

BOLETÍN

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

ISSN 0458-7766

VOLUMEN 34, Número 1



Enero - Junio 2019
Callao, Perú



PERÚ

Ministerio
de la Producción

CAMBIOS DEL FITOPLANCTON EN EL MAR PERUANO DURANTE EL VERANO 2017 CRUCERO 1703-04, BIC JOSÉ OLAYA Y LUIS FLORES

CHANGES IN PHYTOPLANKTON IN THE PERUVIAN SEA, SUMMER 2017. CRUISE 1703-04, R/V JOSE OLAYA AND R/V LUIS FLORES

Elcira Delgado¹

Sonia Sánchez

Flor Chang¹Ayo Bernales¹Nelly Jacobo¹

RESUMEN

Delgado E, Sánchez S, Chang F, Bernales A, Jacobo N. 2019. Cambios del fitoplancton en el mar peruano durante el verano 2017. Crucero 1703-04, BIC José Olaya y Luis Flores. *Bol Inst Mar Perú*. 34(1): 61-79.- Este estudio permite conocer volúmenes de plancton (mL.m^{-3}), composición, densidades, distribución del fitoplancton, indicadores biológicos de masa de agua para el verano 2017, cuando las condiciones oceanográficas estuvieron influenciadas por El Niño Costero. Se analizaron 183 muestras recolectadas con red estándar de fitoplancton y 25 muestras obtenidas con botellas Niskin a 10 m de profundidad. El volumen promedio de plancton fue $0,68 \text{ mL.m}^{-3}$ variando entre $0,045$ y $12,82 \text{ mL.m}^{-3}$, localizados frente a Punta La Negra y Huacho, respectivamente. La predominancia del fitoplancton fue 37%, conformado por diatomeas de las primeras fases de la sucesión fitoplanctónica destacando *Chaetoceros* spp., *Ditylum brightwellii*, *Skeletonema costatum*, *Coscinodiscus* spp., *Thalassiosira subtilis* y *Lithodesmium undulatum*. Latitudinalmente, el plancton registró valores medios entre $0,045 \text{ mL.m}^{-3}$ ($11-12^\circ\text{S}$) y $2,71 \text{ mL.m}^{-3}$ ($16-17^\circ\text{S}$), por fuera de las 60 mn y entre 30-60 mn, respectivamente. Fue evidente el incremento en densidad del grupo de fitoflagelados ($673 \times 10^3 \text{ cel.L}^{-1}$). *Protoperidinium obtusum* indicador de Aguas Costeras Frías (ACF) se distribuyó a lo largo del litoral dentro de las 40 mn y con mayor incidencia en la zona sur (Pisco – Callao).

Palabras clave: fitoplancton, composición, distribución, indicadores biológicos, verano 2017

ABSTRACT

Delgado E, Sánchez S, Chang F, Bernales A, Jacobo N. 2019. Changes in phytoplankton in the Peruvian Sea, summer 2017. Cruise 1703-04, R/V Jose Olaya and R/V Luis Flores. *Bol Inst Mar Peru*. 34(1): 61-79.- This paper makes it possible to know plankton volumes (mL.m^{-3}), composition, densities, phytoplankton distribution, as well as biological indicators for water mass in summer 2017 when oceanographic conditions were influenced by the El Niño Costero. A total of 183 samples collected with standard phytoplankton net, and 25 samples, which were obtained with Niskin bottles at a depth of 10 m, were analyzed. The mean plankton volume was 0.68 mL.m^{-3} ranging between 0.045 and 12.82 mL.m^{-3} , which were located off Punta La Negra and Huacho, respectively. Phytoplankton predominance was 37%, integrated by diatoms in the first stages of phytoplankton succession, including *Chaetoceros* spp., *Ditylum brightwellii*, *Skeletonema costatum*, *Coscinodiscus* spp., *Thalassiosira subtilis*, and *Lithodesmium undulatum*. At latitude level, plankton recorded mean values between 0.045 mL.m^{-3} ($11-12^\circ\text{S}$) and 2.71 mL.m^{-3} ($16-17^\circ\text{S}$), outside 60 nm and between 30-60 nm, respectively. It was evident the increase in density of the phytoflagellate group ($673 \times 10^3 \text{ cel.L}^{-1}$). *Protoperidinium obtusum*, an indicator of Cold Coastal Waters (CCW), was distributed along the coast within 40 nm and with greater incidence in the southern zone (Pisco - Callao).

Keywords: phytoplankton, composition, abundance and distribution, biological indicators, summer 2017

1. INTRODUCCIÓN

Las condiciones oceanográficas superficiales del mar peruano durante el verano 2017 manifestaron predominio de masas de aguas cálidas, considerándolo como un Evento El Niño según el Comité Multisectorial del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN N° 4-2017), alcanzando en febrero la categoría de El Niño Costero, que produjo fuertes anomalías de la Temperatura Superficial del mar (TSM) de +10 en la zona norte (Huanchaco).

1. INTRODUCTION

The surface oceanographic conditions of the Peruvian sea in summer 2017 showed a predominance of warm water masses, which was considered an El Niño Event according to the Multisectorial Committee of the National Study of the El Niño Phenomenon (ENFEN N° 4-2017) and in February it reached the category of the El Niño Costero, which produced strong anomalies in Sea Surface Temperature (SST) of +10 in the northern zone (Huanchaco).

¹ IMARPE, DGIOCC, Laboratorio de Fitoplancton y Producción Primaria. edelgado@imarpe.gob.pe

Entre marzo y abril, la temperatura superficial del mar varió de 24 a 26 °C al sur de Callao y de 24 a 27 °C entre Punta Bermejo y Chimbote. Al sur de Pisco se registraron anomalías negativas de la TSM hasta 10 mn, debido a procesos de afloramiento y mayor descarga de los ríos. Hacia el norte las masas de aguas costeras frías (ACF) se encontraron entre Huacho y Callao hasta 40 mn de la costa, aguas sub superficiales (ASS) fueron dominantes entre Casma y Punta Bermejo; aguas de mezcla (ACF y ASS) se registraron frente a Salaverry y las aguas ecuatoriales superficiales (AES) se encontraron hasta 15 mn de Mórrope y por fuera de las 30 mn, frente a Punta La Negra-Talara (IMARPE 2017).

Frente a estas condiciones se realizó el Crucero de Evaluación Hidroacústica de Recursos Pelágicos con el objetivo de conocer la situación de la anchoveta *Engraulis ringens* Jenyns, especie importante en la pesquería del país; así como las condiciones oceanográficas, asociadas con el primer nivel trófico. La evaluación de esta comunidad constituye una fuente de información como alimento disponible e indicadora de cambios ambientales.

Para complementar este estudio se consideró estimar la biomasa planctónica, caracterizar la composición, abundancia y distribución de la comunidad de fitoplancton y la distribución de indicadores biológicos de masas de agua en el verano 2017.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El área de muestreo del Crucero de Evaluación Hidroacústica de Recursos Pelágicos, realizado entre el 3 de marzo y 13 abril de 2017 a bordo de los BIC José Olaya Balandra y Luís Flores, comprendió desde Morro Sama (Tacna) hasta Los Órganos (Piura) a lo largo de la franja costera (40 mn) y frente a Paita se extendió hasta las 100 mn, aproximadamente. Las muestras fueron colectadas con red estándar de fitoplancton tipo cónica (75 µm) en arrastres superficiales durante 5 minutos y a 3 nudos de velocidad y la preservación de las muestras fue con formalina neutralizada al 20% (THRÖNDSSEN 1978), obteniéndose 183 muestras (Fig. 1).

Between March and April, sea surface temperatures ranged from 24 to 26 °C south of Callao and from 24 to 27 °C between Punta Bermejo and Chimbote. There were negative SST anomalies up to 10 nm south of Pisco, due to upwelling processes and greater river discharges. Northward, cold coastal water masses (CCW) were found between Huacho and Callao up to 40 nm from the coast, subsurface waters (SSW) were dominant between Casma and Punta Bermejo; mixing waters (CCW and SSW) were recorded off Salaverry and the surface equatorial waters (SEW) were found up to 15 nm from Mórrope and outside 30 nm, off Punta La Negra-Talara (IMARPE 2017).

In response to these circumstances, the Pelagic Resources Hydroacoustic Assessment Cruise was carried out with the objective of knowing the status of the anchoveta *Engraulis ringens* Jenyns resource, an important species in the country's fisheries, as well as the oceanographic conditions associated with the first trophic level. The assessment of this community is a source of information as available food and an indicator of environmental changes.

As a complement to this survey, we considered estimating the plankton biomass, characterizing the composition, abundance, and distribution of the phytoplankton community and the distribution of biological indicators of water masses in summer 2017.

