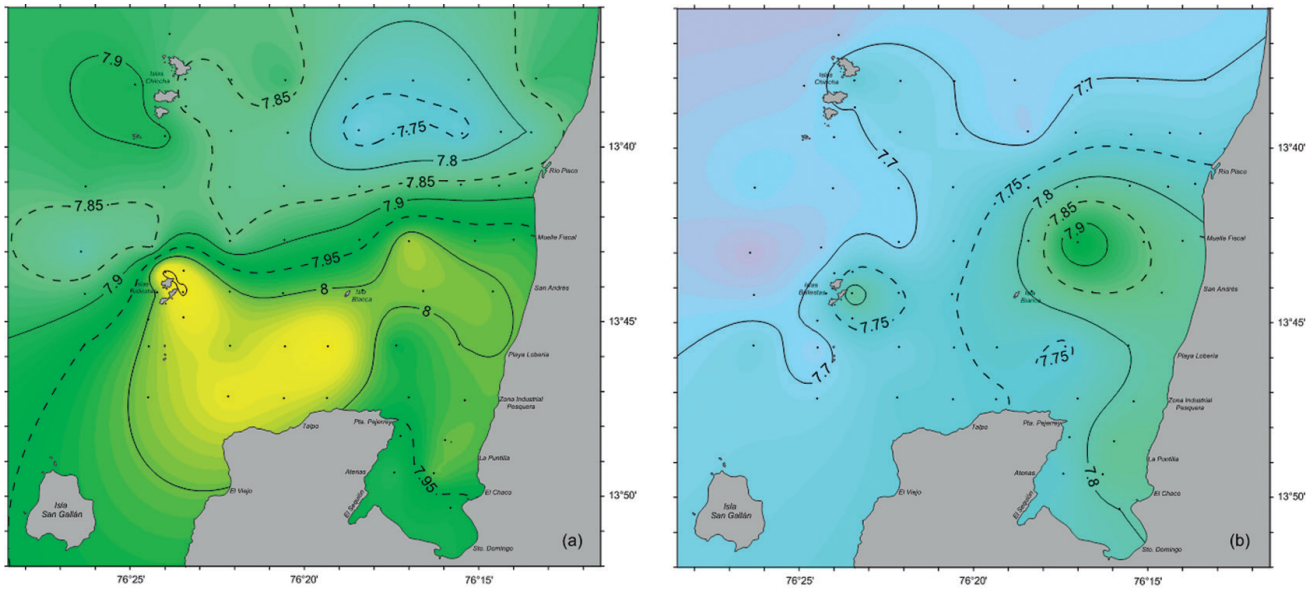

Figura 23.- Distribución de: a) pH en superficie, b) pH en el fondo. Pisco. Octubre, 2013

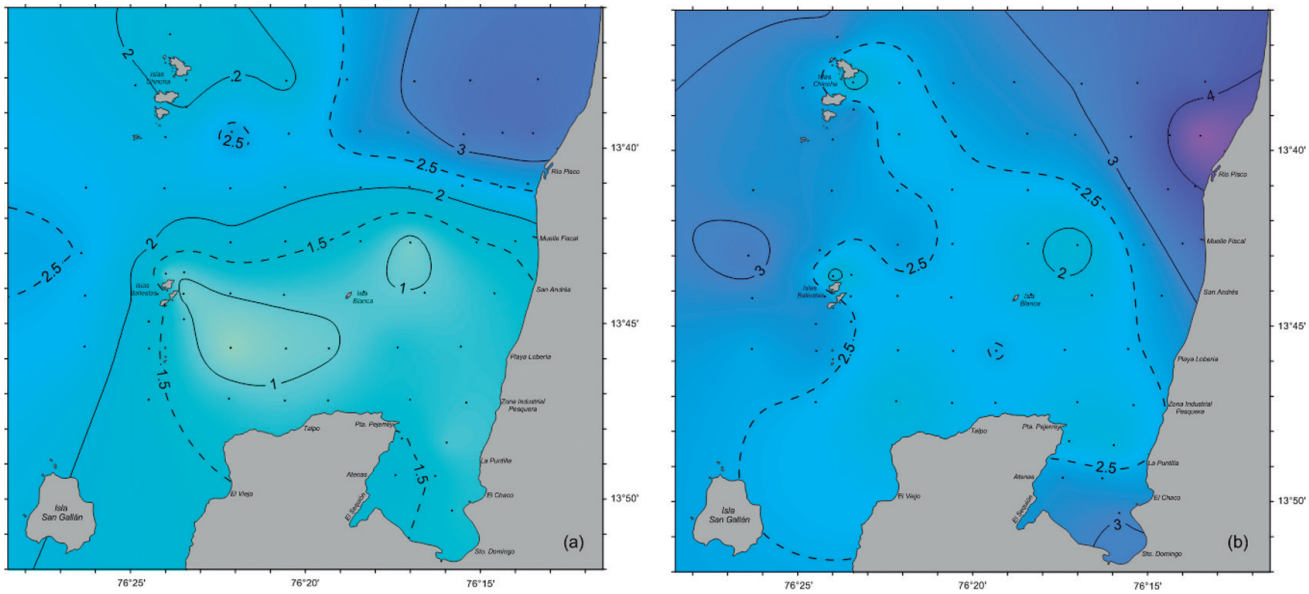

Figura 24.- Distribución de: a) fosfatos (µM) en la superficie, y b) fosfatos en el fondo. Pisco. Octubre, 2013

En la capa superficial los nitritos variaron entre 0,04 y 1,05 µM, con distribución creciente hacia el norte, las concentraciones más pobres (cercanas a cero) estuvieron localizadas en la parte central de la zona evaluada. A nivel de fondo, las concentraciones más bajas (< 1 µM) se situaron en la bahía de Pisco mientras al oeste de las islas Ballestas los nitritos superaron los 3 µM (Fig. 26).

Los nitratos, tanto en el nivel superficial como en fondo, presentaron gradiente ascendente hacia el oeste y noroeste. En la superficie marina los nitratos variaron entre 0,30 y 8,98 µM, distribuyéndose las concentraciones más pobres (<2 µM) en la bahía de Pisco, mientras los valores más elevados (isolínea de 7,5 µM) se situaron frente al río Pisco y entre las islas Ballestas y Chincha. En el fondo los valores de nitratos se incrementaron considerablemente (>10 µM) más allá de las 8 mn, replegándose hacia la costa a la altura del río Pisco (Fig. 27).

Relación N/P

Para la relación N/P, se cuantificó a N como la suma de nitratos más nitritos y a P como el equivalente de fosfato inorgánico disuelto, ambas concentraciones se expresaron en µM. La relación N/P encontrada fue de 4:1 (Fig. 28), que identifica al nitrógeno como el nutriente limitante para el crecimiento de fitoplancton según la proporción descrita por

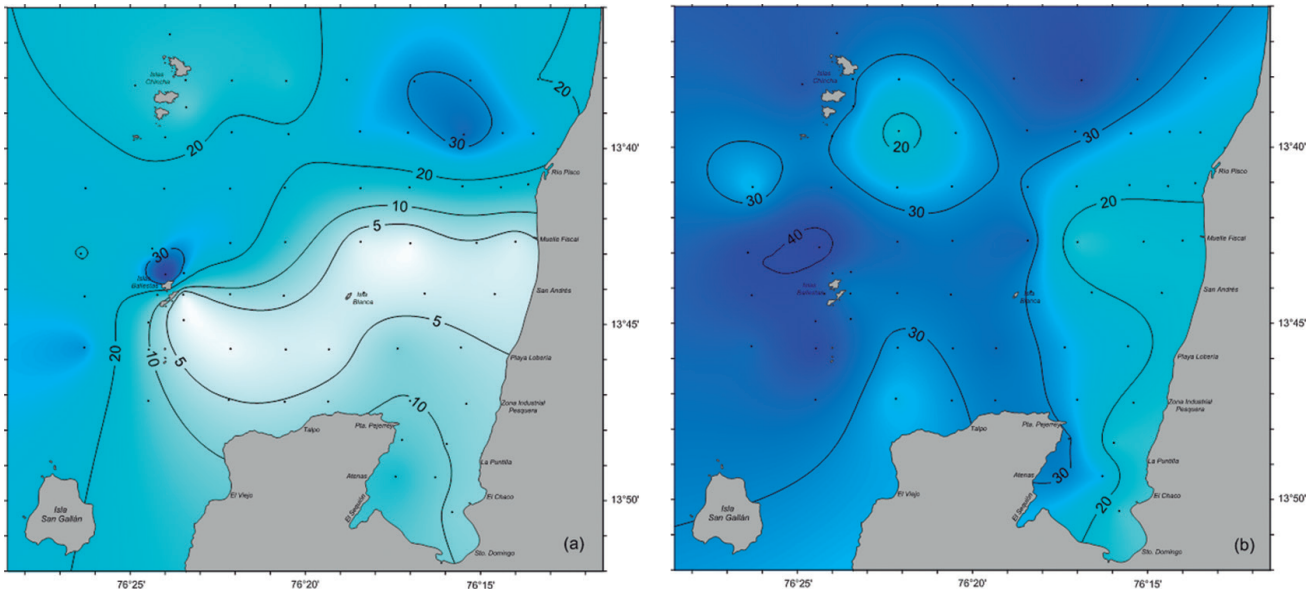

Figura 25.- Distribución de: a) silicatos (µM) en la superficie, y b) silicatos en el fondo. Pisco. Octubre, 2013

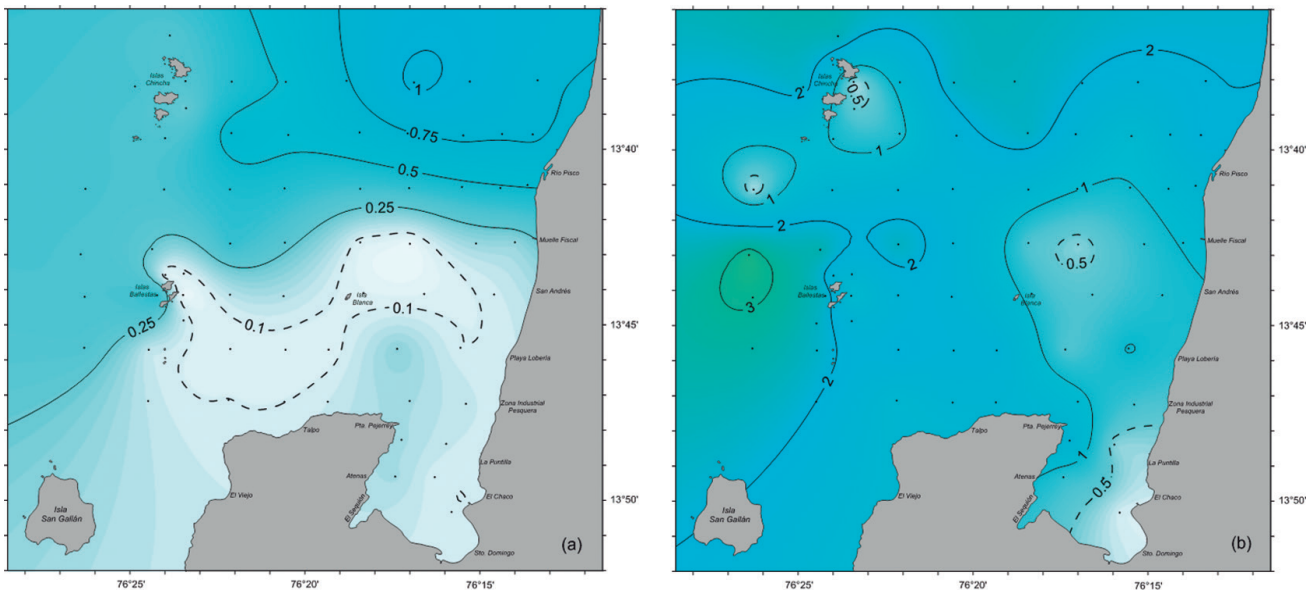

Figura 26.- Distribución de: a) nitritos (µM) en la superficie, y b) nitritos en el fondo. Pisco. Octubre, 2013

Redfield (16:1), pero debe tenerse en cuenta que las relaciones en las áreas costeras son muy complejas y los valores bajos pueden estar relacionados a un elevado consumo de los compuestos de nitrógeno por los productores primarios.

Oligoelementos

Los elementos traza se determinaron en cinco zonas que incluyeron dos estaciones ubicadas a 5 mn de la línea de costa (Ests. 9 y 24) y tres estaciones adyacentes al litoral distribuidas de la siguiente manera: una estación en la zona sur (Est. 1), otra en el litoral centro ubicada frente a playa Lobería (Est. 11) y la última ubicada al norte de la desembocadura del río Pisco (Est. 29). En la figura 29 se ha graficado la concentración de hierro total en la superficie marina, observándose que la Est. 1, ubicada en una zona con baja circulación, presenta la concentración más elevada de hierro (0,114 mg/L). Las concentraciones de manganeso total variaron entre 0,0036 – 0,0081 mg/L. Los otros elementos analizados (arsénico, cadmio, cobre, mercurio níquel, plomo y zinc) presentaron concentraciones que cumplen con los valores establecidos en los estándares nacionales de calidad ambiental (categoría 2 – Actividades Marino Costeras).

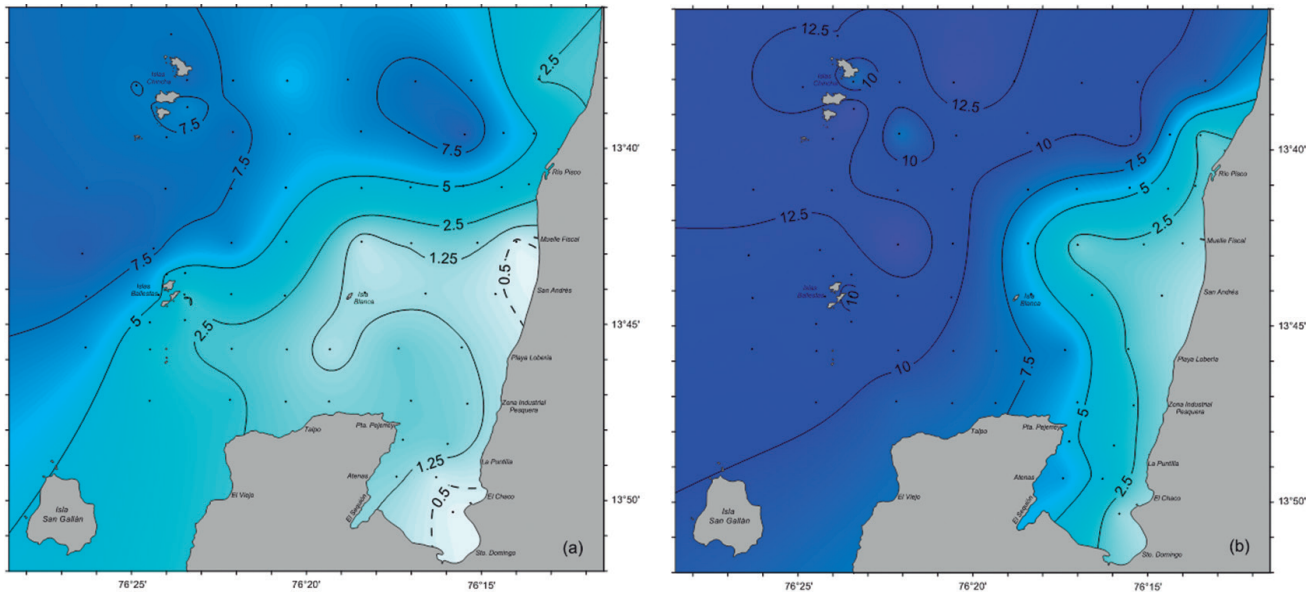

Figura 27.- Distribución de: a) nitratos (µM) en la superficie, y b) nitratos en el fondo. Pisco. Octubre, 2013

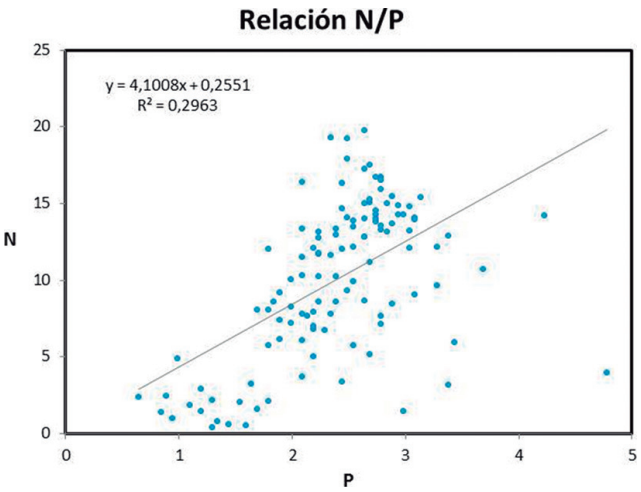

Figura 28.- Relación N/P en el total de estaciones evaluadas en el borde costero de Pisco