2. MATERIAL AND METHODS

The sampling area of the Pelagic Resources Hydroacoustic Assessment Cruise, which was carried out between March 03 and April 13, 2017 on board R/V José Olaya Balandra and R/V Luís Flores Portugal, covered from Morro Sama (Tacna) to Los Órganos (Piura) along the coastal strip (40 nm) and off Paita it was extended to approximately 100 nm.

The samples were collected with a conical phytoplankton standard net (75 µm) in surface trawls for 5 minutes and at a speed of 3 knots and the preservation of the samples was done with 20% neutralized formalin (THRÖNDSSEN 1978), which resulted in 183 samples (Fig. 1).

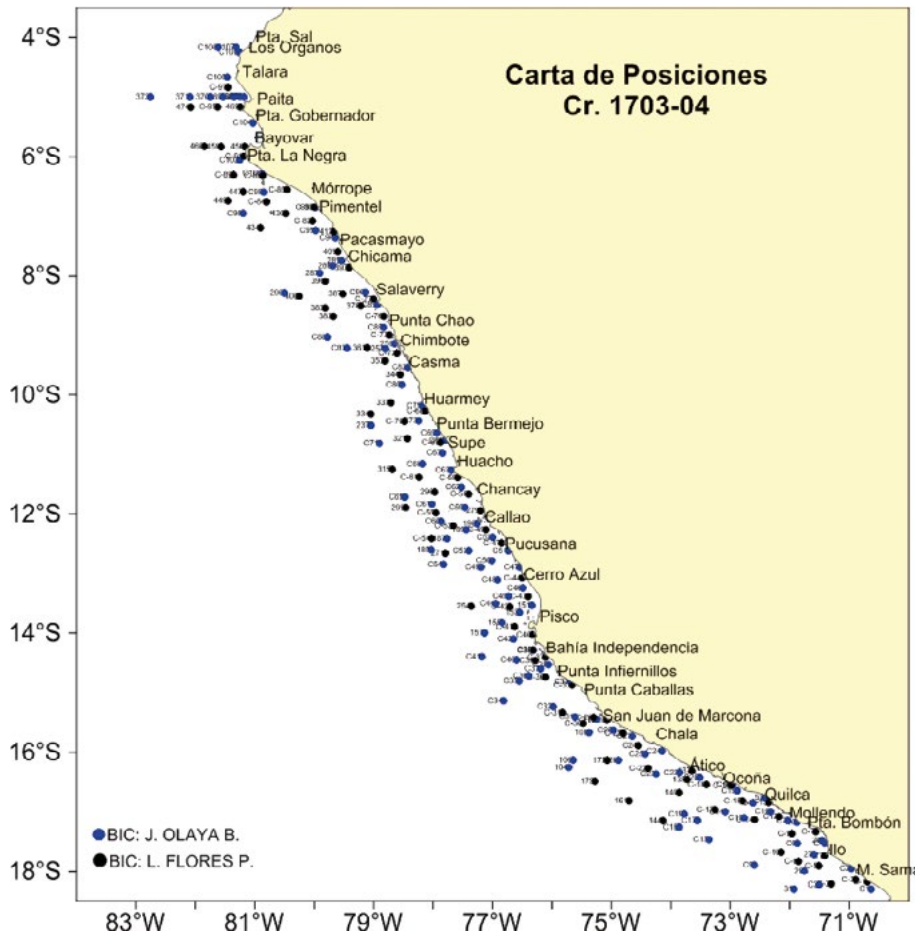


Figura 1.- Carta de posiciones. Crucero de Evaluación Hidroacústica de Recursos Pelágicos 1703-04

Figure 1. Plotting chart. Pelagic Resources Hydroacoustic Assessment Cruise 1703-04

Los volúmenes de plancton se obtuvieron por el método de centrifugación (2400 rpm) durante 5 minutos. Se utilizó la fórmula del volumen del cilindro:

$V = V_c / K$, donde:

V = volumen de plancton

V_c = volumen de plancton centrifugado (mL)

$K = 6,6273 \text{ m}^3$ (constante, indica el agua filtrada por la red).

Los resultados se expresan en mililitros de plancton por metro cúbico de agua de mar filtrada ($\text{mL} \cdot \text{m}^{-3}$).

Las muestras de red fueron analizadas semicuantitativamente, considerando los volúmenes de plancton y las abundancias relativas de las especies del total de fitoplancton (ROJAS DE MENDIOLA *et al.* 1985).

Plankton volumes were obtained by the centrifugation method (2400 rpm) for 5 minutes. The formula of the cylinder volume was used:

$V = V_c / K$, where:

V = plankton volume

V_c = centrifuged plankton volume (mL)

$K = 6.6273 \text{ m}^3$ (a constant which indicates the water filtered by the net).

The results are expressed in milliliters of plankton per cubic meter of filtered seawater ($\text{mL} \cdot \text{m}^{-3}$).

Net samples were analyzed semi-quantitatively, by considering plankton volumes and relative abundances of total phytoplankton species (ROJAS DE MENDIOLA *et al.* 1985).

La variabilidad de los volúmenes de plancton (transformados $\text{Log}(x+1)$) se analizó mediante pruebas de hipótesis para determinar las diferencias significativas entre las distancias a la costa (DC) (0 - 30 mn, 30 - 60 mn y > 60 mn) y áreas geográficas (Norte-Centro y Sur). Para determinar la significancia de dichas diferencias se ejecutaron pruebas de hipótesis, basados en el análisis de varianza de una vía (ANOVA) con un nivel de significancia $\alpha < 0,05$ (ZAR 1997) utilizando el programa Minitab ver. 16.

El análisis cuantitativo se realizó en 25 muestras de agua obtenidas con botellas Niskin a 10 m de profundidad, procedentes de los perfiles hidrográficos de Paita, Malabrigo, Callao, Pisco, San Juan de Marcona e Ilo, con una cobertura de 70 mn. El análisis de las muestras se realizó según la metodología de UTERMÖHL (1958), cuyos resultados se expresan en $\text{N}^\circ \text{ cel} \times 10^3 \cdot \text{L}^{-1}$.

Para el análisis comunitario de clasificación entre estaciones de muestreo basado en las especies, se utilizó el índice de similaridad de Bray Curtis con el programa PRIMER 6, transformando previamente los valores de concentración celular a $\text{Log}(x+1)$ según IBAÑEZ & SEGUIN (1992).

La determinación taxonómica de la comunidad de fitoplancton se realizó con los trabajos de HUSTEDT (1930), CUPP (1943), HENDEY (1964), SOURNIA (1967), SCHILLER (1971), SUNDSTRÖM (1986), THRÖNDSSEN (1993), HASLE & SYVERTSEN (1996) y STEIDINGER & TANGEN (1996).

En la elaboración de gráficos tales como cartas de posición, distribución de volúmenes de plancton, abundancia relativa e indicadores de masas de agua se utilizaron los programas Surfer (ver.13) y Excel.

3. RESULTADOS

CARACTERÍSTICAS DE LAS CONDICIONES FÍSICAS EN LA SUPERFICIE DEL MAR

Temperatura.- La temperatura superficial del mar (TSM) entre Morro Sama y Los Órganos fluctuó entre 16,1 y 27,9 °C con valor promedio de 23,01 °C para toda el área evaluada.

Valores mayores a 25 °C se registraron hasta 60 mn, desde Pacasmayo (7°S) hasta Huacho (11°S) desplazándose a la costa entre Punta Chao y

The variability of plankton volumes (transformed $\text{Log}(x+1)$) was analyzed by hypothesis tests to determine significant differences between distances from the coast (DC) (0 - 30 nm, 30 - 60 nm, and > 60 nm) and geographical areas (North-Central and South). In order to determine the significance of these differences, hypothesis tests were performed, based on the one-way analysis of variance (ANOVA) with a level of significance $\alpha < 0.05$ (ZAR 1997) by using the Minitab software ver. 16.

A quantitative analysis was carried out on 25 water samples which were collected with Niskin bottles at a depth of 10 m, from the Paita, Malabrigo, Callao, Pisco, San Juan de Marcona, and Ilo hydrographic profiles, covering 70 nm. The analysis of the samples was carried out following UTERMÖHL methodology (1958), whose results are expressed in $\text{N}^\circ \text{ cel} \times 10^3 \cdot \text{L}^{-1}$.

The Bray-Curtis similarity index, along with the PRIMER 6 software, was used for the community analysis of classification between sampling stations based on species, by previously transforming the cell concentration values to $\text{Log}(x+1)$ as described in IBAÑEZ & SEGUIN (1992).

The works of HUSTEDT (1930), CUPP (1943), HENDEY (1964), SOURNIA (1967), SCHILLER (1971), SUNDSTRÖM (1986), THRÖNDSSEN (1993), HASLE & SYVERTSEN (1996), and STEIDINGER & TANGEN (1996) were used for the taxonomic determination of the phytoplankton community.

Surfer (ver.13) and Excel software were used in the elaboration of graphs such as plotting charts, distribution of plankton volumes, relative abundance, and indicators of water masses.

3. RESULTS

CHARACTERISTICS OF THE PHYSICAL CONDITIONS ON THE SEA SURFACE

Temperature.- Sea surface temperature (SST) between Morro Sama and Los Órganos oscillated between 16.1 and 27.9 °C with a mean value of 23.01 °C for the whole surveyed area.

Values greater than 25 °C were recorded up to 60 nm, from Pacasmayo (7°S) to Huacho (11°S) moving towards the coast between

Huarmey; en la zona sur se observaron en Cerro Azul y por fuera de las 30 mn de Pisco y de San Juan a Ilo. Los valores más bajos (>20 °C) se localizaron en la franja costera frente a Morro Sama y de Atico a bahía Independencia (IMARPE 2017) hasta aproximadamente 20 mn (Fig. 2).

Anomalía Térmica superficial del mar (ATSM).- Las ATSM variaron de -3,3 a +7,2 °C con promedio para el área evaluada de +2,40 °C. Anomalías de +4 a +6 °C se observaron entre Pta. Bermejo y Chimbote, anomalías de +4,0 °C se visualizaron en la zona costera entre Pisco y Cerro Azul, por fuera de las 30 mn desde Punta Caballas hasta Bahía Independencia.

Las zonas costeras (10 mn) frente a Atico e Ilo registraron anomalías negativas con valores de hasta -2 °C. En general, las anomalías en la zona norte descendieron conforme se avanzaba hacia el Ecuador, es así que frente a Chimbote, Pimentel y Paita se observaron anomalías de +6 °C, +3 °C y +1 °C, respectivamente (IMARPE 2017) (Fig. 2).

Punta Chao and Huarmey. In the southern zone, these values were observed in Cerro Azul and outside 30 nm from Pisco and San Juan to Ilo. The lowest values (>20 °C) were in the coastal strip off Morro Sama and from Atico to Independencia Bay (IMARPE 2017) (Fig. 2) up to 20 nm, approximately.

Sea Surface Temperature Anomalies (SSTA).- SSTA ranged from -3.3 to +7.2 °C with a mean +2.40 °C for the surveyed area. Anomalies of +4 to +6 °C were observed between Pta. Bermejo and Chimbote, anomalies of +4.0 °C were observed in the coastal zone between Pisco and Cerro Azul, outside 30 nm from Punta Caballas to Independencia Bay.

The coastal zones (10 nm) off Atico and Ilo recorded negative anomalies with values up to -2 °C. Overall, the anomalies in the northern zone decreased as we advanced towards the Equator, therefore, off Chimbote, Pimentel and Paita anomalies of +6 °C, +3 °C and +1 °C, respectively, were observed (IMARPE 2017) (Fig. 2).

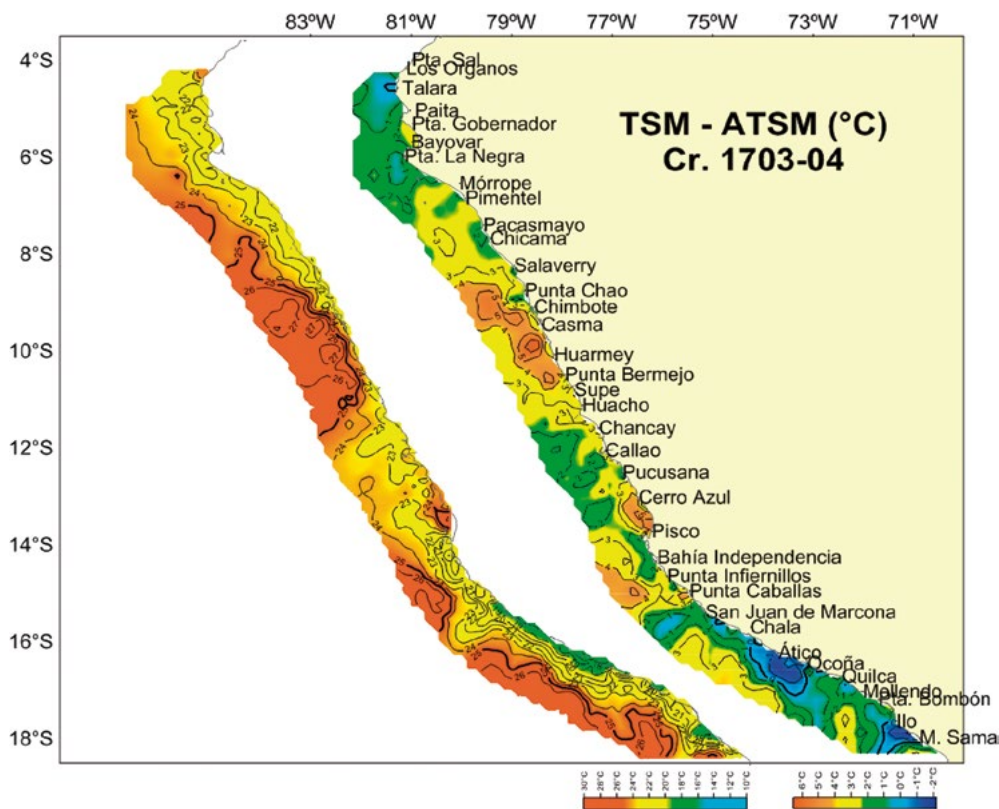


Figura 2.- Distribución de la temperatura superficial del mar y anomalías de la TSM (°C)

Figure 2. Distribution of Sea Surface Temperature (SST) and Sea Surface Temperature Anomalies (SSTA) (°C)

Salinidad superficial del mar.- Las concentraciones de salinidad registradas entre Morro Sama y Talara oscilaron entre 30,252 ups (debido a la influencia de los ríos Virrilá, Chicama, Supe, Ocoña, Quilca y Chancay) y 35,734 ups valores propios de las ASS.

Las masas de agua observadas entre Huacho y Callao fueron Aguas Costeras Frías (ACF) hasta 40 mn de costa, las Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) fueron dominantes de Casma a Punta Bermejo hasta 60 mn, observándose aguas de mezcla (ACF y ASS) frente a Salaverry. Las Aguas Ecuatoriales Superficiales (AES) se ubicaron hasta 15 mn de Mórrope para luego encontrarse por fuera de 30 mn de Punta La Negra a Talara (IMARPE 2017) (Fig. 3).

Anomalías de la Salinidad superficial del mar (ASSM).- Las ASSM variaron de -9,3 ups a +0,7 ups, con promedio para el área evaluada de -0,072 ups.

Sea Surface Salinity (SSS).- Salinity concentrations recorded between Morro Sama and Talara ranged from 30,252 ups (due to the influence of the waters of the Virrilá, Chicama, Supe, Ocoña, Quilca, and Chancay rivers) to 35,734 ups, typical SSW values.

The water masses, which were observed between Huacho and Callao, were Cold Coastal Waters (CCW) up to 40 nm from the coast. Surface Subtropical Waters (SSW) were dominant from Casma to Punta Bermejo up to 60 nm and mixing waters (CCW and SSW) were observed off Salaverry. Surface Equatorial Waters (SEW) were located up to 15 nm from Mórrope and then outside 30 nm from Punta La Negra to Talara (IMARPE 2017) (Fig. 3).

Sea Surface Salinity Anomalies (SSSA).- SSSA ranged from -9.3 ups to +0.7 ups, with a mean of -0.072 ups for the surveyed area.