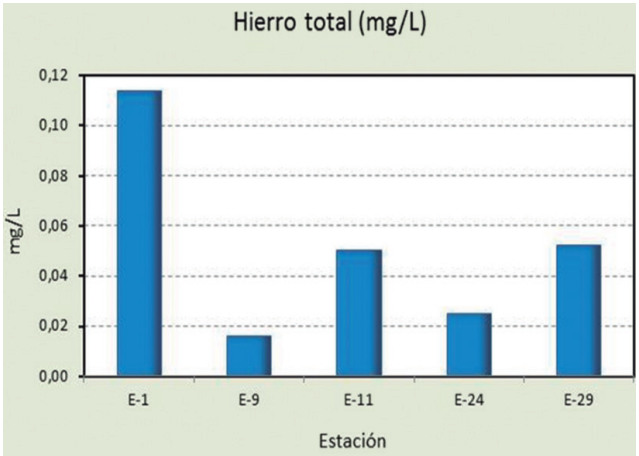

Figura 29.- Hierro total (mg/L) en la superficie marina. Pisco. Octubre, 2013

Condiciones químicas en la columna de agua

Perfil 1 (13°38'S) Frente a Caucato

Respecto al oxígeno disuelto la columna de agua fue homogénea hasta las 5 mn (isoxígenas de 1 y 2 mL/L) y coincidieron con las temperaturas más frías registradas en la superficie marina (<17 °C). En las inmediaciones de la isla Chincha norte se observó mayor gradiente en la columna de agua, hallándose concentraciones de 3 mL/L a la profundidad de 10 m. Los valores de pH fueron homogéneos debajo de los 10 m (7,75 y 7,80) al igual que el oxígeno, el pH disminuyó a 5 mn de la costa debido a que en dicha zona el proceso de afloramiento se dio con mayor intensidad. Las concentraciones de fosfatos en esta sección superaron los 2 µM concentrándose los valores más elevados (>3 µM) cerca de la línea de costa. Fue notorio el incremento en las concentraciones de silicatos y nitratos en la capa superficial de la columna de agua a 5 mn de la costa debido al ascenso de aguas subsuperficiales (Fig. 30).

Perfil 2 (13°39'30"S) norte del río Pisco

En la sección situada ligeramente al norte de la desembocadura del río Pisco la concentración mínima de oxígeno (<0,5 mL/L) se ubicó debajo de los 20 m, haciéndose más superficial cerca de la costa. El potencial de iones hidronio mostró escasa estratificación con valores bajos y homogéneos, mayormente entre 7,7 y 7,8; sobre todo en la franja costera dentro de las 5 mn debido a procesos productivos costeros asociados a la cercanía de la desembocadura del río Pisco.

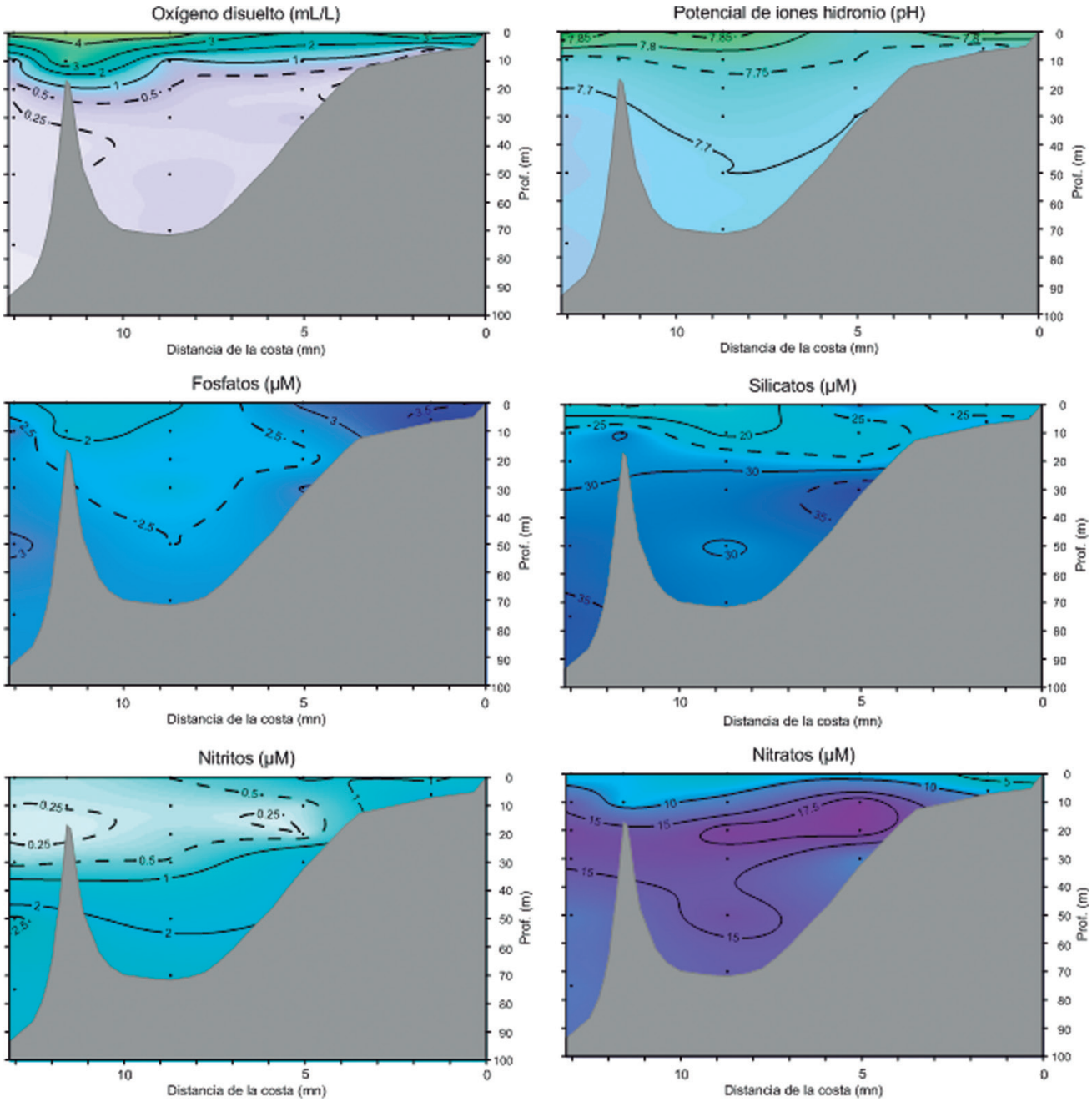

Figura 30.- Oxígeno, pH, fosfatos, silicatos, nitritos y nitratos en el Perfil 1 (13°38´S). Pisco. Octubre, 2013

Las concentraciones de fosfatos más elevadas (>3 µM) se ubicaron dentro de las 3 mn situándose la máxima (4,78 µM) cerca a la desembocadura del río Pisco, a 5 m de profundidad por aporte antropogénico debido a las actividades agrícolas que se desarrollan en la cuenca del río Pisco y que discurren hacia el mar. Los silicatos presentaron distribución ascendente hacia la costa con valores en general entre 20 y 30 µM. Fuera de las 10 mn en la columna de agua se apreció el desarrollo de procesos de nitrificación con un núcleo de nitratos de 16,37 µM y valores de nitritos cercanos a cero (Fig. 31).

Perfil 3 (13°42'40"S) frente al Muelle Fiscal

Dentro de las 5 mn hasta una profundidad de 10 m y relacionado con las condiciones cálidas superficiales, se observó mayor productividad reflejada en concentraciones de oxígeno disuelto >5 mL/L y valores de pH cercanos a 8; del mismo modo en esta zona fue notorio el consumo de nutrientes, obteniéndose concentraciones pobres de fosfatos (<2 µM), silicatos (<10 µM), nitritos (<0,5 µM) y nitratos (<2,5 µM). Fuera de las 10 mn y a profundidades mayores a 50 m fue notorio el incremento de los nutrientes, especialmente de los silicatos (>40 µM), nitritos (>2 µM) y fosfatos (>3,0 µM) (Fig. 32).

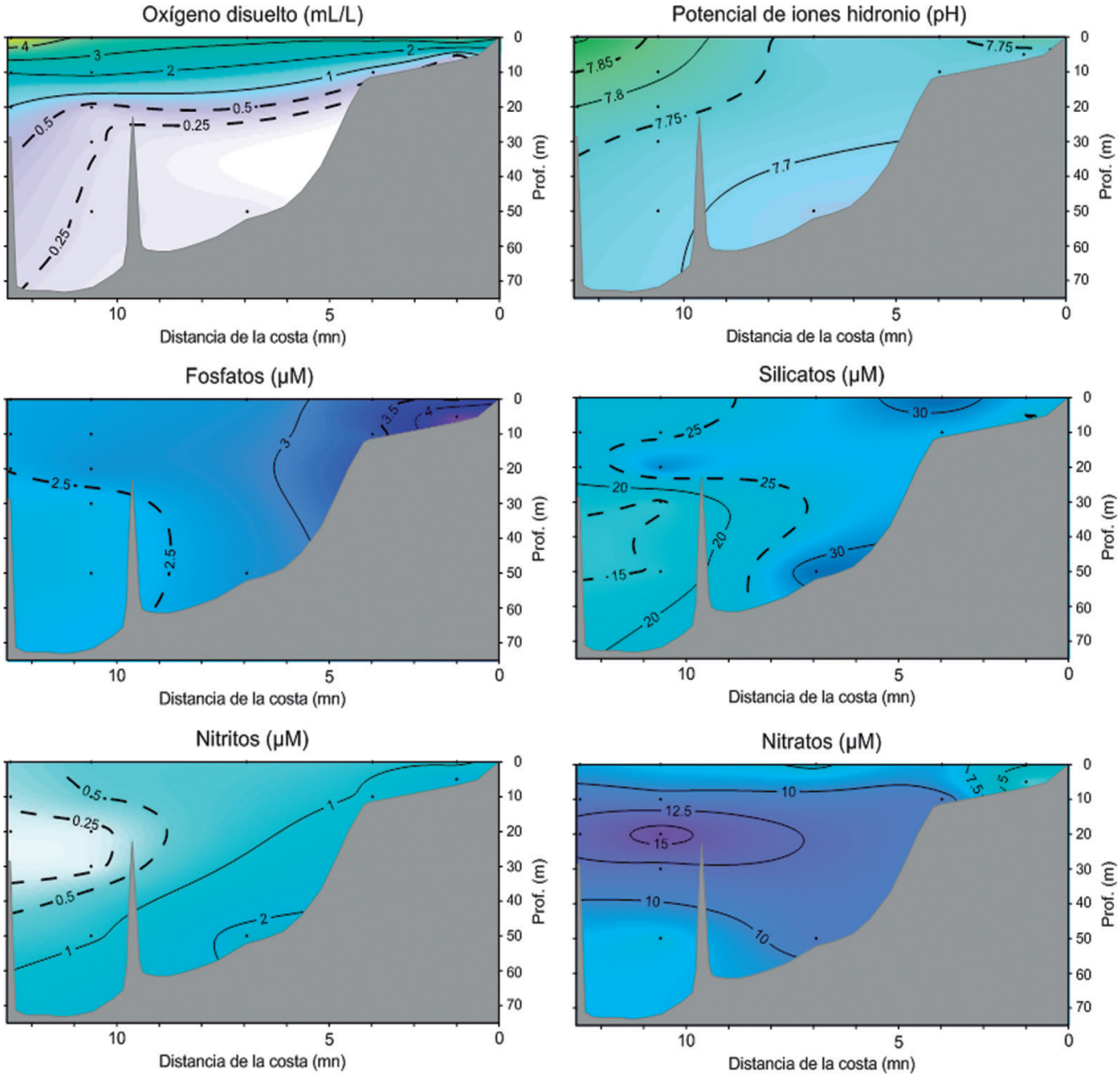

Figura 31.- Oxígeno, pH, fosfatos, silicatos, nitritos y nitratos en el Perfil 2 (13°39´30´´LS). Pisco. Octubre, 2013

Perfil 4 (13°45'40"S) Playa Lobería

Esta sección presentó una estratificación más estable tanto del oxígeno como del pH. Las concentraciones de oxígeno disuelto >4 mL/L se registraron encima de los 5 m a lo largo del perfil, mientras la mínima de oxígeno se ubicó entre los 10 y 15 m estando asociada a valores de pH de 7,8. En las primeras 10 mn las concentraciones de nutrientes disminuyeron, especialmente en la superficie, a distancia de 9 mn de la costa, donde se registró cierto agotamiento en la disponibilidad de fosfatos, silicatos y nitritos, que tuvieron concentraciones cercanas a cero (Fig. 33).

Perfil 6 (76°22'08" LW) Sección paralela a 8 mn de la línea de costa

Al sur de los 13°45'S, se apreció una capa somera (10 m) estratificada, que estuvo conformada por las isoxígenas desde 0,5 mL/L hasta 5 mL/L y por valores de pH entre 7,8 y 8. Tanto las isoxígenas como el pH se profundizaron ligeramente hacia el norte, tal como lo mostró la mínima de oxígeno que alcanzó los 20 m de profundidad en los 13°40'S. Fue notorio el empobrecimiento de los nutrientes, sobre todo de los fosfatos, silicatos y nitritos que presentaron concentraciones mínimas y próximas a cero en la superficie del mar. Debajo de los 15 m predominaron concentraciones >30 µM de silicatos y >10 µM de nitratos (Fig. 34).

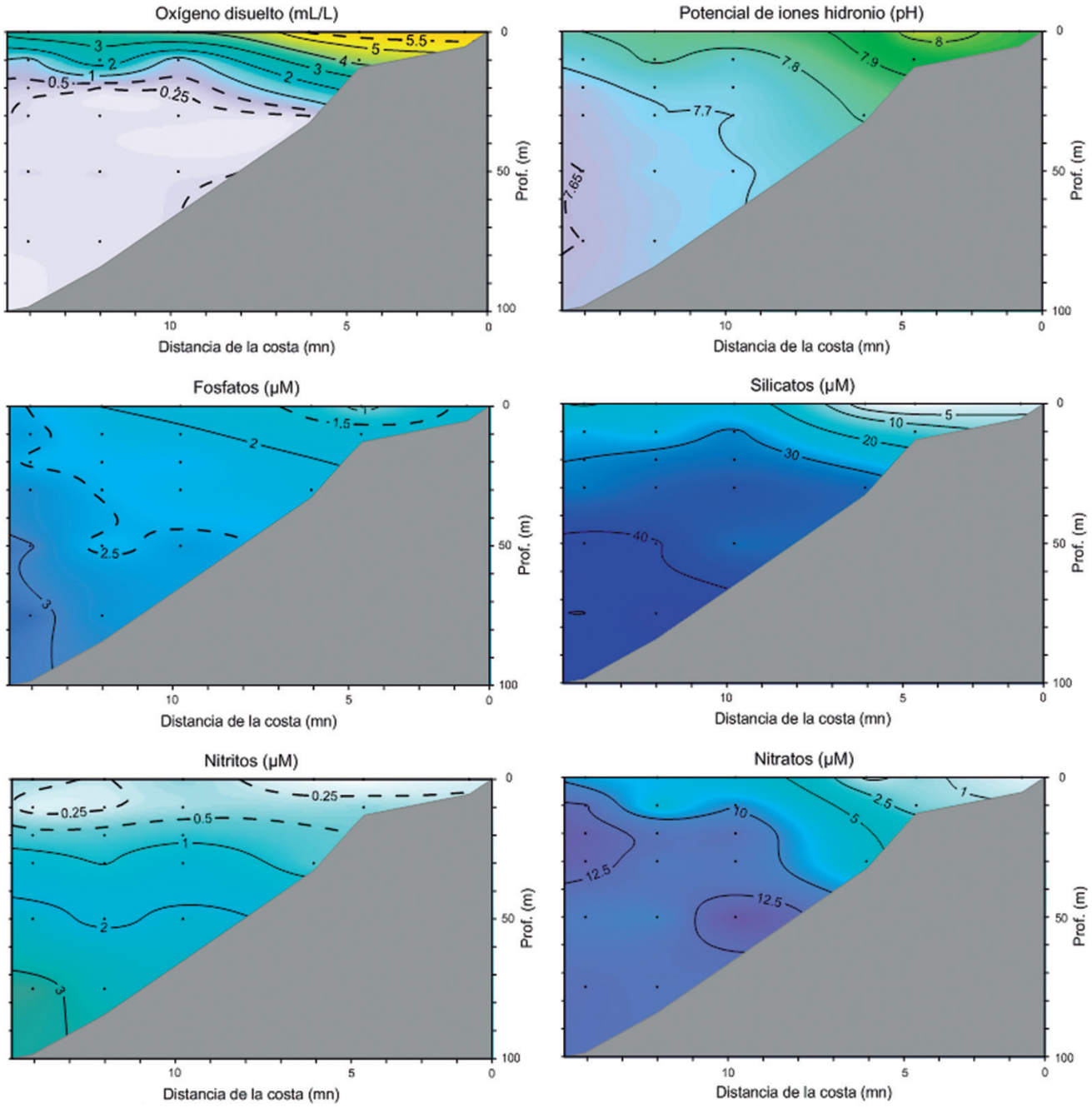

Figura 32.- Oxígeno, pH, fosfatos, silicatos, nitritos y nitratos en el Perfil 3 (13°42´40´´LS). Pisco. Octubre, 2013

Calidad ambiental

Sólidos suspendidos totales (mg/L)

En superficie los sólidos suspendidos totales (SST) variaron entre 1,61 y 33,60 mg/L y presentaron una distribución ascendente hacia el noreste, las concentraciones mínimas (<5 mg/L) se localizaron al oeste de las islas Ballestas. Dentro de las 5 mn, en la bahía de Pisco, se registraron valores ligeramente superiores a 20 mg/L, hallándose las concentraciones más elevadas para el nivel superficial al norte de la desembocadura del río Pisco y al noreste de La Puntilla (Fig. 35).