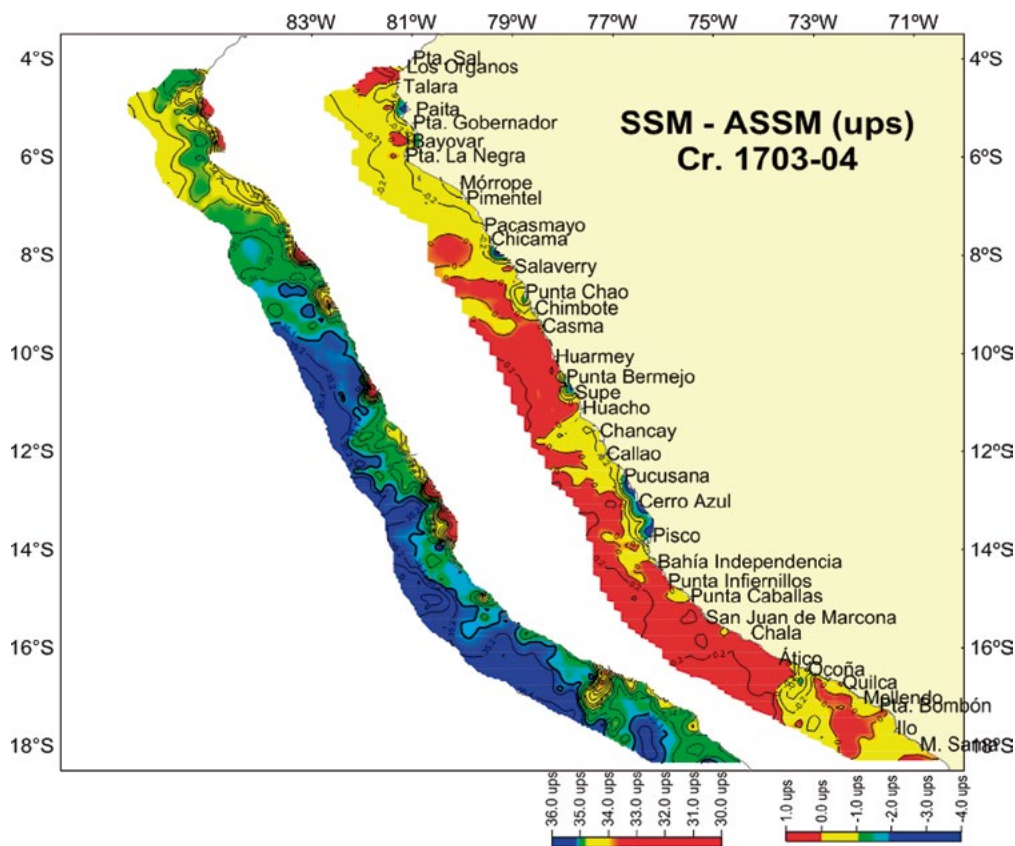


Figura 3.- Distribución de la salinidad superficial y del mar (ups) y anomalías de la SSM (ups)

Figure 3. Distribution of Sea Surface Salinity (SSS) (ups) and Sea Surface Salinity Anomalies (SSSA) (ups)

Anomalías positivas se observaron en el 80% del área evaluada como producto del desplazamiento de las ASS por el oeste y AES por el norte.

Anomalías negativas de -3 ups se ubicaron frente a Pucusana, Cerro Azul y Pisco influenciados por la descarga de los ríos adyacentes (IMARPE 2017) (Fig. 3).

Volumen de plancton, composición, abundancia y distribución del fitoplancton de red.- El promedio de volumen de plancton en superficie fue de 0,68 mL.m⁻³, variando entre 0,045 mL.m⁻³ (Punta La Negra) y 12,83 mL.m⁻³ (Huacho), el fitoplancton se determinó en el 37% del total de las muestras, correspondiendo el 51% al zooplancton y 12% a la codominancia del fito y zooplancton, asociados a TSM que fluctuaron entre 16,1 y 25,7 °C y tenores de salinidad entre 35,0 y 35,1 ups. Al norte del litoral se observaron aguas de mezcla (ACF y ASS).

Se observaron zonas importantes con altos volúmenes de plancton, en los que predominó el fitoplancton, el primero entre Los Órganos y Chicama cuya concentración fue mayor a 2,0 mL.m⁻³ y el segundo entre bahía Independencia y al sur de Atico en los que las concentraciones fueron de 2,0 mL.m⁻³. En la última zona se registraron cuatro núcleos con valores de 4 y 5 mL.m⁻³ donde predominó el zooplancton. Los volúmenes de plancton menores a 1,0 mL.m⁻³ se distribuyeron en casi todo el área en estudio (Fig. 4).

El fitoplancton estuvo constituido predominantemente por diatomeas que presentaron distribución dentro de la zona costera (40 mn), ampliándose al norte de Pimentel, y llegando hasta 100 mn frente a Paita, caracterizada por presentar especies de afloramiento, como las neríticas propias de ACF que se registraron, según abundancia relativa, como ABUNDANTE y MUY ABUNDANTE, destacando diatomeas centrales (*Ditylum brightwellii* Grunow; *Coscinodiscus perforatus* Cleve y Möller; *C. walesii* Gran y Angst; *C. centralis* Ehrenberg; *C. granii* Gough; *Thalassiosira subtilis* Gran; *Skeletonema costatum* Cleve; *Chaetoceros affinis* Lauder; *Ch. debilis* Cleve; *Lithodesmium undulatum* Ehrenberg), diatomeas pennatas (*Pseudo-nitzschia pungens* Hasle; Grupo *Pseudo-nitzschia seriata* Peragallo y *Thalassionema nitzschioides* Merenschknowsky) y diatomeas típicas de ambien-

Positive anomalies were observed in 80% of the surveyed area as a result of the displacement of SSW in the west and SEW in the north.

Negative anomalies of -3 ups were off Pucusana, Cerro Azul, and Pisco influenced by the discharge of adjacent rivers (IMARPE 2017) (Fig. 3).

Plankton volume, composition, abundance and distribution of net phytoplankton.- The mean surface plankton was 0.68 mL.m⁻³, varying between 0.045 mL.m⁻³ (Punta La Negra) and 12.83 mL.m⁻³ (Huacho). Phytoplankton was determined in 37% of the total samples, corresponding 51% to zooplankton and 12% to codominance of phytoplankton and zooplankton, associated with SST that fluctuated between 16.1 and 25.7 °C and salinity tenors between 35.0 and 35.1 ups. Mixing water (CCW and SSW) were observed to the north of the coast.

Two important areas with high plankton volumes were observed, the first between Los Órganos and Chicama whose concentration was greater than 2.0 mL.m⁻³ and the second between Independencia Bay and south of Atico, where concentrations of 2.0 mL.m⁻³ stood out. In both nuclei, phytoplankton was abundant. In the last area, four nuclei were recorded with values of 4 and 5 mL.m⁻³, showing a predominance of zooplankton. Plankton volumes lower than 1.0 mL.m⁻³ were distributed in almost the entire surveyed area (Fig. 4).

Phytoplankton was mainly formed by diatoms that presented distribution within the coastal zone (40 nm), thus expanding to the north of Pimentel, and reaching up to 100 nm off Paita. These diatoms were characterized by presenting upwelling species, such as the CCW neritic species that were registered depending on their relative abundance, as ABUNDANT and VERY ABUNDANT, with central diatoms (*Ditylum brightwellii* Grunow; *Coscinodiscus perforatus* Cleve & Möller; *C. walesii* Gran & Angst; *C. centralis* Ehrenberg; *C. granii* Gough; *Thalassiosira subtilis* Gran; *Skeletonema costatum* Cleve; *Chaetoceros affinis* Lauder; *Ch. debilis* Cleve; *Lithodesmium undulatum* Ehrenberg), pennate diatoms (*Pseudo-nitzschia pungens* Hasle; *Pseudo-nitzschia seriata* Peragallo Group and *Thalassionema nitzschioides* Merenschknowsky), and diatoms which are

tes cálidos principalmente en la zona norte como *Bacteriastrum delicatulum* Cleve; *Proboscia alata* f. *gracillima* Sundström; *Helicotheca tamesis* Ricard y *Lioloma delicatulum* Hasle.

typical of warm environments mainly in the north such as *Bacteriastrum delicatulum* Cleve; *Proboscia alata* f. *gracillima* Sundström; *Helicotheca tamesis* Ricard, and *Lioloma delicatulum* Hasle.

En toda el área y período de estudio se observó riqueza de dinoflagelados termófilos con abundancias relativas de PRESENTE, siendo las más frecuentes *Goniodoma polyedricum* Jørgensen; *Ceratium candelabrum* Stein; *C. masiliense* Karsten; *C. trichoceros* Kofoid; *Triplos carriense* Gómez; *C. lunula* Karsten; *Triplos kofoidii* Gómez; *T. vultur* Gómez; *Amphisolenia bidentata* Schröder; *Protopteridinium tristylum* Balech; *P. quarnerense* Balech y *Pyrocystis fusiformis* Thompson, entre otros.

Thermophilic dinoflagellates with relative abundances of PRESENTE were observed throughout the study area and period, including the most frequent *Goniodoma polyedricum* Jørgensen; *Ceratium candelabrum* Stein; *C. masiliense* Karsten; *C. trichoceros* Kofoid; *Triplos carriense* Gómez; *C. lunula* Karsten; *Triplos kofoidii* Gómez; *T. vultur* Gómez; *Amphisolenia bidentata* Schröder; *Protopteridinium tristylum* Balech; *P. quarnerense* Balech, and *Pyrocystis fusiformis* Thompson, among others.

Entre Malabrigo y Cerro Azul, los dinoflagelados *Protopteridinium depressum* Balech y *Triplos fusus* var. *fusus* Dujardin, que son organismos de distribución cosmopolita, mostraron abundancias relativas que alcanzaron la escala de MUY ABUNDANTE y ABUNDANTE, respectivamente.

Between Malabrigo and Cerro Azul, the dinoflagellates *Protopteridinium depressum* Balech and *Triplos fusus* var. *fusus* Dujardin, which are organisms of cosmopolitan distribution, showed relative abundances that reached the scale of VERY ABUNDANT and ABUNDANT, respectively.

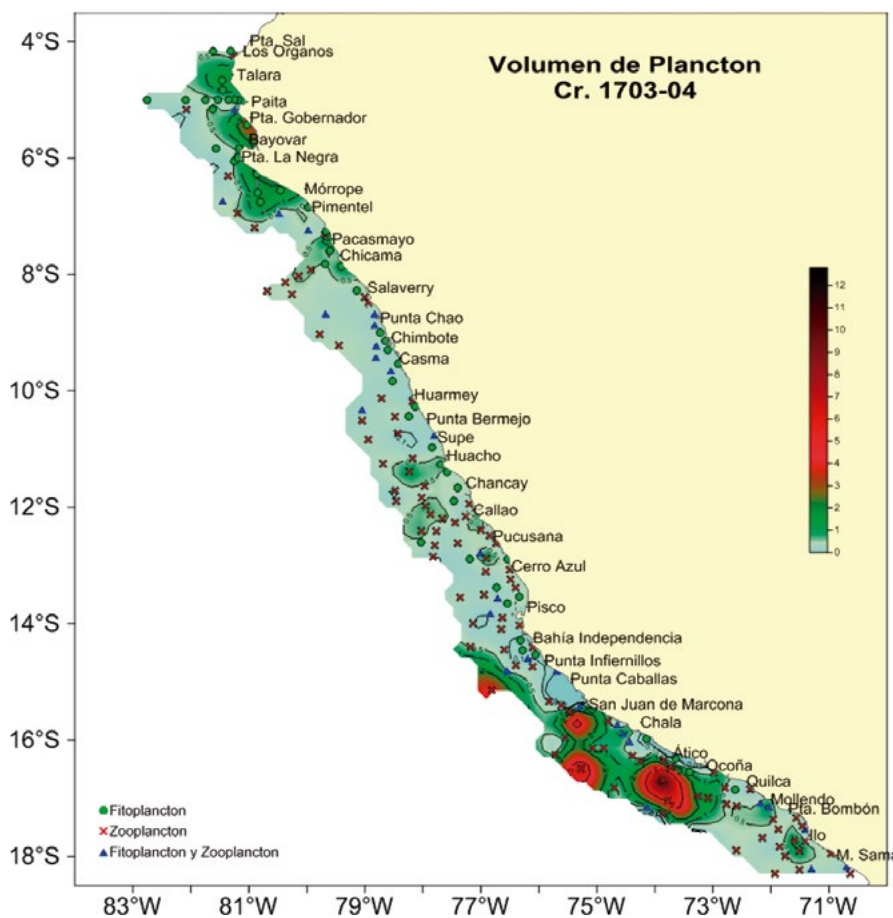


Figura 4.- Distribución del volumen de plancton en el mar peruano (mL.m⁻³)

Figure 4. Distribution of plankton volume in the Peruvian sea (mL.m⁻³)

Distribución latitudinal del volumen de plancton (mL.m⁻³)

La distribución del volumen de plancton, según la variación latitudinal registró valores medio entre 0,045 mL.m⁻³ (11-12°S) y 2,71 mL.m⁻³ (16-17°S), a distancias de costa >60 y entre 30 y 60 mn, respectivamente. En general, el 87% alcanzó valores menores a 1,0 mL.m⁻³, distribuidos al norte de 15°S. Sin embargo, resaltaron dos picos con volúmenes mayores a 2,0 mL.m⁻³, ubicados frente a 15-16°S y 16-17°S, ambos entre 30 y 60 mn y con predominancia del zooplancton.

Otros tres picos importantes, con promedios mayores a 1,0 mL.m⁻³, fueron ubicados entre 5 y 6°S, 15-16°S y 16-17°S, todos hallados dentro de las 0 - 30 mn, donde la abundancia fue fitoplancton. Por fuera de las 60 mn, se obtuvo volúmenes promedio que no superaron los 0,5 mL.m⁻³, en su mayoría con predominio de zooplancton (Fig. 5).

Latitudinal distribution of plankton volume (mL.m⁻³)

The distribution of plankton volume, based on latitudinal variation, recorded mean values between 0.045 mL.m⁻³ (11-12°S) and 2.71 mL.m⁻³ (16-17°S), at distances from the coast >60 and between 30 and 60 nm, respectively. Overall, it is estimated that 87% reached values below 1.0 mL.m⁻³, distributed north of 15°S. However, two peaks with volumes greater than 2.0 mL.m⁻³ stood out, which were located off 15-16°S and 16-17°S, both between 30 and 60 nm and with a predominance of zooplankton.

Three other important peaks, with averages greater than 1.0 mL.m⁻³, were located between 5 and 6°S, 15-16°S, and 16-17°S, all of which were found within 0 - 30 nm, where the abundance was represented by phytoplankton. Outside 60 nm, mean volumes below 0.5 mL.m⁻³ were obtained, mostly with a predominance of zooplankton (Fig. 5).

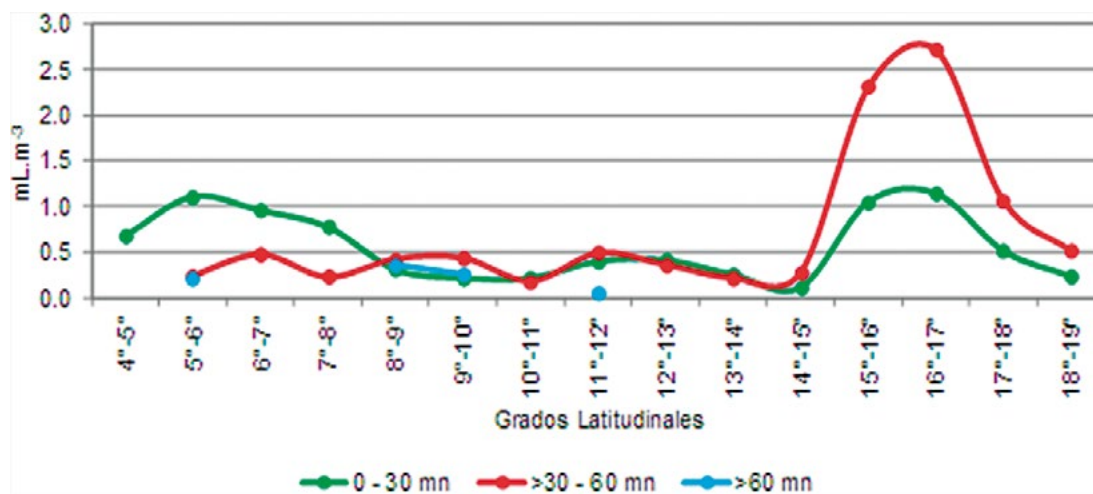


Figura 5.- Distribución latitudinal de volúmenes de plancton (mL.m⁻³)
 Figure 5. Latitudinal distribution of plankton volumes (mL.m⁻³)

Tabla 1.- ANOVA de una vía de volúmenes de plancton por distancia de la costa (DC) y áreas geográficas
 Table 1. One-way ANOVA of plankton volumes by the distance from the coast (DC) and geographical areas

ANOVA unidireccional: volumen vs distancia costa (mm) One-way ANOVA: volume vs distance from the coast (mm)						ANOVA unidireccional: volumen vs áreas One-way ANOVA: volume vs areas					
Fuente/ Source	GL	SC	CM	F	P	Fuente Source	GL	SC	CM	F	P
DC (mm)	2	0,0595	0,0297	1,77	0,191	DC (mm)	1	0,1805	0,1805	15,42	0,001
Error	26	0,4371	0,0168			Error	27	0,3160	0,0117		
Total	28	0,4965				Total	28	0,4965			
S= 0,1297 R-cuad.= 11,97% R-cuad.(ajustado) 5,20%						S= 0,1082 R-cuad.= 36,36% R-cuad.(ajustado) 34,00%					

El ANOVA de los volúmenes de plancton mostró diferencias significativas entre áreas geográficas ($p < 0,05$) con volúmenes mayores en la zona sur, donde el zooplancton fue más abundante (Tabla 1).

The ANOVA of plankton volumes showed significant differences between geographic areas ($p < 0.05$) with higher volumes in the south, where zooplankton was more abundant (Table 1).

No se encontró diferencias entre distancia a la costa, cuyos volúmenes promedio fueron: $0,5573 \pm 0,0938$ (0 - 30 mn), $0,8458 \pm 0,2899$ (30 - 60 mn) y $0,2188 \pm 0,1109$ (>60 mn); destacando el mayor volumen promedio entre 30 y 60 mn, con predominio de zooplancton. También se determinó que la mayor diferencia se ubicó dentro de las 30 mn de la costa en las tres áreas (Fig. 6).