En el nivel de fondo los SST se encontraron en el rango 1,61 – 43,26 mg/L. En la franja costera hasta las 5 mn la distribución fue ascendente hacia la costa, con un núcleo de 40 mg/L en las inmediaciones de la desembocadura del río Pisco asociado al material particulado transportado por el río y que discurre hacia dicha zona. Las concentraciones de sólidos suspendidos totales, tanto en la superficie como en el fondo marino, no superaron el valor establecido en los estándares nacionales de calidad ambiental para agua (categoría 2 - Actividades Marino Costeras).

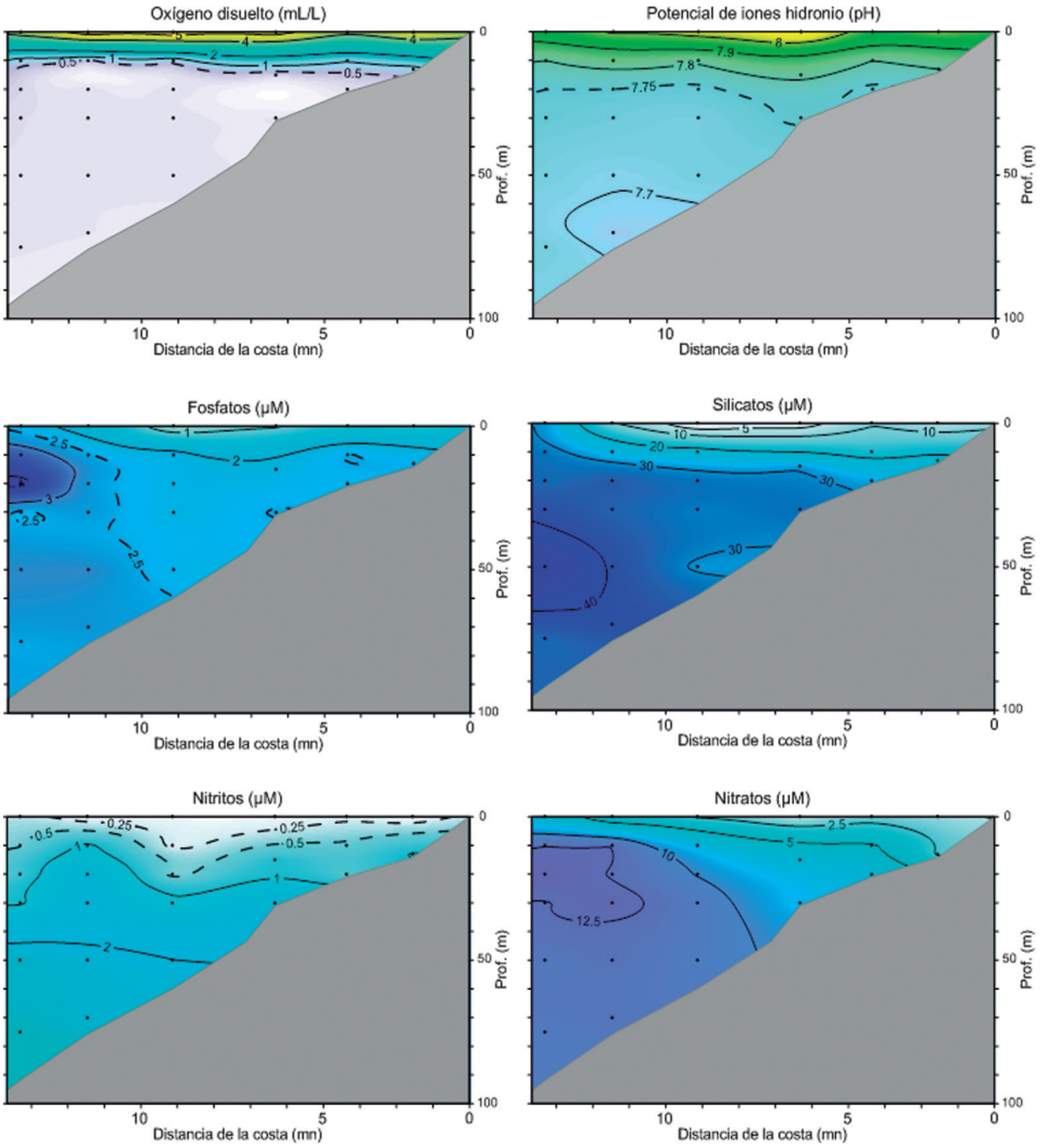

Figura 33.- Oxígeno, pH, fosfatos, silicatos, nitritos y nitratos en el Perfil 4 (13°45´40"S). Pisco. Octubre, 2013

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

En superficie, los valores encontrados de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), estuvieron en su gran mayoría por debajo del límite de detección del método de ensayo (2 mg/L), la concentración más elevada (7,11 mg/L) se ubicó a 5 mn frente a playa Lobería (Est. 9), mientras que frente al muelle fiscal (Est. 18) y a 3 mn al este de la isla Chincha Norte (Est. 33) se obtuvieron valores ligeramente superiores al límite de detección. Todas las estaciones evaluadas presentaron concentraciones de DBO_5 menores al valor establecido en los estándares nacionales de calidad ambiental para agua (categoría 2-Actividades Marino Costeras) (Fig. 36).

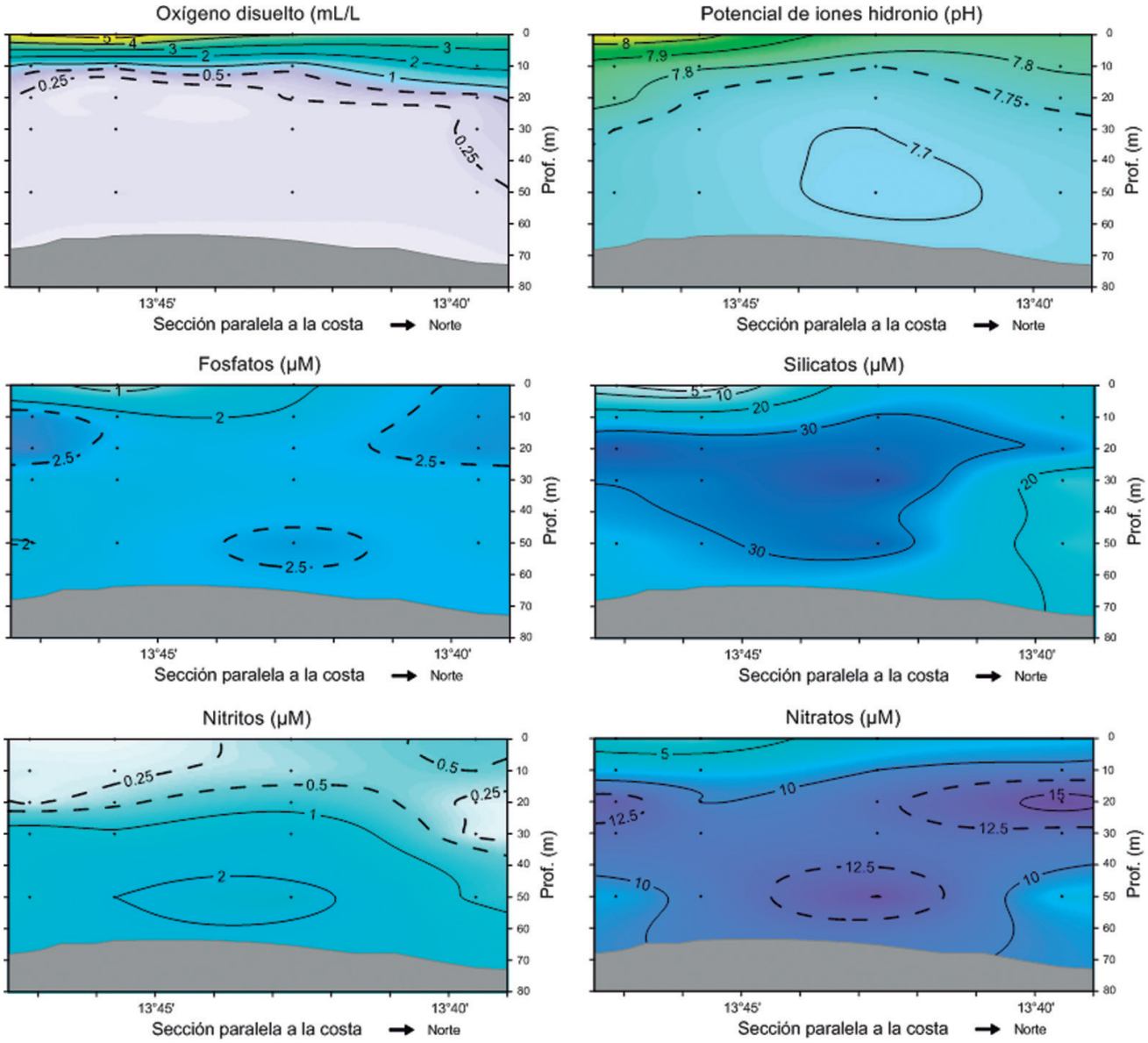

Figura 34.- Oxígeno, pH, fosfatos, silicatos, nitritos y nitratos en el Perfil 6 Paralelo a 8 mn de costa (76°22´08´´LW). Pisco. Octubre, 2013

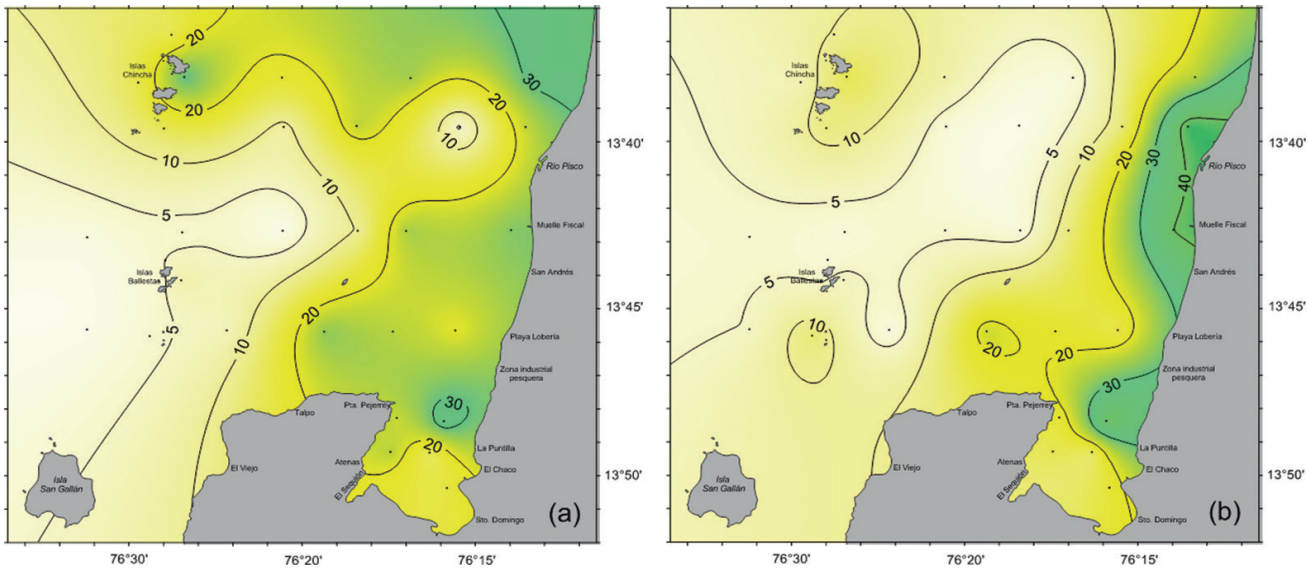

Figura 35.- Distribución de sólidos suspendidos totales (mg/L) en la superficie (a) y el fondo (b). Pisco. Octubre, 2013

Sulfuro de hidrógeno (µM)

La concentración en el fondo marino fluctuó en el rango 0,00 – 0,37 µM; en la mayor parte de la zona evaluada los valores no superaron los 0,20 µM, hallándose valores cercanos a cero fuera de las islas Chincha y Ballestas. Se registraron pequeños núcleos de 0,2 µM frente a la desembocadura del río Pisco y en la bahía de Paracas, entre la zona industrial pesquera y el sur de Punta Pejerrey. La concentración más elevada estuvo situada en la zona de Atenas, donde se desarrollan actividades de maricultura del recurso concha de abanico *Argopecten purpuratus*. En general, los valores fueron pobres, mostrando un ligero incremento en zonas puntuales y aledañas al litoral, donde se desarrollan actividades antropogénicas, que favorecen los procesos de reducción que conllevan a la formación del sulfuro de hidrógeno (Fig. 37).

Aceites y grasas (mg/L)

Los aceites y grasas se determinaron como material orgánico extraíble en hexano, este parámetro de calidad ambiental está estrechamente relacionado con el vertido al mar de efluentes residuales derivados principalmente de la producción de harina y aceite de pescado. Las concentraciones halladas en la superficie marina fueron mínimas, la mayor parte de las estaciones evaluadas presentaron niveles cercanos a cero. La concentración más elevada (0,88 mg/L), se localizó cerca a Punta. Pejerrey, donde se ubica el terminal portuario General de San Martín, sin embargo, todos los valores hallados no superaron al estándar de calidad ambiental (2 mg/L) establecido en el DS-002-2008-MINAM (categoría 2 - Actividades Marino Costeras) (Fig. 38).

Coliformes totales y termotolerantes (NMP/100 mL)

Estos indicadores están relacionados con los vertidos residuales de origen doméstico e industrial hacia los cuerpos de agua. En los coliformes termotolerantes la carga contaminante está representada por altos porcentajes de microorganismos de origen fecal, que pueden generar enfermedades en la población. Los resultados analíticos de coliformes totales y termotolerantes estuvieron por debajo del límite de detección del método (<2 NMP/100 mL), lo que indica ausencia de contaminación microbiológica, sobre todo por contaminación fecal.

Fitoplancton y productividad primaria

Distribución de los volúmenes de plancton

Los volúmenes de plancton fluctuaron entre 0,332 y 2,429 mL.m^{-3} (Fig. 39), el valor más alto fue registrado en la Est. 59 al sureste de las islas Ballestas. El predominio del fitoplancton fue en el 51,7% del total de muestras, la

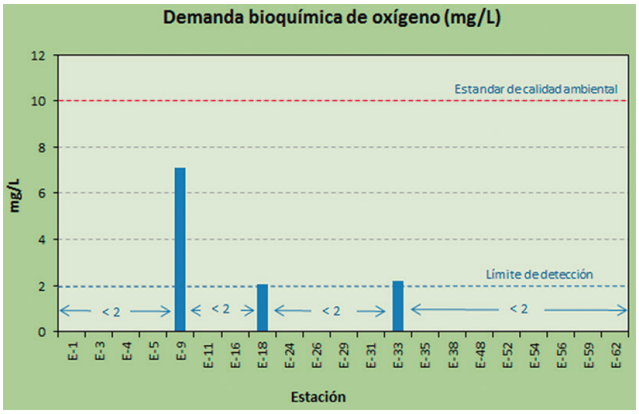

Figura 36.- Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L). Pisco. Octubre. 2013

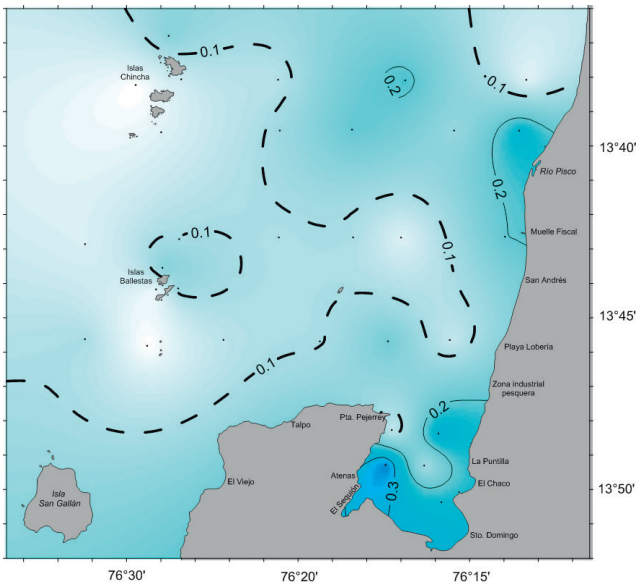

Figura 37.- Distribución de Sulfuro de hidrógeno (µM) en el fondo. Pisco. Octubre, 2013

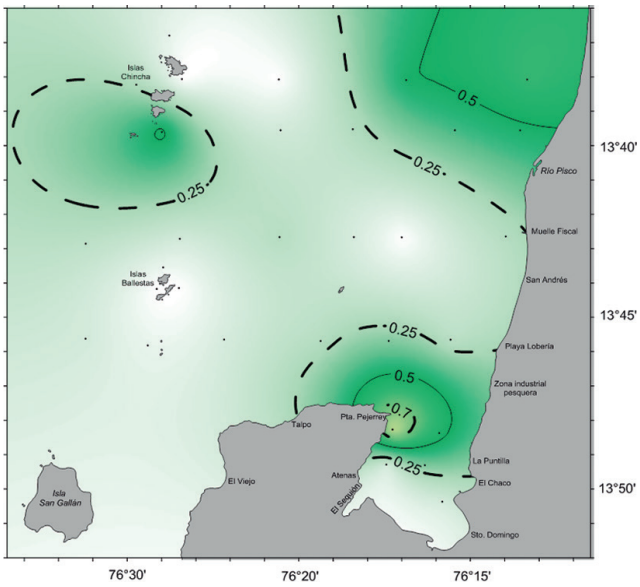

Figura 38.- Distribución de aceites y grasas (mg/L) en superficie. Pisco. Octubre, 2013

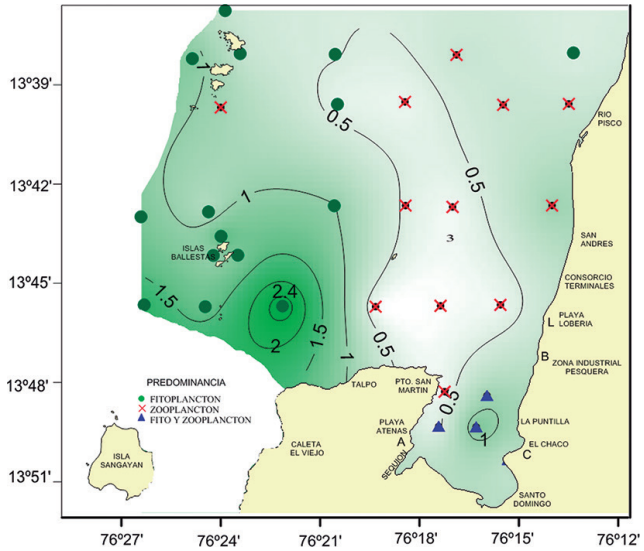

Figura 39.- Distribución de los volúmenes de plancton (mL/m^3) y predominancia de grupos. Islas Ballestas-Chincha

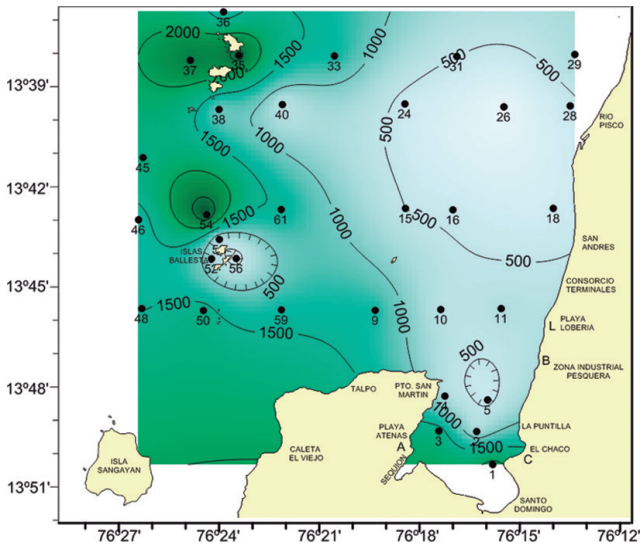

Figura 40.- Abundancia de fitoplancton total (cel L^{-1}) en superficie. Islas Ballestas-Chincha

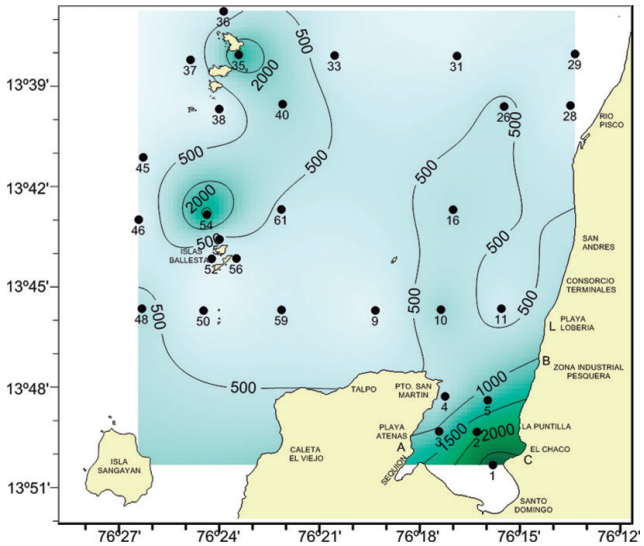

Figura 41.- Abundancia de fitoplancton total (cel.1000.L^{-1}) a 10 m de profundidad. Octubre, 2013

predominancia del zooplancton y codominancia entre ambos grupos fue de 37,9 y 10,3%, respectivamente.

Composición del fitoplancton

Los resultados del análisis cuantitativo de fitoplancton corresponden a 75 muestras de agua analizadas. Se determinó 119 taxa de los cuales 67 fueron diatomeas (56,3%), 49 dinoflagelados (41,18%) y 3 silicoflagelados (2,52%), considerando en el total de fitoplancton a los fitoflagelados.

En la distribución del fitoplancton total en superficie (Fig. 40) los focos de abundancia se ubicaron fuera de la bahía, en las proximidades de las islas Chincha y al norte de las islas Ballestas (Ests. 35 y 54, respectivamente); en el interior de la bahía los valores de fitoplancton total también fueron altos, observándose el incremento de *Prorocentrum micans* E.; *P. cordatum* D. y *Protoperidinium* sp. En general, destacaron en abundancia diatomeas centrales de afloramiento como *Chaetoceros sociales* L.; *Ch. affinis* L.; *Ch. constrictus* G.; *Ch. curvisetus* C.; *Ch. debilis* C.; *Ch. didymus* E., así como también las diatomeas en cadena *Eucampia zoodiacus* E. y *Leptocylindrus danicus* C. Los dinoflagelados no destacaron en abundancia total, los más representativos fueron *P. micans* y *D. acuminata,* observados en estaciones más someras del interior de la bahía de Paracas.

La abundancia de fitoplancton total (cel.1000 L^{-1}) a profundidad promedio de 10 m fluctuó entre 91 y 2782, manteniéndose los focos en las estaciones 1, 35 y 54 (Fig. 41). En la composición de las especies de fitoplancton se observó presencia y abundancia de *L. danicus, E. zoodiacus,* diatomeas "pennates" de pequeño tamaño, y especies de los géneros *Chaetoceros* y *Protoperidinium*.

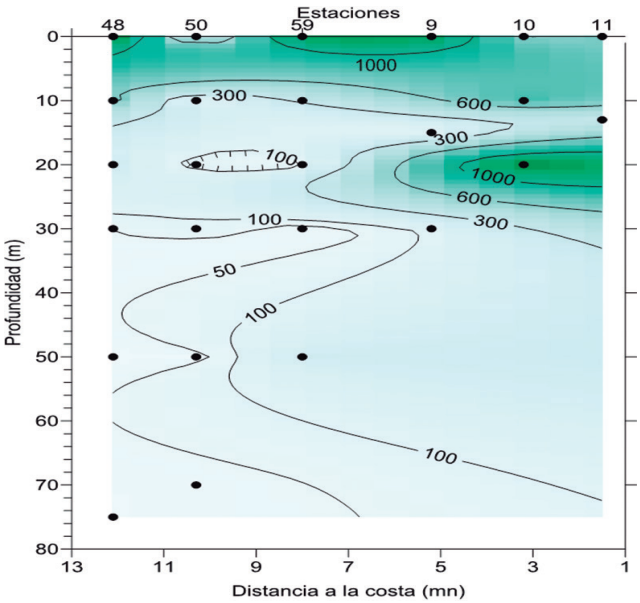

Figura 42.- Concentración de fitoplancton total (cel.1000/L) en el perfil 4 (Est. 11, 10, 9, 59, 50, 48). Pisco. Octubre, 2013

La concentración de fitoplancton en la columna de agua se puede observar en la figura 42 donde se muestra el perfil conformado por las estaciones 11, 10, 9, 59, 50 y 48 con mayores concentraciones hasta 10 m de profundidad y en las estaciones próximas a la costa (9, 10, y 11) se observó un núcleo de 1000 cel.1000 L^{-1} a 20 m de profundidad.

Análisis de Similaridad entre estaciones

En las figuras 43 y 44 se muestran los árboles de similaridad, para el fitoplancton total en superficie y 10 m, respectivamente.

En superficie se pueden dividir las estaciones de muestreo en 3 grupos principales (Fig. 45): el primero con las estaciones que se encuentran fuera de la bahía y próximas a las islas Chincha; el segundo se divide en dos zonas, la primera comprende las estaciones frente a la desembocadura del río Pisco y la segunda las estaciones de la entrada y dentro de la bahía así como las que estuvieron al sur de islas Ballestas; el tercer grupo con estaciones frente a las playas San Andrés, Consorcio Terminales y Lobería hasta las ubicadas cerca de las islas Ballestas, aquí también se incluye a las estaciones 1 y 29 que son de poca profundidad.

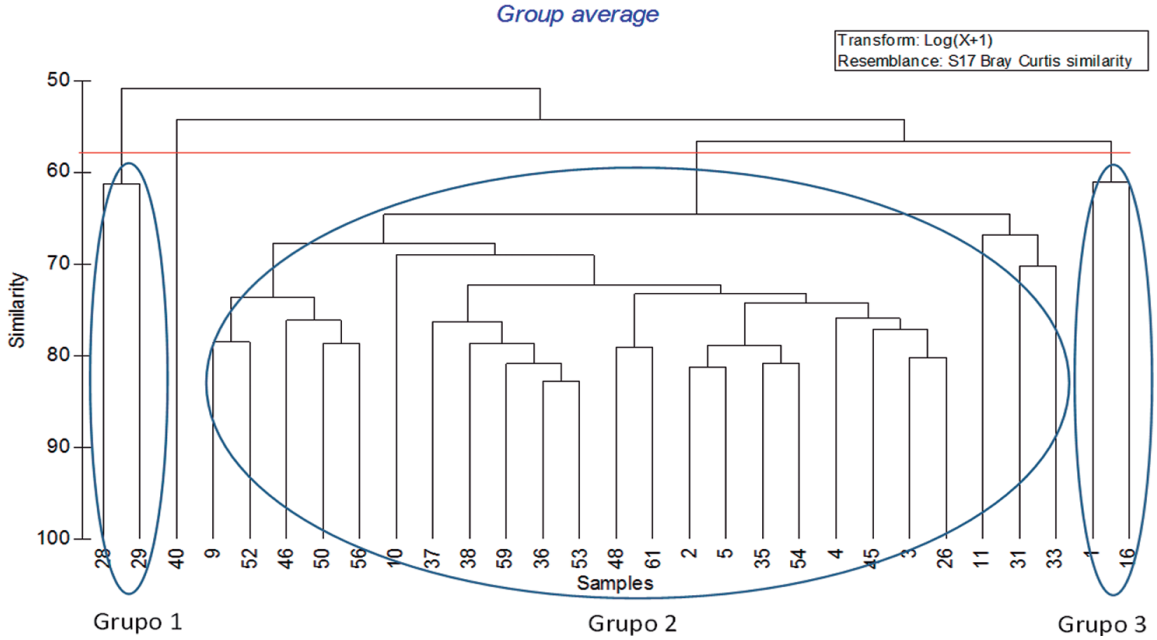

Figura 43.- Dendograma de similaridad Bray-Curtis de fitoplancton total a 10 m de profundidad. Pisco. Octubre, 2013

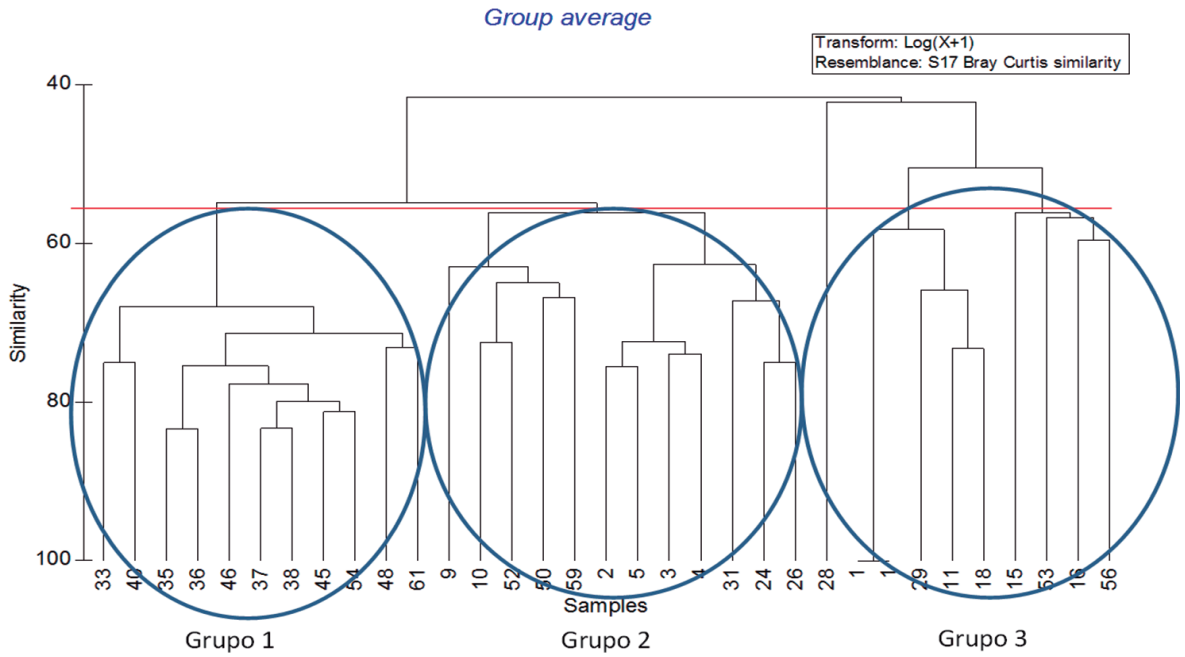

Figura 44.- Dendograma de similaridad Bray-Curtis del fitoplancton total superficial. Pisco. Octubre, 2013