No differences were found between the distance from the coast, whose mean volumes were: 0.5573 ± 0.0938 (0 - 30 nm), 0.8458 ± 0.2899 (30 - 60 nm), and 0.2188 ± 0.1109 (>60 nm), with the highest mean volume between 30 and 60 nm, showing a predominance of zooplankton. It was also determined that the greatest difference was located within 30 nm from the coast in the three areas (Fig. 6).

Composición, distribución y abundancia del fitoplancton

Composition, distribution, and abundance of phytoplankton

El fitoplancton estuvo conformado por 108 especies, que comprendieron 4 grupos: diatomeas (61), dinoflagelados (42), silicoflagelados (2) y fitoflagelados (3).

Phytoplankton was formed by 108 species, comprising 4 groups: diatoms (61), dinoflagellates (42), silicoflagellates (2), and phytoflagellates (3).

En el área costera de Malabrigo y Paita, dentro de las 30 mn, se observó una comunidad caracterizada por el grupo de diatomeas y fitoflagelados. Similar composición se determinó del Callao al sur. Frente a Callao las diatomeas alcanzaron mayor representatividad con 85% de fitoplancton, mientras que en Ilo destacaron los fitoflagelados (87%).

In the northern coastal area of Malabrigo and Paita, within 30 nm, a community which was characterized by the group of diatoms and phytoflagellates was observed; a similar composition was determined from Callao to the south. Off Callao, diatoms reached the highest representation with 85% of phytoplankton, while phytoflagellates were present in Ilo with 87% of phytoplankton.

Las mayores abundancias fueron registradas frente a Pisco y estuvieron determinadas por diatomeas centrales y de afloramiento como *Thalassiosira* sp. (607×10^3 cel.L⁻¹), *Cerataulina pelagica* (326×10^3 cel.L⁻¹), *Skeletonema costatum*

The greatest abundances were recorded off Pisco and were determined by central and upwelling diatoms such as *Thalassiosira* sp. (607×10^3 cel.L⁻¹), *Cerataulina pelagica* (326×10^3 cel.L⁻¹), *Skeletonema*

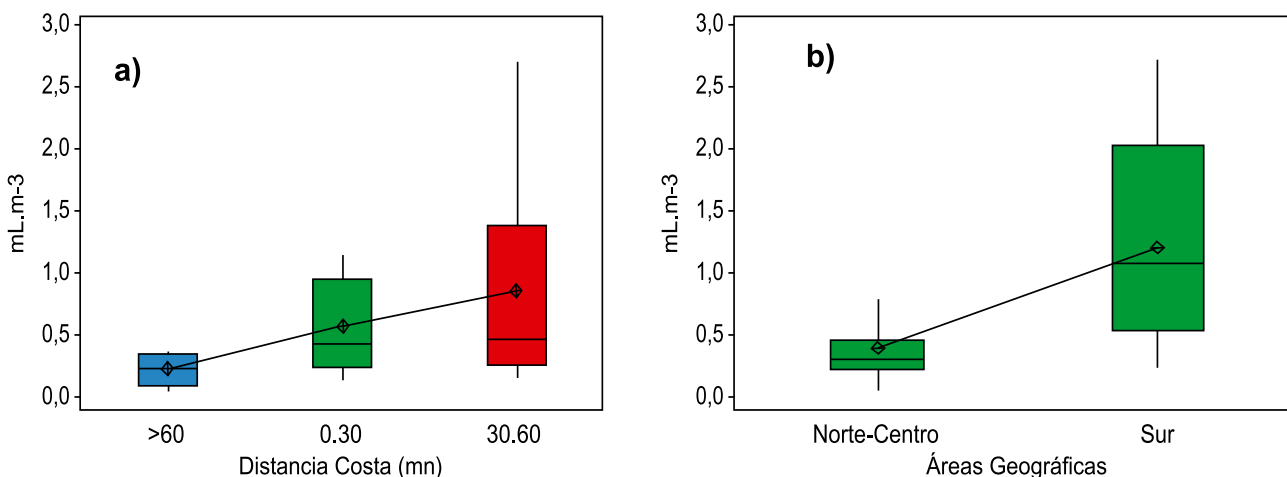


Figura 6.- Diagrama de box plot de volúmenes de plancton por distancia a la costa (a) y áreas geográficas (b)

Figure 6. Box plot diagram of plankton volumes by distance to the coast (a) and geographical areas (b)

(172×10^3 cel.L⁻¹). Frente al Callao se detectaron algunas diatomeas de fase intermedia como el grupo *Pseudo-nitzschia delicatissima* (145×10^3 cel.L⁻¹). Los dinoflagelados se distribuyeron en la franja costera frente a los perfiles de Callao, Pisco y San Juan con densidades menores a 50×10^3 cel.L⁻¹ (Fig. 7a).

En la zona comprendida entre 30 y 60 millas, la comunidad estuvo conformada principalmente por fitoflagelados, los cuales constituyeron más del 95% del fitoplancton en la mayoría de los perfiles, a excepción del perfil Callao que estuvo en 35%. Su mayor abundancia fue registrada frente a Paita con 3.673×10^3 cel.L⁻¹ (Fig. 7b). Mientras que las diatomeas, frente a Callao, sus densidades fueron de 196×10^3 cel.L⁻¹. Entre éstas se presentaron las de fases intermedias como Grupo *Pseudo-nitzschia seriata* Peragallo (161×10^3 cel.L⁻¹) y Grupo *P. delicatissima* Heiden (29×10^3 cel.L⁻¹) y otras diatomeas como *Eucampia zoodiacus* Ehrenberg (1×10^3 cel.L⁻¹) y *Lioloma pacificum* Hasle (2×10^3 cel.L⁻¹).

Análisis comunitario

El análisis de similaridad del fitoplancton entre estaciones originó la formación de cinco grupos al 32% (Fig. 8).

Grupo I, conformado por las estaciones frente a Paita y las estaciones costeras frente a Malabrigo, donde las diatomeas fueron el grupo más abundante con el 60% de este cluster. Solo en tres estaciones de Paita por fuera de las 30 mn el aporte de los fitoflagelados, a la densidad celular total del fitoplancton, estuvo por encima de las diatomeas.

costatum (172×10^3 cel.L⁻¹). Off Callao, some intermediate-stage diatoms were detected, such as the *Pseudo-nitzschia delicatissima* Group (145×10^3 cel.L⁻¹). Dinoflagellates were distributed in the coastal strip mainly off the Callao, Pisco, and San Juan profiles with densities lower than 50×10^3 cel.L⁻¹ (Fig. 7a).

In the zone between 30 and 60 nm, the community consisted mainly of phytoflagellates, which constituted more than 95% of the phytoplankton in most of the profiles, except for the Callao profile which was at 35%. Its greatest abundance was recorded off Paita with 3.673×10^3 cel.L⁻¹ (Fig. 7b), while diatoms were less noticeable, with densities of 196×10^3 cells L⁻¹ off Callao. These included intermediate-stage diatoms such as *Pseudo-nitzschia seriata* Peragallo Group (161×10^3 cel.L⁻¹) and *P. delicatissima* Heiden Group (29×10^3 cel.L⁻¹) and other diatoms such as *Eucampia zoodiacus* Ehrenberg (1×10^3 cel.L⁻¹) and *Lioloma pacificum* Hasle (2×10^3 cel.L⁻¹).

Community analysis

The analysis of phytoplankton similarity between stations resulted in the formation of five groups at 32% (Fig. 8).

Group I was formed by the stations located off Paita and the coastal stations off Malabrigo, where diatoms were the most abundant group with 60% of this cluster. Only in three Paita stations, outside 30 nm, the contribution of phytoflagellates to the total cellular density of phytoplankton was above the diatoms.

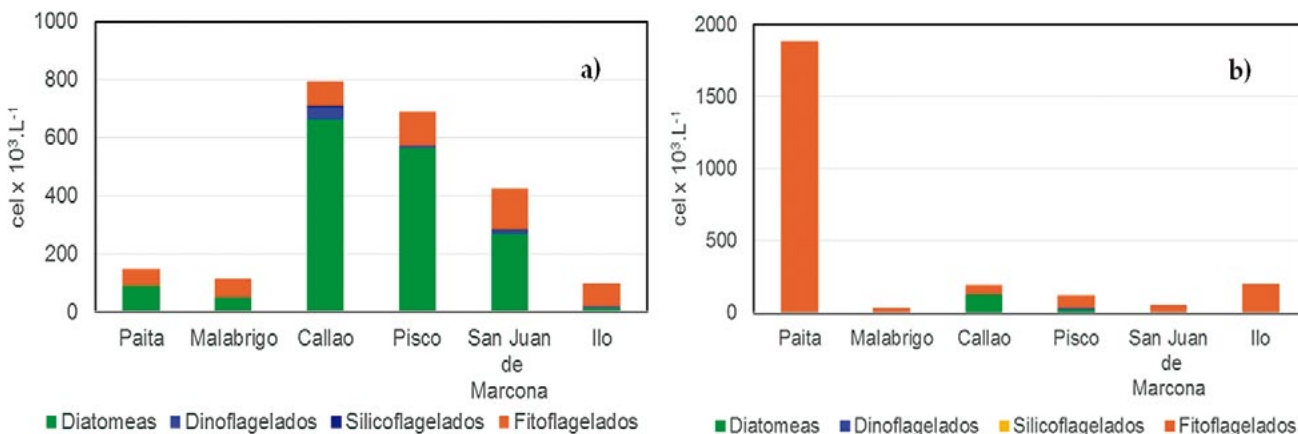


Figura 7.- Abundancia de fitoplancton (N°celx103.L-1), en los perfiles hidrográficos (a) 0-30 nm, (b) 30-60 nm de la costa
 Figure 7. Abundance of phytoplankton (N°celx103.L-1), in hydrographic profiles (a) 0-30 nm, (b) 30-60 nm from the coast