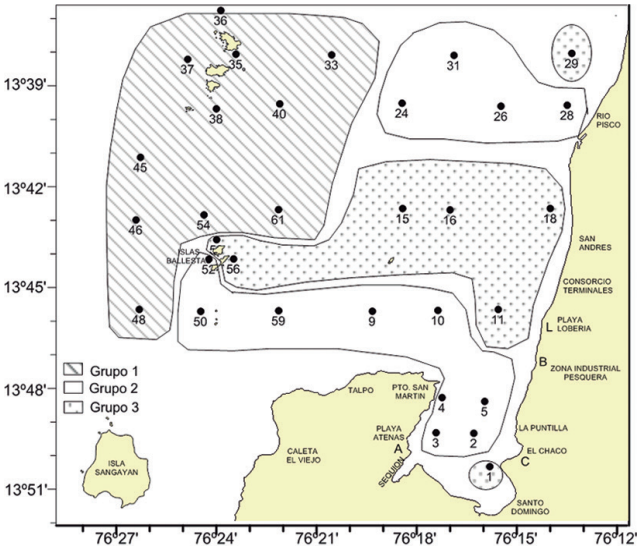

Figura 45.- Similaridad de fitoplancton total (cel.L^{-1}) en superficie. Pisco. Octubre, 2013

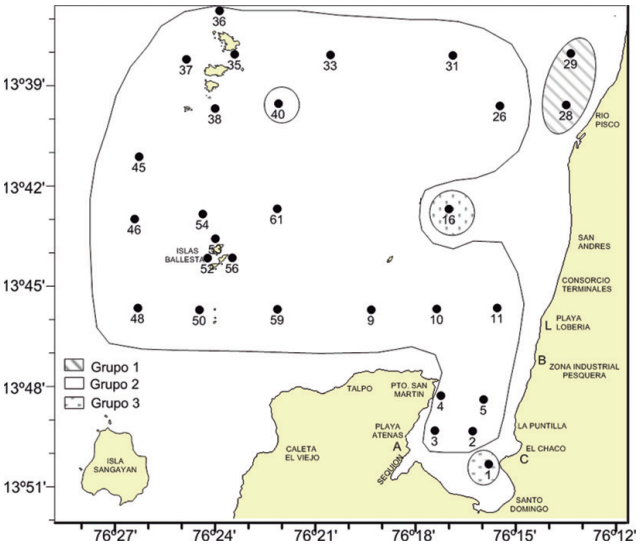

Figura 46.- Similaridad de fitoplancton total (cel.1000.L^{-1}) a 10 m de profundidad. Pisco. Octubre, 2013

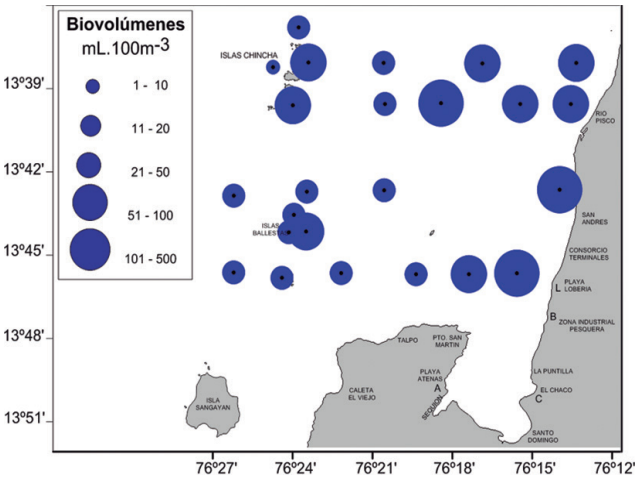

Figura 47.- Distribución de biovolúmenes de zooplancton en bahía Paracas-Islas Ballestas y Chincha. Octubre, 2013

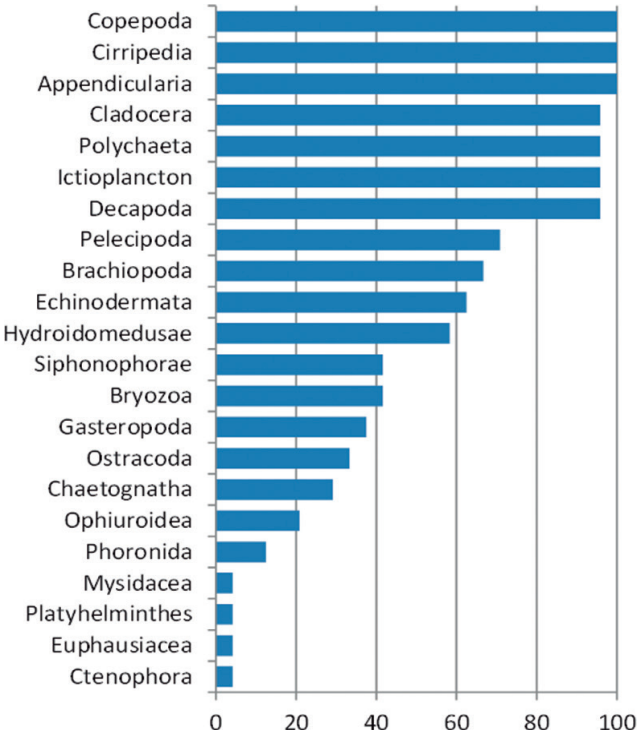

Figura 48.- Frecuencia porcentual de los grupos de zooplancton. Monitoreo en bahía Paracas-Islas Ballestas y Chincha. Octubre, 2013

Según el índice de similaridad de Bray-Curtis, para muestras cuantitativas de fitoplancton a 10 m de profundidad, se observa la formación de un grupo que abarca la mayoría de estaciones (Grupo 2) y dos grupos aislados y costeros (Fig. 46), el grupo 1 con las estaciones 28 y 29 (frente al río Pisco) y el grupo 3 con dos estaciones costeras pero geográficamente separadas (Ests. 1 y 16), finalmente la Est. 40 es más similar a los grupos 2 y 3.

Zooplancton

Los biovolúmenes de zooplancton fluctuaron entre 9,57 y 177 mL.100m^{-3}, promedio 57,93 mL.100m^{-3}. El menor biovolumen se registró frente a islas Chincha (Est. 37), mientras que el máximo valor se halló frente a San Andrés (Est. 18) (Fig. 47).

El zooplancton estuvo conformado por 68 especies pertenecientes a 22 grupos, los más frecuentes fueron copépodos, cirrípedos y apendicularias que se localizaron en el 100% del área evaluada. Destacaron por sus altas frecuencias los cladóceros, poliquetos, decápodos e ictioplancton (96%), larvas de pelecípodos (71%), larvas de braquiópodos (67%) y equinodermos (63%), entre otros (Fig. 48).

La abundancia total de zooplancton fluctuó entre 59.037 y 3.986.726 ind.100m^{-3}, con menor densidad frente a islas Chincha y la mayor frente a San Andrés (Fig. 49).

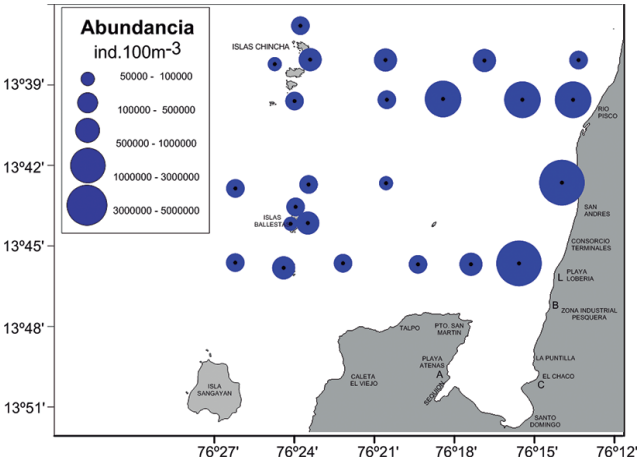

Figura 49.- Distribución de las abundancias del zooplancton en bahía Paracas-Islas Ballestas y Chincha. Octubre, 2013

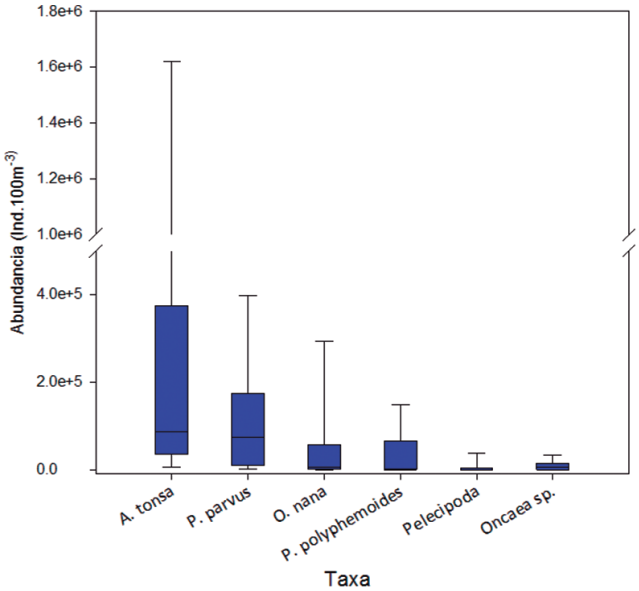

Figura 50.- Abundancias de las especies dominantes del zooplancton en bahía Paracas-Islas Ballestas y Chincha. Octubre, 2013

La mayor abundancia de zooplancton se halló en las estaciones más costeras. Los copépodos fueron más abundantes representando 83% de la densidad total del zooplancton, seguido de cladóceros (6%) y pelecípodos (4%).

La especie que presentó la mayor abundancia fue el copépodo *Acartia tonsa* D. que representó el 50% del zooplancton total, con densidad promedio de 363.184 ind.100 m^{-3}, seguida de *Paracalanus parvus* (C.) que representó el 17% con promedio de 122.651 ind.100 m^{-3}, mientras que *Oithona nana* G. representó el 9% con densidad promedio de 65.640 ind.100 m^{-3}.

Otras especies importantes por sus valores de abundancia fueron el cladócero *Pleopis polyphemoides* (L) (6%) y el copépodo *Oncaea* sp. (3%) (Fig. 50).

Análisis comunitario

El número de especies presentes en las estaciones de muestreo fluctuaron entre 13 y 37. La riqueza de especies fluctuó entre 1 y 3 con el valor más alto en la Est. 54 (36 especies) y el más bajo en la Est. 29 (13 especies).

El índice de Shannon mostró valores comprendidos entre 0,841 y 2,150 (Tabla 1), notándose que en la estación donde se registró el valor más alto coincide con la mayor equidad y la menor abundancia. Los valores de equidad estuvieron entre 0,251 y 0,626 que evidenciaron la dominancia de pocas especies en la zona, entre las que destacaron *Acartia tonsa* y *Paracalanus parvus*.

En el análisis de similaridad de Bray Curtis, se obtuvo un dendograma (Fig. 51), en el cual al 60% se observó claramente la formación de 4 grupos:

Grupo I: Formado por las estaciones 37, 52 y 62 que registraron la menor abundancia del zooplancton, con bajas densidades de *A. tonsa* y *P. parvus*, especies dominantes de la zona.

Tabla 1.- Parámetros comunitarios del zooplancton en bahía Paracas-Islas Ballestas y Chincha. Octubre, 2013

Estación	Nro. especies	Abundancia (N)	Riqueza (d)	Equidad (J')	Diversidad H' (loge)
9	21	174881	1,657	0,480	1,463
10	29	515531	2,129	0,381	1,282
11	17	3144827	1,069	0,371	1,051
18	20	3986726	1,250	0,429	1,285
24	30	1155367	2,077	0,443	1,507
26	20	1200263	1,357	0,455	1,364
28	20	1610814	1,329	0,363	1,087
29	13	145632	1,009	0,328	0,841
31	27	956443	1,888	0,458	1,509
33	31	753999	2,217	0,371	1,274
35	37	725019	2,668	0,497	1,795
36	29	161587	2,335	0,490	1,650
37	31	59037	2,731	0,626	2,150
38	31	417004	2,318	0,508	1,744
41	28	219951	2,195	0,305	1,015
46	33	110000	2,757	0,450	1,574
48	28	182319	2,229	0,366	1,219
50	29	549216	2,119	0,251	0,845
52	16	66775	1,350	0,484	1,341
53	27	213344	2,119	0,460	1,516
54	36	251183	2,815	0,490	1,757
56	18	566839	1,283	0,452	1,306
59	26	141749	2,108	0,440	1,434
62	22	68907	1,885	0,464	1,433
Mínimo	**13**	59037	1,009	0,251	0,841
Máximo	**37**	3986726	2,815	0,626	2,150

Grupo II: Integrado por las estaciones 9, 29, 36, 41, 46, 48, 53, 54 y 59, en las que se registró alta abundancia de *P. parvus, Oithona* sp. y larvas de poliquetos.

Grupo III: Integrado por las estaciones 11 y 18 que presentaron la mayor abundancia del cladócero *P. polyphemoides*, de los copépodos *A. tonsa* y *O. nana* y de la apendicularia *Oikopleura* sp.

Grupo IV: Conformado por las estaciones 10, 24, 26, 28, 31, 33, 35, 38, 50 y 56 que presentaron densidades altas de los copépodos dominantes en la zona *A. tonsa*, *P. parvus* y de estadios larvales de cirrípedos (nauplios y larvas cipris).

BENTOS

Las densidades variaron entre 27 ±9 y 38.313 ±12.969 ind.m^{-2} (Est. 15, 31 m y Est. 18, 6 m). La mayor densidad se debió al aporte de los poliquetos *Mediomastus branchiferus* H. y *Magelona phyllisae* J. que alcanzaron 33 y 26% del total, respectivamente (Fig. 52a).

La biomasa varió entre 0,2 g.m^{-2} (Est. 31, 38 m) y 581 ±754 g.m^{-2} (Est. 38, 24 m). La mayor biomasa se debió al aporte del bivalvo *Glycymeris ovata* (B.), del gasterópodo *Nassarius dentifer* (P.) y presencia de *Balanus laevis* B. Entre los poliquetos resalta la mayor abundancia de *M. branchiferus* (Fig. 52b).

Se registraron 84 taxa en la macrofauna, 47 fueron poliquetos, 16 crustáceos, 13 moluscos, 2 nemertinos, 2 equinodermos y 6 clasificados como 'Otros', que agrupó a antozoos, platelmintos, enteropneustos, sipuncúlidos y picnogónidos. La Est. 2, la réplica 3 de la Est. 31 y la réplica 2 de la Est.10, resultaron estar con muy baja cantidad de fauna (sólo se encontraron nemátodos).

En el muestreo se reportó la presencia de bacteriobentos en las estaciones 31, 53, 62, 50, 54, 33, 46, 48, 36, 15, 9 y 24. Un aspecto importante fue el contenido de clorofila-a en el sedimento, que se observó en la conformación de núcleos con máximos valores en las islas Ballestas (Est. 48) y frente a playa Lobería (Est.11) (Fig. 53).

Como se mencionó *M. branchiferus* estuvo ampliamente distribuida y fue la especie más frecuente junto con *M. phyllisae*.

La distribución de los parámetros biológicos indica un núcleo de densidad alrededor de la boca del rio Pisco extendiéndose hasta cerca de playa San Andrés (Ests. 28 y 18) (Fig. 53b). En biomasa se pueden apreciar tres núcleos conformados por las Ests. 18 y 11, otros alrededor de las islas Ballestas (Est. 56) e isla Chincha Sur (Est. 38) (Fig. 53e). El número de especies fue mayor en las estaciones cercanas a las islas Chincha y en la costa las estaciones 28, 18 y 11 (Fig. 53c).

Sin embargo el índice de diversidad de Shannon presentó distribución semejante al número de especies, pero con mayor área del núcleo sur conformada también por la Est. 5. La diversidad observada fue alta en las estaciones circundantes a las islas (Fig. 53d).