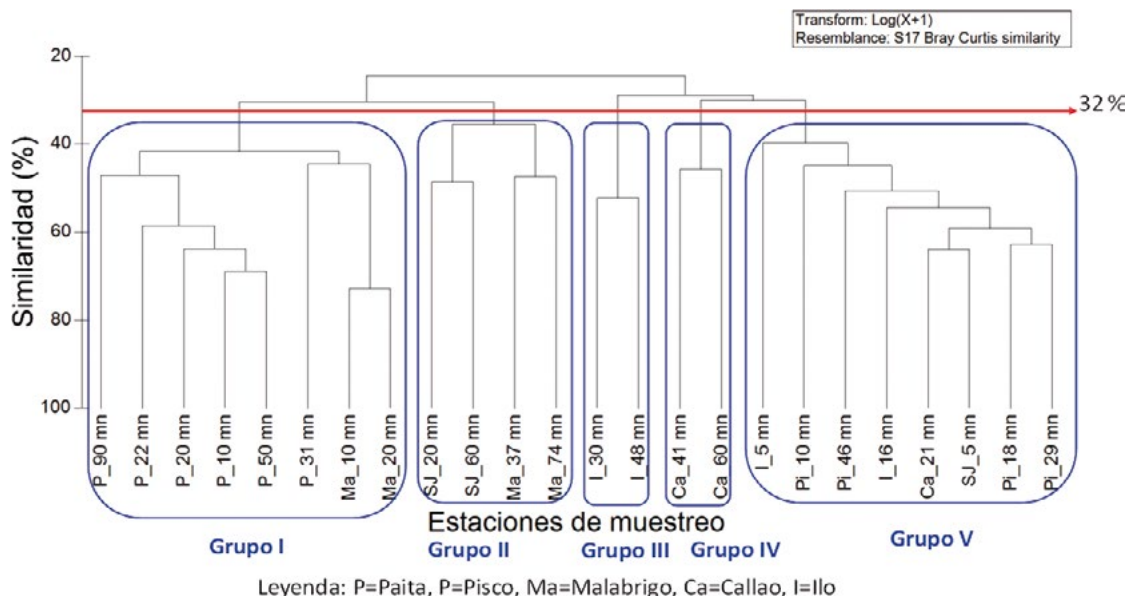


Figura 8.- Dendrograma del análisis de clasificación entre perfiles hidrográficos basado en especies

Figure 8. Species-based dendrogram of classification analysis between hydrographic profiles

Grupo II, representado por estaciones localizadas fuera de las 30 mn frente a Malabrigo y San Juan, donde hubieron pocas especies de diatomeas y dinoflagelados de aguas cálidas. Entre las primeras, las más representativas fueron *Lioloma pacificum* Hasle; *Planktoniella sol* Schütt y entre los dinoflagelados *Amphidinium* sp. Claparède & Lachmann y *Gonyaulax spinifera* Diesing. La densidad celular de los fitoflagelados fue mayor al del microfitoplancton (diatomeas, dinoflagelados y silicoflagelados).

Grupo III, conglomeró a las estaciones frente a Ilo, entre 30 y 48 mn de distancia de costa. La composición específica estuvo determinada por diatomeas de afloramiento como *Chaetoceros affinis* Lauder y *Ch. lorenzianus* Grunow y diatomeas de fases intermedias como *Amphora* sp., *Dactyliosolen fragilissimus* Crawford y *Eucampia zoodiacus* Ehrenberg, cuyas concentraciones fueron bajas (<1x10³cel.L⁻¹). A 30 mn la densidad celular de dinoflagelados fue mayor que el de diatomeas, destacando *Prorocentrum* sp. (> 4x 10³cel.L⁻¹).

Grupo IV, determinado por estaciones ubicadas frente a Callao por fuera de las 30 mn, donde las concentraciones celulares de las diatomeas fueron mayores a las de fitoflagelados, destacando diatomeas potencialmente tóxicas del Grupo *Pseudo-nitzschia seriata* Peragallo (>160x10³cel. L⁻¹) y Grupo *P. delicatissima* Heiden (>29x10³cel.

Group II was represented by stations located outside 30 nm off Malabrigo and San Juan, where few species of warm water diatoms and dinoflagellates were present. Among the first, the most representative were *Lioloma pacificum* Hasle; *Planktoniella sol* Schütt and among the dinoflagellates, the most representative were *Amphidinium* sp. Claparède & Lachmann and *Gonyaulax spinifera* Diesing. The cell density of phytoflagellates was higher than that of microphytoplankton (diatoms, dinoflagellates, and silicoflagellates).

Group III clustered the stations off Ilo, between 30 and 48 nm from the coast. The specific composition was determined by upwelling diatoms such as *Chaetoceros affinis* Lauder and *Ch. lorenzianus* Grunow and intermediate-stage diatoms such as *Amphora* sp., *Dactyliosolen fragilissimus* Crawford and *Eucampia zoodiacus* Ehrenberg, whose concentrations were low (<1x10³cel.L⁻¹). At 30 nm, the cell density of dinoflagellates was higher than that of diatoms, particularly *Prorocentrum* sp. (> 4x 10³cel.L⁻¹).

Group IV was determined by stations located off Callao, outside 30 nm, where the cell concentrations of diatoms were higher than those of phytoflagellates, including potentially toxic diatoms of the *Pseudo-nitzschia seriata* Peragallo Group (>160x10³cel. L⁻¹) and *P. delicatissima* Heiden

L⁻¹), además de diatomeas de aguas cálidas como *Guinardia flaccida* Peragallo y *Lioloma pacificum* Hasle (>2x10³cel.L⁻¹).

Grupo V, agrupó a las estaciones frente a Pisco y estaciones costeras frente a Callao, San Juan e Ilo. A 29 mn, frente a Pisco, se registró la máxima densidad celular de diatomeas (> 600x10³cel. L⁻¹), destacando *Thalassiosira* sp., entre otras diatomeas centrales dispuestas en cadena como *Cerataulina pelagica* (Cleve); *Skeletonema costatum*; *Chaetoceros debilis* Cleve; *Ch. didymus* Ehrenberg, *Ch. lorenzianus* Grunow y diatomeas pennatas como *Cylindrotheca closterium* Reimann & Lewinn y Grupo *P. seriata* Peragallo. También se obtuvo concentraciones mayores a 20x10³ cel.L⁻¹ del dinoflagelado *Akashiwo sanguinea* frente a San Juan y dinoflagelados cosmopolitas como *Protoperidinium leonis* Balech, *P. minutum* Loeblich III, *Scripssiella trochoidea* Loeblich, *Tripos fusus* Gómez y *Prorocentrum micans* Ehrenberg se presentaron en menores densidades.

Silicoflagelados como *Octactis octonaria* Ehrenberg obtuvo densidades de 6x10³ cel.L⁻¹ y se presentó principalmente en el área centro-sur frente a Callao y San Juan. Además, se registraron fitoflagelados, sobresaliendo *Eutreptiella gymnastica* Thronsen (50x10³ cel.L⁻¹) frente a San Juan.

Distribución de indicadores biológicos de masas de agua

Los parámetros ambientales a fines de verano e inicios de otoño mostraron condiciones atípicas reflejándose en la distribución de los organismos indicadores de masas de agua (Fig. 9).

Se registró presencia del dinoflagelado *Ceratium breve* v. *parallelum* Jörgensen indicador de AES al sur de Pimentel (10 mn) y frente a Malabrigo dentro de las 50 mn.

También se determinó a *Tripos praelongus* Gómez, indicador de ASS frente a Malabrigo (45 mn) a *C. breve* indicador de AES, produciendo aguas de mezcla (AES+ASS). Entre tanto, las ASS permanecieron fuera de las 50 mn.

A pesar de esta situación se determinó al dinoflagelado *Protoperidinium obtusum* (Karsten), indicador de Aguas Costeras Frías (ACF), distribuido a lo largo del litoral dentro de las 40 mn y con mayor incidencia entre Pisco - Punta Infiernillos y frente a Callao.