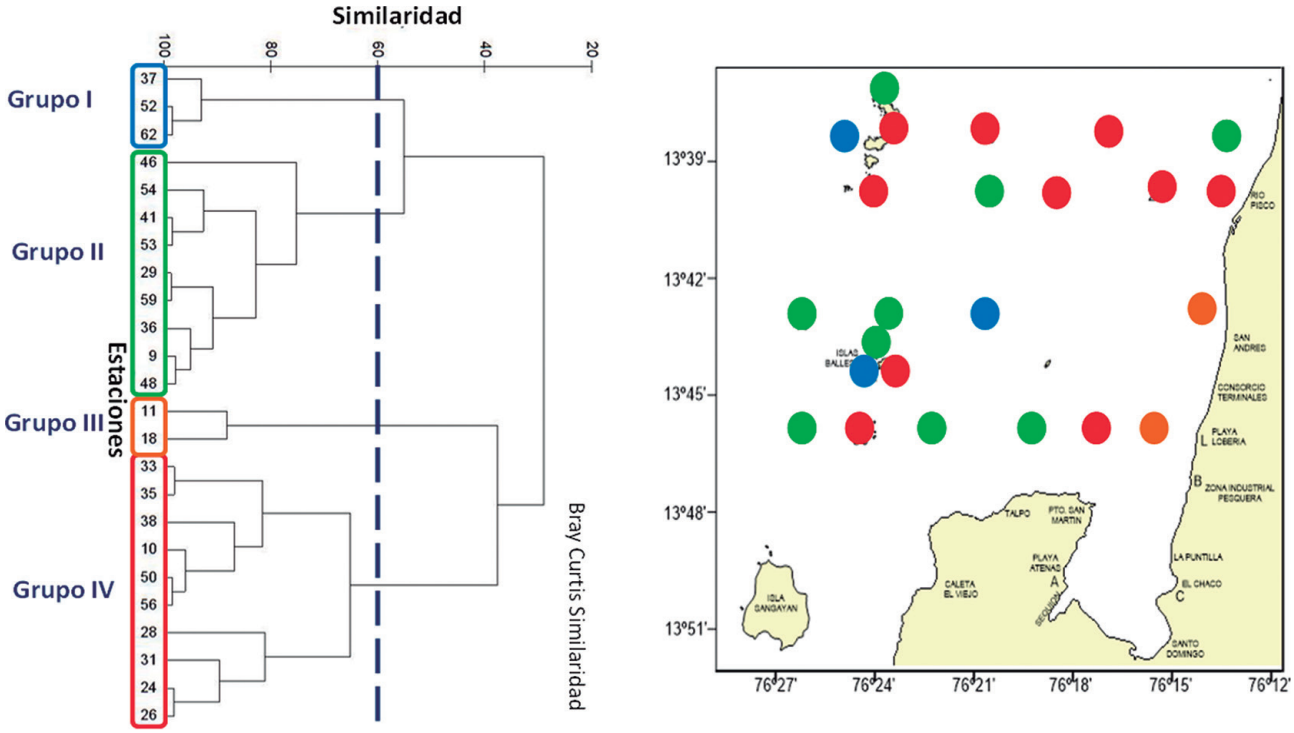

Figura 51.- Dendograma de similaridad de estaciones en bahía Paracas - Islas Ballestas y Chincha. Octubre, 2013

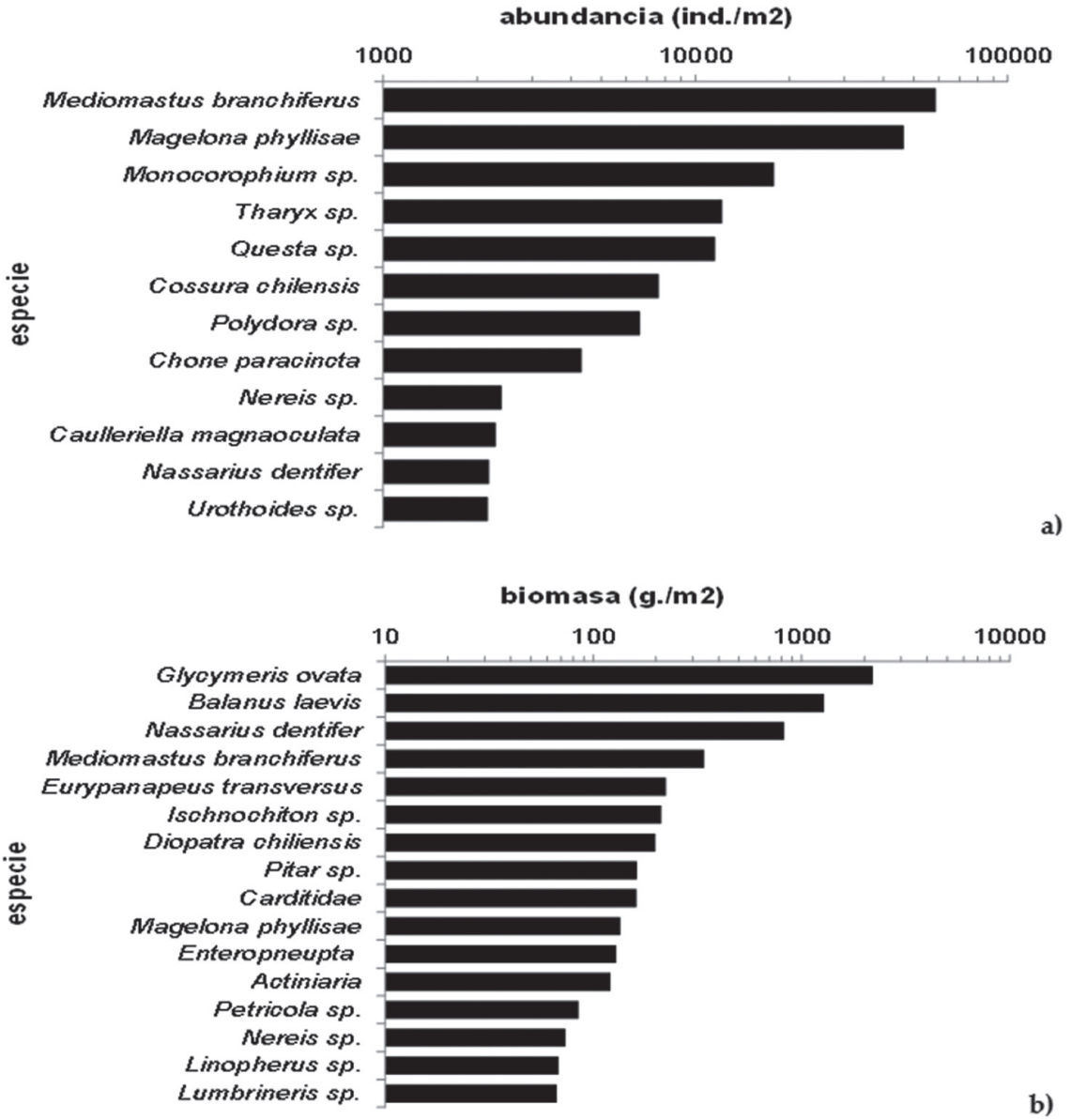

Figura 52.- a) densidad (ind.m^{-2}) y b) biomasa de las principales especies. Pisco. Octubre, 2013

Con el fin de proceder con los análisis comunitarios se estimó conveniente una reducción de la variable especie, por poca densidad (<1%) y frecuencia, en este sentido solo 12 taxa fueron considerados.

En un primer momento se procedió con el análisis de ordenamiento numérico NMDS, obteniéndose un diagrama que indicaba cómo se distribuyen espacialmente las estaciones y cuan cercanas se encuentran en la conformación de comunidades. Se observó heterogeneidad espacial conformándose cuatro grupos de muestras (Fig. 54a). Posteriormente, el análisis de cluster entre estaciones permitió diferenciar al 30% de similitud, es decir con una disimilitud del 70%, la formación de 5 grupos de muestras (GM).

Así el GM1 estuvo conformado por las estaciones 24, 26, 33, 31, 48, 9, 10, 16, 53 y 50; el GM2 con las Ests. 26, 29, 11, 28, 18 y 35; el GM3 con las Ests. 15, 5; el GM4 con las Ests. 38 y 56 y el GM5 con las Ests.1 y 3 (Fig. 54b).

Del NMDS para las especies, se observaron tres grupos (GE) a un corte de 30% de similitud luego del cluster respectivo. El primer GE estuvo conformado por *M. phyllisae*, *Tharyx* sp., *Cossura chilensis* H-S., *Mediomastus branchiferus* H-S. y *Chone paracincta* H-S. El segundo GE por *Polydora* sp. *Nereis* sp. *Monocorophium* sp. y *Questa* sp. y el tercer GE por *N. dentifer*, *Urothoides* sp. y el poliqueto *Caulleriella magnaoculata* H-S.

Un posterior reordenamiento tanto en especies como en muestras mediante un análisis nodal, se presenta por grupos en la figura 55.

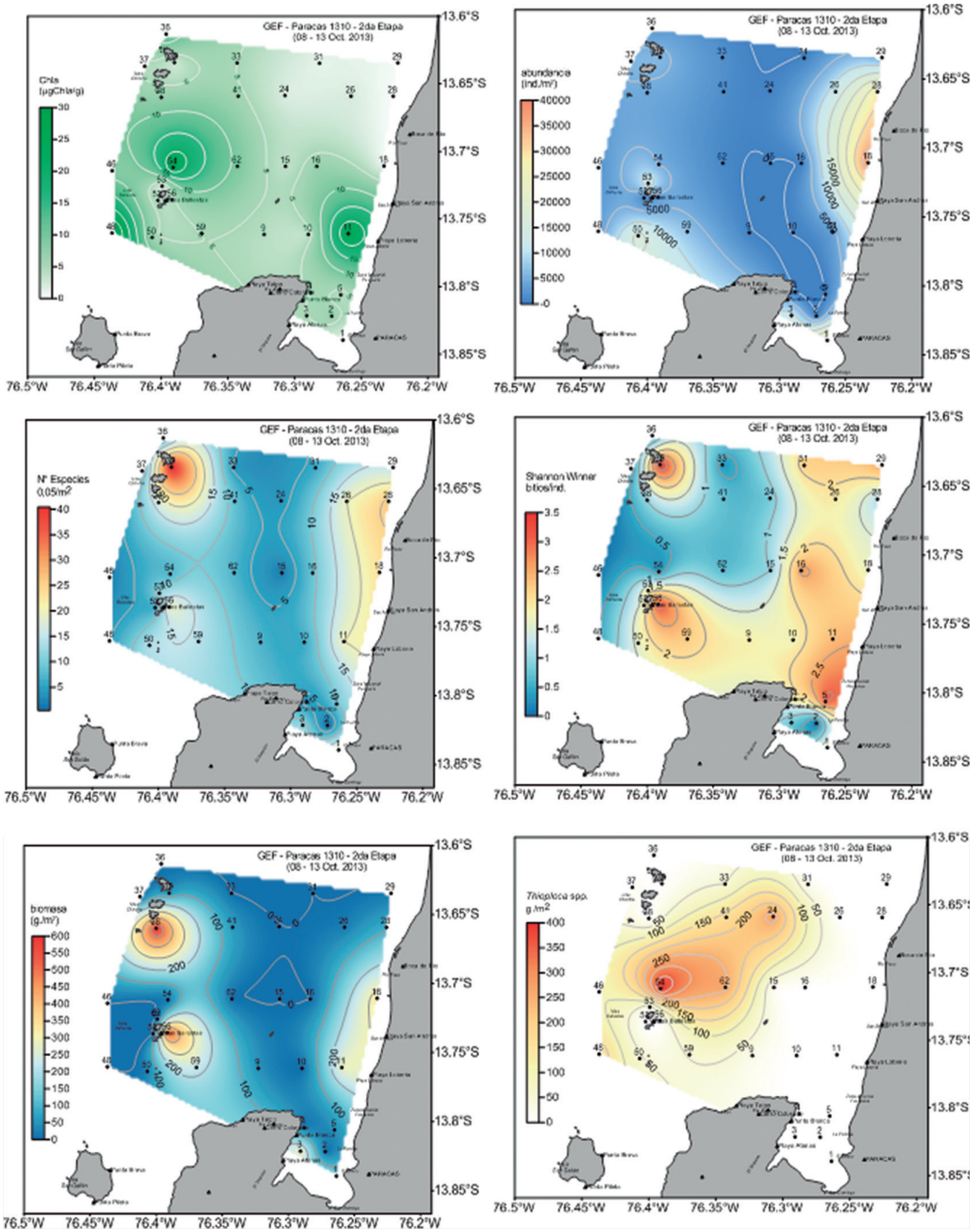

Figura 53.- Distribución de: clorofila-a en sedimentos, abundancia (ind.m^{-2}); número de especies (spp. m^{-2}), diversidad (bitios/ind.), biomasa (g. m^{-2}) y biomasa de *Thioploca* spp. (g. m^{-2}). Pisco. Octubre, 2013

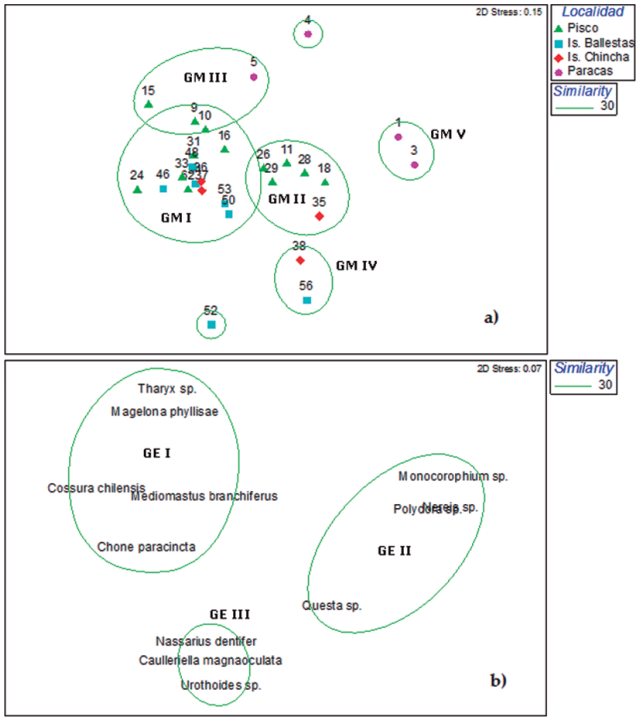

Figura 54.- a) Diagrama NMDS. Dendograma de similitud. b) entre estaciones basado en datos de densidad (ind.m^{-2}). Pisco. Octubre, 2013

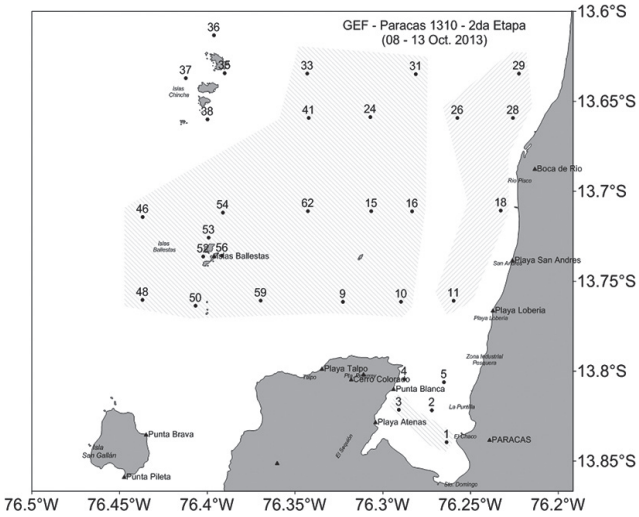

Figura 55.- Grupos de muestras/estaciones (GM) conformados a partir del cluster de abundancia total. Pisco. Octubre, 2013

Sedimentología y geoquímica

Se elaboraron mapas de distribución de contenidos de fracciones granulométricas de arena, limo y arcilla, de facies texturales, del contenido de materia orgánica total y carbonatos totales.

Descripción de los sedimentos superficiales

En la zona de estudio, los sedimentos superficiales en sus fracciones de tamaño, arena y fango, están conformados en su mayor proporción por minerales

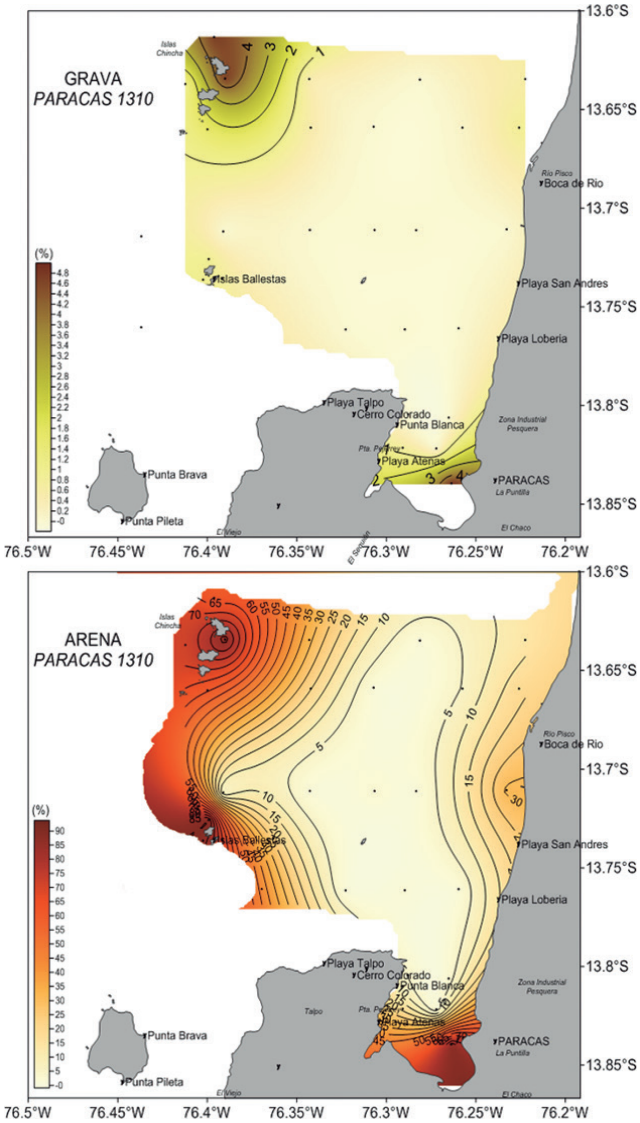

Figura 56.- Distribución del contenido de Grava y Arena en sedimentos marinos de Bahía Paracas e islas Ballestas. Octubre, 2013

terrígenos como silicatos (cuarzo, feldespatos, micas, entre otros, minerales). También están presentes restos de origen biogénico como fragmentos calcáreos de valvas (*Mulinia edulis* (K.)). Para el estudio granulométrico comparativo, se determinaron los porcentajes parciales de grava, arena, limo y arcilla.

Granulometría y textura

Contenido de la fracción grava

Estuvo compuesta principalmente de fragmentos calcáreos y de roca (sub-redondeados). Los mayores contenidos de grava (5%) se hallaron en la Est. 1 (localizada en la zona sur de la bahía Paracas, frente al Chaco), y en las Ests. 35 y 36 (ubicadas alrededor de las islas Ballestas), donde los contenidos de grava fluctuaron alrededor de 4,7% (Fig. 56).

Contenido de la fracción arena

En el área de estudio el contenido de la fracción arena no fue dominante, limitándose a tener valor elevado en algunas estaciones próximas a las islas y en algunos casos a la línea de costa. Los mayores contenidos de la fracción arena se localizaron frente a las islas Chincha (90%), también en sus proximidades cuyos contenidos estuvieron alrededor de 87% en la zona sur de la bahía y frente al Chaco. En la zona más alejada de la costa, centro y norte de la bahía Paracas, los contenidos de arena tendieron a disminuir conforme aumentó la profundidad. La fracción arena estuvo conformada principalmente de minerales de origen terrígeno como cuarzo, feldespatos y también componentes de origen biogénico (fragmentos calcáreos). Las magnitudes de los contenidos y la distribución de arena en la zona de estudio se muestran en la figura 56.

Contenido de la fracción limo

La fracción limo, conformada por partículas de tamaño de grano <0,063 mm, estuvo ampliamente distribuida en la zona central del área de estudio (entre las islas y la costa), con tendencia inversa de distribución a la de arena. Presentó los mayores contenidos (75%) al noroeste de la desembocadura del rio Pisco. El menor contenido se halló en la Est. 1 (1%) frente al Chaco y también similares contenidos estuvieron presentes en las islas Chincha (Fig. 57a).

Contenido de la fracción arcilla

Mostró también tendencia opuesta de distribución en relación con la distribución de arena. Los mayores valores se localizaron en la Est. 2 (79%) frente a La Puntilla, el menor contenido de arcilla corresponde a la Est. 1 (6%) localizada frente al Chaco (Fig. 57b). Los mayores contenidos se presentaron como núcleos próximos a los mayores contenidos de limo.

Textura

Mediante análisis granulométricos se definieron 8 facies texturales, la textura de limo arcilloso presentó mayor extensión de sur a norte; en la línea de costa se formó un parche alargado de limo arenoso; pequeños parches de arena se localizan al norte de las islas Ballestas y en la zona sur frente al Chaco; hacia la zona alejada de la línea de costa y a mayor profundidad (70 m) se hallaron fragmentos mayores a gravas, guijas y canto rodado; al norte de las islas Chincha se determinó un parche de arena arcillosa (Fig. 58).

Contenido de materia orgánica total y carbonatos totales

La materia orgánica en los sedimentos estuvo conformada por componentes de procedencia marina y continental. Los mayores valores se hallaron al norte de las islas Ballestas (16%) en la Est. 54, mientras que el contenido mínimo se encontró en la zona sur de la bahía, frente al Chaco (2%) en la Est. 1. En los sedimentos de bahía Paracas el valor promedio de MOT fue 8% (Fig. 59a).

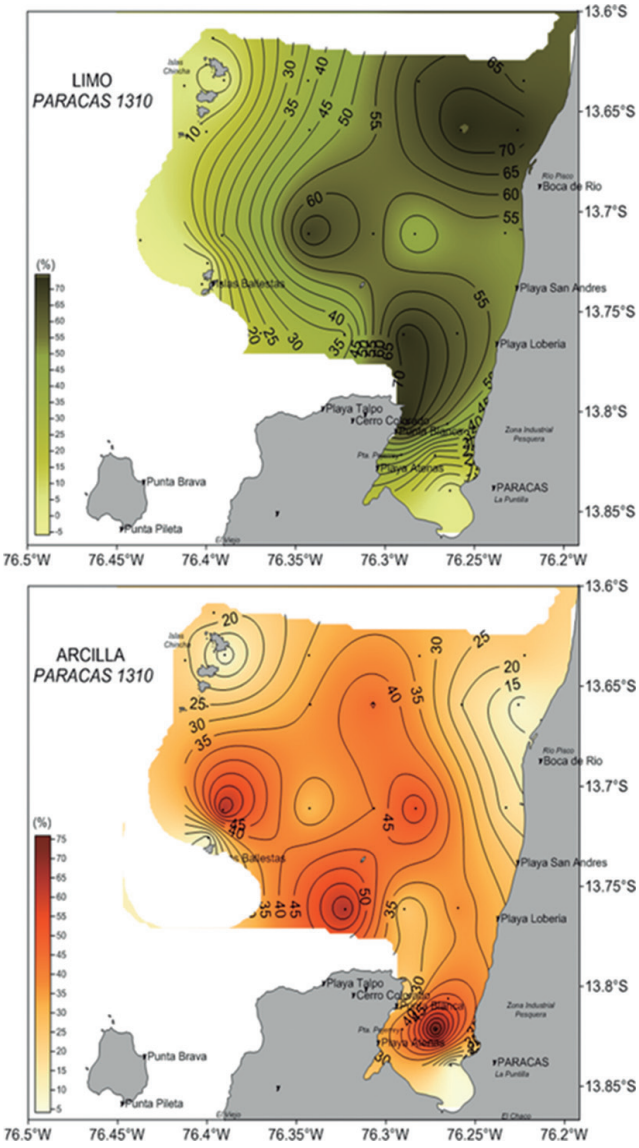

Figura 57.- Distribución del contenido de Limo y Arcilla en sedimentos del fondo marino de bahía Paracas e islas Ballestas. Octubre, 2013

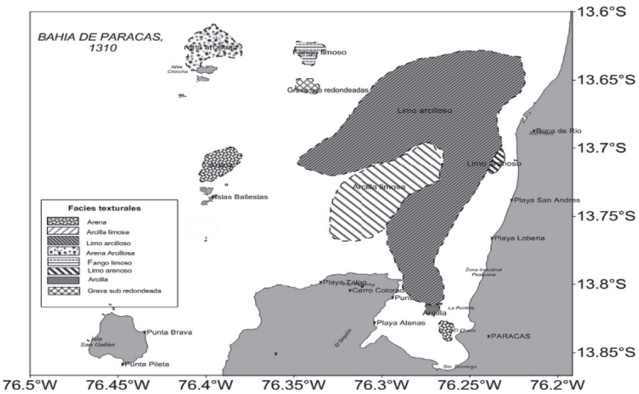

Figura 58.- Mapa de distribución de textura sedimentaria en bahía Paracas e islas Ballestas. Octubre, 2013

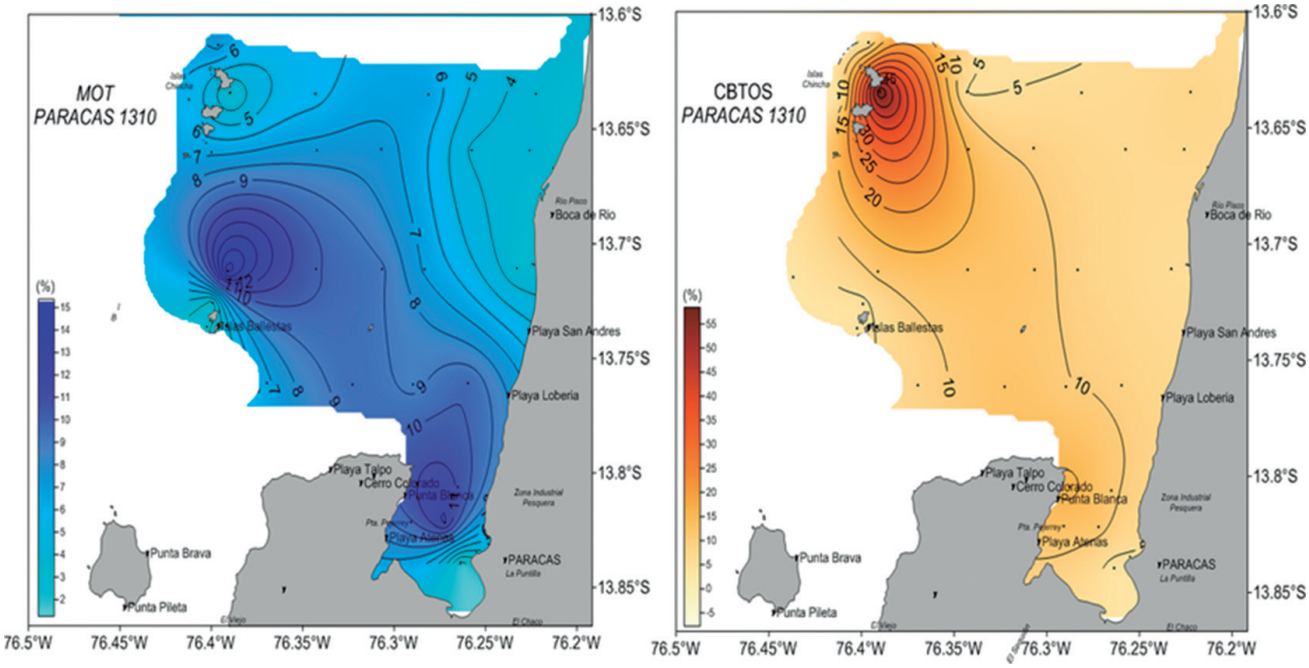

Figura 59.- Distribución del contenido de Materia orgánica total, y Carbonatos totales en sedimentos marinos de bahía Paracas e islas Ballestas. Octubre, 2013

Con relación a la distribución geográfica de la MOT en sedimentos, se apreció que en la zona comprendida desde bahía Paracas hasta la desembocadura del río Pisco (5 km aproximadamente de la línea de costa) los valores de MOT muestran tendencia a disminuir con la profundidad a la vez que también disminuye con el incremento de la fracción arena que es mayor en los sectores norte (desembocadura del río Pisco) y sur (sector del Chaco). En cambio, en los alrededores de las islas los contenidos de materia orgánica estuvieron más influenciados por el contenido de arena y grava en los sedimentos ubicados próximos a las islas, siendo los contenidos de MOT más bajos en estos sectores. A mayor distancia de las islas, en zonas más profundas y donde predominó la sedimentación (al norte de las islas Ballestas) se encontraron los mayores contenidos de MOT.

Los contenidos de carbonatos totales (Fig. 59b) mostraron distribución variable, presentándose los más altos (60%) en la Est. 35 que estuvo más próxima a las islas Chincha (zona de altos valores). El mínimo fue localizado en la Est. 1, al sur de bahía Paracas ubicada frente al Chaco. Al centro de la bahía los carbonatos totales se encontraron sobre el 10%, alcanzando valores alrededor de 16% hacia el lado oeste de la bahía (Punta Blanca).

Tanto para los contenidos de MOT como para carbonatos totales, se observó que desde sus núcleos de máximos contenidos, ubicados en las cercanías de las islas hacia la bahía, mostraron disminución gradual distribuyéndose valores intermedios que se conectaron con los más elevados registrados en bahía Paracas.

4. DISCUSIÓN

La bahía de Pisco-Paracas e islas aledañas están expuestas a variaciones temporales de sus características oceanográficas típicas por efecto de procesos naturales o antropogénicos. Es común en las estaciones de verano y otoño una fuerte descarga del rio Pisco, originando grandes mezclas, altas concentraciones de nutrientes y presencia de floraciones algales o "mareas rojas", factores que pueden generar condiciones adversas para la vida de todo organismo marino.

Por otro lado, la actividad industrial de las plantas pesqueras puede conllevar al vertido de grandes cantidades de efluentes al medio marino. El creciente turismo, entre otros factores, son procesos antropogénicos que junto con el desarrollo de una floración algal pueden sobresaturar la limitada capacidad asimilativa del ecosistema somero, provocando condiciones críticas para desencadenar un evento de mortalidad de organismos marinos dentro de la bahía. De aquí nace la necesidad de un monitoreo constante de esta zona y su reserva natural.

De la primera a la segunda etapa se registró un ligero descenso de la temperatura superficial, lo que estuvo relacionado, principalmente, con la variación en la intensidad de los vientos, que alcanzaron hasta 8 m/seg y al incidir sobre la capa superficial dieron lugar a una activación del afloramiento, tal como se observa en las figuras 60 y 61, donde el 28 de setiembre la isoterma de 15 °C se manifestó al sur de bahía Paracas, los vientos se intensificaron el 2 de octubre y en la siguiente semana se registró la isoterma de 15 °C hasta Pisco, mientras que la de 16 °C se fortaleció.

Entre el 1 y 6 octubre e inclusive un mes antes, el río Pisco presentó un aforo diario (promedio) que no superó los 10 m^3/s, que es bajo comparado a lo que se registra en los meses de verano (>100 m^3/s), pero que contiene aportes de las descargas urbanas y agrícolas que se desarrollan a lo largo del valle y la cuenca del río, que incrementan el ingreso de nutrientes al mar. Esto se observó en la zona marino costera aledaña a la desembocadura del río Pisco, donde se incrementaron las concentraciones de fosfatos (>3,5 µM) en la columna de agua hasta una distancia de 3 mn, valores que superaron incluso los registros de fosfatos hallados a 10 mn de la costa y a profundidades >50 m.

La relación N/P fue de 4:1, pero si se realiza el cálculo considerando solo las estaciones localizadas fuera de las 5 mn, esta relación se incrementa de 5:1 y el R^2 mejora a 0,45 (Fig. 62a). También puede observarse que las estaciones más costeras presentan mayor dispersión (Fig. 62b), debido a que las zonas más someras presentan bajas concentraciones de nutrientes y las relaciones entre las mismas son más complejas; además, debe tenerse en cuenta la elevada variabilidad estacional de los nitratos que alcanzaron valores máximos en invierno (20 µM) y este estudio se desarrolló en primavera.

Entre 13°38′ y 13°40′S se intensificó el afloramiento costero, donde se observó el ascenso de la isoxígena de 3 mL/L, de la isolínea de pH 7,8 y de nitratos de 10 µM, asociadas a la intensificación de los vientos durante los días en que se evaluó dicha zona.

El área de estudio del plancton varió entre la prospección efectuada en otoño y en primavera coincidiendo sólo en 5 estaciones; durante la primavera el área fue ampliada frente a las islas Chincha y Ballestas.

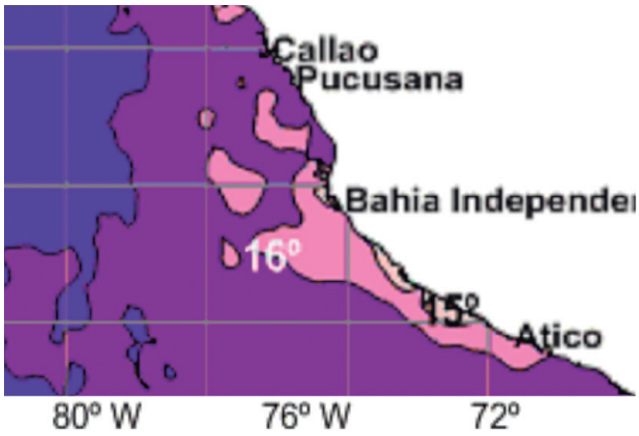

Figura 60.- Temperatura superficial el 28 setiembre, 2013 (Fuente: NAVOCEAN/NOAA)

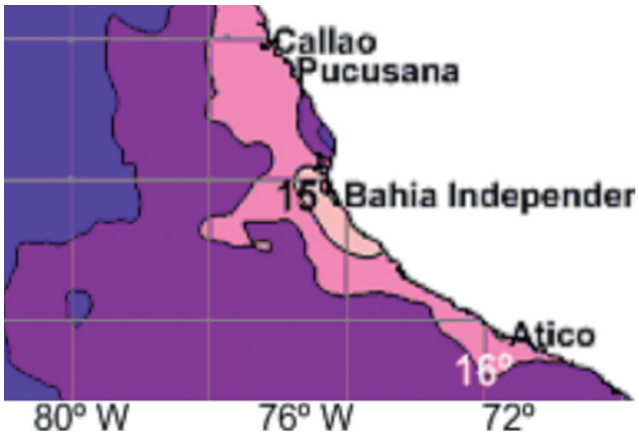

Figura 61.- Temperatura superficial el 9 octubre, 2013 (Fuente: NAVOCEAN/NOAA)

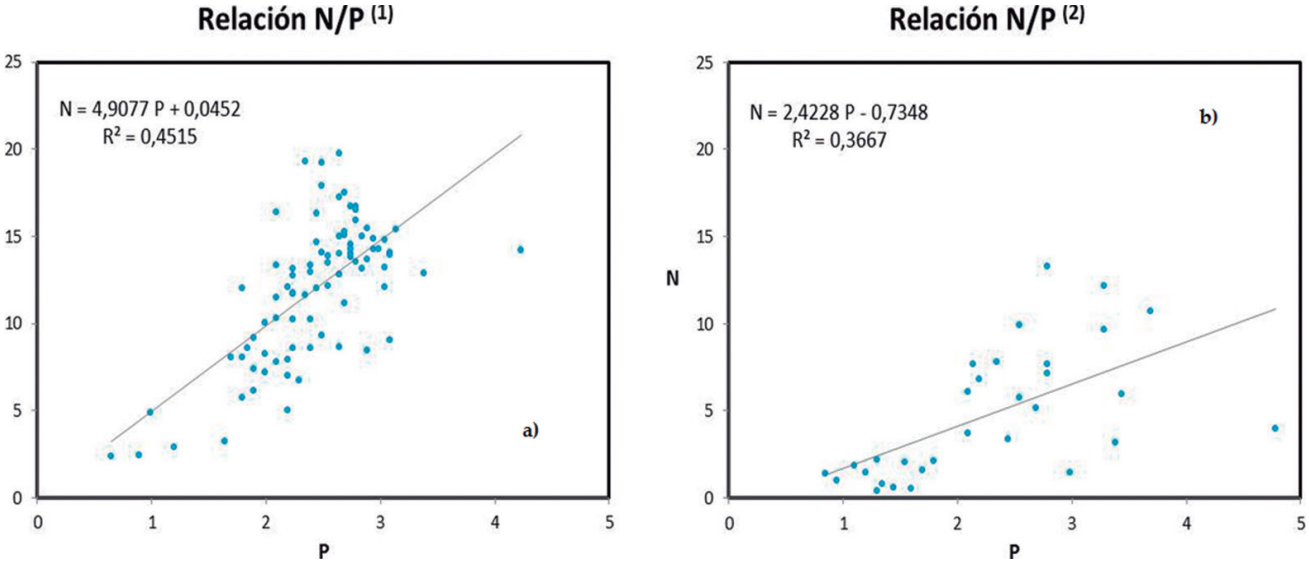

Figura 62.- Relación N/P en las estaciones más alejadas de la costa a) y en las estaciones dentro de las 5 mn b)

Los mayores biovolúmenes durante el otoño se registraron dentro de la bahía mientras que durante la primavera se hallaron, principalmente, en la zona noreste del área de estudio. Al observar sólo las estaciones en común, durante la primavera hubo incremento de los biovolúmenes debido a la presencia de especies más grandes como quetognatos, sifonóforos, mysidáceos, ostrácodos, entre otros contrario a lo que sucede con los valores de abundancia que disminuyen en primavera; durante el otoño se presentaron densidades más altas pero en especies más pequeñas (*A. tonsa*, *O. nana*, nauplios de copépodos y cirrípedos) que no aportan significativamente a los biovolúmenes.

Los grupos más frecuentes en otoño y primavera fueron copépodos, ictioplancton, cladóceros, larvas de cirrípedos, poliquetos y decápodos y, los menos frecuentes fueron los eufáusidos. Así mismo, debido al incremento de las estaciones de muestreo (frente a las islas Chincha y Ballestas durante la primavera), se incrementó en 8 el número de grupos, entre ellos sifonóforos, quetognatos, ostrácodos, mysidáceos, tenóforos, platelmintos, forónidos y ofiuroideos.

Algunos grupos como los gasterópodos fueron más frecuentes durante el otoño (más de 80%), que en primavera (menos de 40%), contrario a las hidromedusas, braquiópodos y equinodermos que fueron más frecuentes en primavera (60%) que en otoño (20%).

Los copépodos fueron los más abundantes (>80%), destacando la especie *A. tonsa* seguida de *O. nana* y el cladócero *P. polyphemoides*. Durante el otoño se registraron importantes densidades de nauplios tanto de copépodos como de cirrípedos que influenciaron en la nueva agrupación de estaciones obtenidas al realizar el análisis comunitario.

En la componente geológica, se compararon los mapas de contenidos de fracciones granulométricas de la bahía Paracas, con los obtenidos durante la evaluación de IMARPE (2009), apreciándose que se mantiene al interior de la bahía las siguientes características: en la zona del Chaco predominio de la fracción arena; en la entrada de la bahía (entre Puerto San Martín y La Puntilla) predominio de partículas de la fracción fina conformada por limo y arcilla (<63 µm).

Los menores valores de materia orgánica total (1,60%) estuvieron en la zona sur y costera asociados a sedimentos arenosos localizados en profundidad somera y mayor circulación respecto a otras zonas de la bahía donde la presencia de oxígeno fue mayor, permitiendo la mineralización de la materia orgánica, mientras los mayores valores de materia orgánica total al interior de bahía Paracas (10,8 - 11,6%), se acercaron al valor 11,40% registrado en abril 2013, valores similares a los obtenidos el 2009, pero inferiores en aproximadamente 2% a lo encontrado en 1998 (Velazco y Solís 2000).

Se comparó este estudio con los promedios de contenido de materia orgánica total (MOT) para toda la bahía (incluida la zona litoral) reportados en Velazco y Solís (2000), Solís y Velazco (2004) y el Informe Vol. 36 (2009) (Tabla 2, Fig. 63).

Tabla 2.- Ditstribución histórica del contenido de MOT (%) en bahía Paracas

Año	Rango/MOT (%)	Prom/MOT (%)	Número de estaciones
1997-1998	1,12–15,69	8,14	46
2004	4,51-9,90	7,64	7
2009	1,01-13,82	9,36	62
2013-04	1,54-11,40	7.43	4
2013-10	1,60-15,63	7,50	4

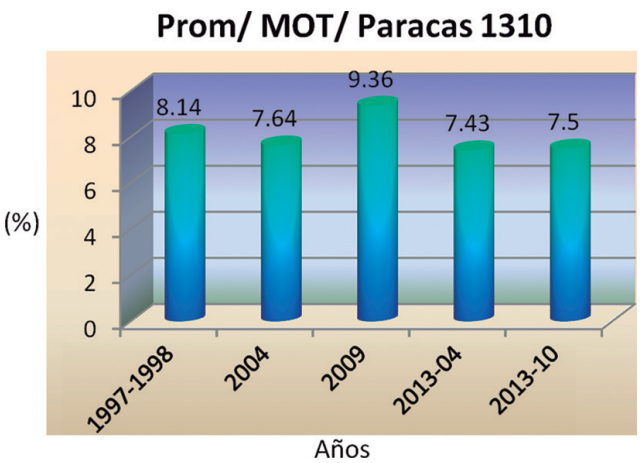

Figura 63.- Distribución del contenido promedio de materia orgánica total (MOT) en bahía Paracas 1997-2013

5. CONCLUSIONES

La temperatura superficial presentó variaciones entre 15,4 y 21 °C con promedio 17,5 °C y en la distribución halina los valores fluctuaron de 34,814 a 35,052 ups.

La distribución vertical presentó una termoclina muy superficial sobre 20 m de profundidad, y valores de salinidad propios de Aguas Costeras Frías (34,8-35,0 ups). Se registraron pequeñas mezclas con Aguas Subtropicales Superficiales.

La velocidad de las corrientes marinas en superficie varió de 0,42 a 49,7 cm/seg, con promedio 17,6 cm/seg.

Los campos vectoriales de las corrientes marinas mostraron mayor variación en las capas superficiales

(1 y 5 m de profundidad) como indica la desviación estándar (STD) de 8,46 y 8,11, respectivamente; mientras que en las capas subsuperficiales (20 y 30 m de profundidad) la variación fue menor y la STD fue de 6,3 y 6,7, con lo que se puede inferir que en las capas de fondo la circulación fue menor en promedio.

La intensidad de los vientos durante el periodo de muestreo (1-6 octubre) fue de 4 y 8 m/seg con promedio 6 m/s presentando mayor variación (STD 1,71) con respecto a la media de octubre 2013 (STD 0,96).

El borde costero, desde el centro de bahía Pisco hasta las islas Ballestas, presentó concentraciones uniformes de oxígeno disuelto, ligeramente mayores a 5 mL/L asociadas a temperaturas >18 °C. La zona de mínimo de oxígeno fue más superficial al sur de la latitud 13°45'S donde alcanzó aproximadamente 10 m de profundidad, mientras que en la latitud 13°39'S estuvo a 20 m.

Niveles relativamente pobres de nutrientes predominaron en la superficie marina entre las islas Ballestas y la línea de costa, debido al consumo por productividad primaria.

El nitrógeno fue el elemento nutriente limitante para la productividad, condición que se intensificó en la zona costera dentro de las 5 mn, debido a los consumidores primarios.

Los parámetros de calidad ambiental evaluados cumplieron con los requisitos establecidos en los estándares nacionales de calidad ambiental para agua, categoría 2-Actividades Marino Costeras.

El área evaluada en el período de primavera, mostró ser diversa sobre todo alrededor de las islas y al sur de bahía Pisco. El número de taxa reportados muestra alta heterogeneidad de organismos pero también dominancia de otros como fue el caso de *Magelona phyllisae* y *Cossura chilensis*.

Los biovolúmenes de plancton fluctuaron entre 0,332 y 2,429 mL.m^{-3} El predominio del fitoplancton fue en el 51,7% del total de muestras, la predominancia del zooplancton y codominancia fue de 37,9 y 10,3%, respectivamente.

Los resultados del análisis cuantitativo de fitoplancton determinaron 119 taxa, 67 fueron diatomeas (56,3%), 49 dinoflagelados (41,18%) y 3 silicoflagelados (2,52%), en el total de fitoplancton se consideró a los fitoflagelados.

Los biovolúmenes de zooplancton fluctuaron entre 9,57 y 176,55 mL.100 m^{-3}, con promedio 57,93 mL.100 m^{-3}. El menor biovolumen se registró frente a islas Chincha y el mayor se halló frente a San Andrés.

El zooplancton estuvo conformado por 68 especies, pertenecientes a 22 grupos, los más frecuentes fueron copépodos, cirrípedos y apendicularias, localizados en el 100% del área evaluada.

Los contenidos de materia orgánica mostraron tendencia variable de distribución en la zona de estudio, el máximo (15,63%) se localizó al norte de islas Ballestas y valor promedio (7,50%) en la zona central de bahía Paracas.

Los mayores valores de materia orgánica total se localizaron en zonas profundas del sector entre las islas Ballestas y Chincha y al centro de la bahía Paracas. Los altos contenidos estuvieron influenciados por el aporte de material orgánico de origen biogénico y microfauna bentónica.

La textura sedimentaria predominante estuvo conformada en mayor porcentaje por partículas finas <63 μm (limo y arcilla) principalmente en el sector entre las islas y la bahía Paracas.

La textura de arena resultó ser escasa y estar localizada en los sectores más próximos a la línea de costa al sur de bahía Paracas y proximidades de islas. Los contenidos de la fracción limo fueron mayores en los alrededores de la desembocadura del río Pisco y al norte de la península de Paracas.

El mayor contenido de carbonatos totales en sedimentos marinos (59,71%) se registró en las islas Chincha, seguido de 16% en Atenas (bahía Paracas) y ligeramente superior a 10% en los alrededores de las islas Ballestas. El mayor contenido de carbonatos está relacionado a mayor abundancia de fragmentos de valvas de moluscos en los sedimentos.

6. REFERENCIAS

APHA-AWWA-WEF, SM (1998) 20TH Ed., 1998. Method 9221E. . Fecal coliform procedure Method 9221B. Standard total coliform fermentation technique. APHA-AWWA-WEF. 2005. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 21st ed. P 5-37 Method 5520B.

Carrit D, Carpenter J. 1966. Comparison and evaluation of currently employed modifications of Winkler method for determination dissolved oxygen in sea water. J. Mar. Res. 24:286-318.

Dean W. 1974. Determination of Carbonate and Organic matter in calcareous sediments and rocks by loss on ignition: Comparison with others methods. In: Jour. Sed. Petrology 44 (1): 242-248.

EPA 200.8. 1994. Rev 5.4 Determination of trace elements in waters and wastes by inductively coupled plasma – mass spectrometry.

Galehouse J S. 1971. Sedimentation analysis. In: R.E. Carver, (ed.), Procedures I Sedimentary Petrology. WileyInterscience. New York, NY. pp. 69-93

Grasshoff K, Kremling K. Ehrhardt M. 1999. Methods of Seawater Analysis, 1999, 3° edition, Wiley-VCH, Germany.

Hasle G, Syvertsen E. 1996. Marine diatoms. In: Tomas C. (ed.). Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates. Academic Press, Inc. San Diego.1-383 pp.

Hendey I. 1964. An introductory account of the smaller algae of British Coastal waters. Part. V. Bacillariophyceae (Diatoms). London: 317 pp.

IMARPE. 2013. Informe final del estudio de las comunidades bentónicas en Bahía Samanco Mayo de 2013.

IMARPE. 2006. Informe Vol. 36 (1-2, 3-4) diversos autores.

Ingram R. 1971. Sieve Analysis. Procedures in Sedimentary Petrology. Eds. Carver, RE, de. Cap. 3. P.49-67. New York.

Kramer D, Kalin M J, Stevens E G, Thrailkill J R, Zweifel J R. 1972. Collecting and processing data on fish and larvae in the California Current region. NOAA Tech. Rep. NMFS CIRC-370:l-38.

Sánchez G, Córdova J, Ledesma J. 1997. Informe ambiental en la zona industrial pesquera de la bahía de Paracas, Pisco, Perú. 25 al 27 de abril 1997. Inf. Progresivo Inst Mar Perú. N° 67: 3-20.

Schiller J. 1937. Dinoflagellate (peridinae) in monographischer Behandlung.2 Tell. En: L. Rabenhortst (ed) Kriptogamen - Flora von Deutchland, Osterreich und der Schweiz. Reprint by Johnson Repr. Corp. New York, Vol. 10 Section 3, Parte 1: 617 pp.

Shepard FP. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. Jour. Sediment. Petrol. 24 (3): 151-158.

Sneath P H A, Sokal R R. 1973. Numerical taxonomy. W. H. Freeman, San Francisco.

Solís J, Velazco F. 2004. Características de muestras de sedimentos de la Bahía de Paracas 2004. Inf. Interno. Inst. Mar del Perú. DGIO. 8 p.

Sournia A. 1967. Le genre *Ceratium* (Péridinien Planctonique) dans le Canal de Mozambique. Contribution à une révision mondiale. Vie et Milieu. 18 (2A-(A): 375-580 pp.

Strickland J, Parsons T. 1972. Practical Handbook of Seawater Analysis. Fisheries Board of Canada. Ottawa. Bulletin 167.

Vegas M. 1980. Introducción a la Ecología del Bentos Marino. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Serie de Biología, Monografía N°9, Washington. 98 pp.

Velazco F, Solís J. 2000. Estudio Sedimentológico de la Bahía de Paracas. Inf. Prog. IMARPE 133