Group (>29x10³cel. L⁻¹), as well as warm waters diatoms such as *Guinardia flaccida* Peragallo and *Lioloma pacificum* Hasle (>2x10³cel.L⁻¹).

Group V clustered the stations off Pisco and coastal stations off Callao, San Juan, and Ilo. At 29 nm, off Pisco, the maximum cell density of diatoms (> 600x10³cel. L⁻¹) was recorded, with *Thalassiosira* sp., among other central diatoms arranged in chain such as *Cerataulina pelagica* (Cleve); *Skeletonema costatum*; *Chaetoceros debilis* Cleve; *Ch. didymus* Ehrenberg, *Ch. lorenzianus* Grunow, and pennate diatoms such as *Cylindrotheca closterium* Reimann & Lewinn and *P. seriata* Peragallo Group. Concentrations greater than 20x10³ cel.L⁻¹ were also obtained from the dinoflagellate *Akashiwo sanguinea* off San Juan and cosmopolitan dinoflagellates such as *Protoperidinium leonis* Balech, *P. minutum* Loeblich III, *Scripssiella trochoidea* Loeblich, *Tripos fusus* Gómez, and *Prorocentrum micans* Ehrenberg were presented in lower densities.

Silicoflagellates, such as *Octactis octonaria* Ehrenberg, obtained densities of 6x10³ cel.L⁻¹ and was present mainly in the south-central area off Callao and San Juan. In addition, phytoflagellates were recorded, including *Eutreptiella gymnastica* Thronsen (50x10³ cel.L⁻¹) off San Juan.

Distribution of biological indicators of water masses

Environmental parameters in late summer and early autumn showed atypical conditions which were reflected in the distribution of indicator organisms of water masses (Fig. 9).

The presence of the dinoflagellate *Ceratium breve* v. *parallelum* Jörgensen, an indicator of SEW, was recorded south of Pimentel (10 nm) and off Malabrigo within 50 nm.

It was also determined the presence of *Tripos praelongus* Gómez, an indicator of SSW, off Malabrigo (45 nm) and *C. brief*, an indicator of SEW, which was producing mixing waters (SEW+SSW). Meanwhile, SSW remained outside 50 nm.

Nonetheless, the dinoflagellate *Protoperidinium obtusum* (Karsten), an indicator of Cold Coastal Waters (CCW), was distributed along the coast within 40 nm and show a greater incidence between Pisco - Punta Infiernillos and off Callao.

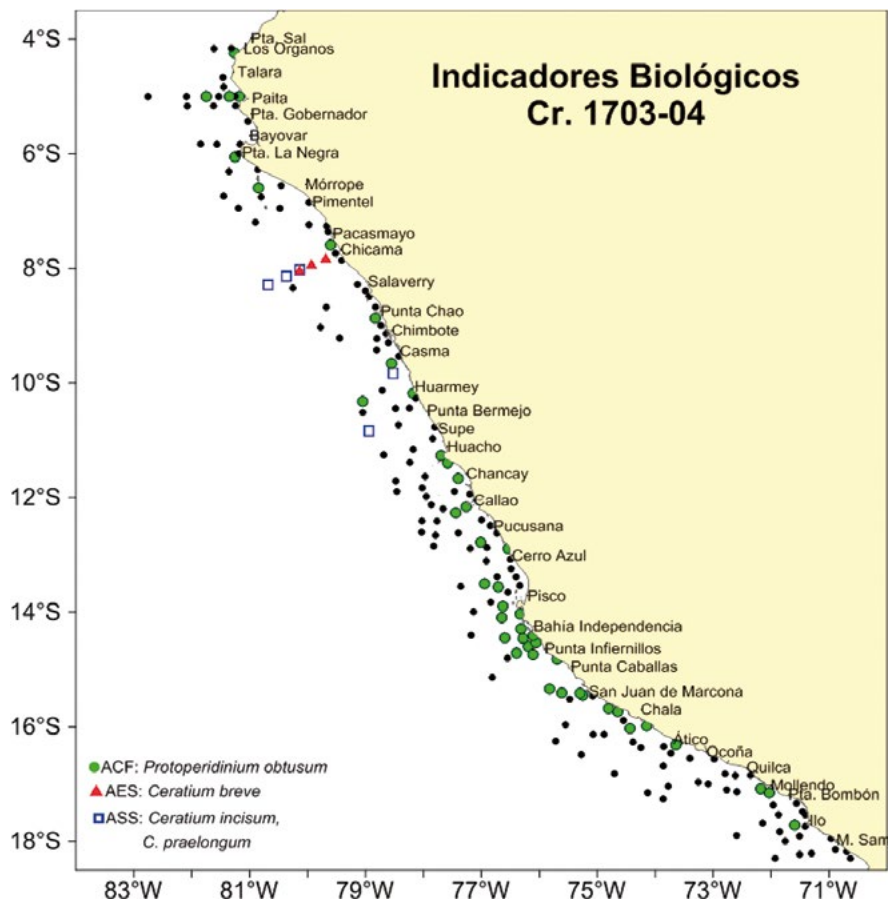


Figura 9.- Distribución de indicadores biológicos de masas de agua en superficie

Figure 9. Distribution of surface biological indicators of water masses

4. DISCUSIÓN

Las condiciones oceanográficas superficiales del mar peruano durante el verano 2017 mostraron predominio de masas de aguas cálidas de 24 a 26 °C al sur de Callao y de 24 a 27 °C entre Punta Bermejo-Chimbote. Al sur de Pisco se registraron anomalías negativas de la temperatura superficial del mar dentro de las 10 mn, debido a los procesos de afloramiento y a la mayor descarga de los ríos y, hacia el norte las masas de agua: ACF entre Huacho y Callao hasta 40 mn de la costa, ASS fueron dominantes entre Casma y Punta Bermejo, aguas de mezcla (ACF y ASS) frente a Salaverry y las AES se encontraron hasta 15 mn de Mórrope y por fuera de 30 mn entre Punta La Negra y Talara (IMARPE 2017).

Situación diferente a lo encontrado durante el verano 2016, después de El Niño 2015-2016 catalogado como fuerte, la recuperación fue bastante rápida con parámetros ambientales casi cercanos a la normalidad en mayo y junio (Comunicado ENFEN N° 03-2016).

4. DISCUSSION

The surface oceanographic conditions of the Peruvian sea in summer 2017 showed a predominance of warm water masses of 24 to 26 °C south of Callao and 24 to 27 °C between Punta Bermejo-Chimbote. Towards the south of Pisco, there were negative sea surface temperature anomalies within 10 nm, due to upwelling processes and the greater discharge of rivers and, towards the north, water masses were the following: CCW between Huacho and Callao up to 40 nm from the coast, SSW were dominant between Casma and Punta Bermejo, mixing waters (CCW and SSW) off Salaverry, and SEW were found up to 15 nm of Mórrope and outside 30 nm between Punta La Negra and Talara (IMARPE 2017).

The situation was different to the one found in summer 2016, after the El Niño 2015-2016, which was cataloged as strong, the recovery was quite rapid with environmental parameters almost close to normal in May and June (Communiqué ENFEN N° 03-2016).

El estudio verificó la influencia de El Niño Costero 2017, que por sus condiciones cálidas tuvo repercusión en la disminución del volumen promedio de plancton (<1,0 mL.m⁻³). Escenario similar se observó durante el verano 2015 y 2016 en los perfiles de Paita y Chicama cuando los promedios fueron menores de 0,57 y 0,53 mL.m⁻³, respectivamente (observaciones personales).

Se tiene conocimiento que, desde 1999 se ha iniciado un cambio de régimen denominado período cálido observado en otros ecosistemas (BOND *et al.* 2003), el mismo que podría estar desarrollándose en el ecosistema de Humboldt porque, al comparar la serie de la variación interanual del volumen promedio de plancton durante los veranos (Fig. 10) en el período 2000-2017 se estimó que 89% presentaron valores menores a 1,0 mL.m⁻³ debido a la persistencia de varios eventos EL Niño durante ese período (DELGADO *et al.* 2001, DELGADO *et al.* 2004, DELGADO y CHANG 2009, DELGADO *et al.* 2015, DELGADO y CHANG 2015). Dentro de este rango resaltó el promedio más bajo de 0,27 mL.m⁻³ debido a El Niño 2015-16 (SÁNCHEZ *et al.* 2017), concentración muy cercana a lo obtenido en El Niño 1982-1983 (ROJAS DE MENDIOLA *et al.* 1985). Excepto en los veranos de 2014 y 2016 cuando alcanzaron un valor promedio máximo, ambos años con 1,1 mL.m⁻³ (SÁNCHEZ *et al.* 2017) y cuya abundancia estuvo representada por el grupo del microzooplancton y fitoplancton, respectivamente.

The survey verified the influence of the El Niño Costero 2017, which due to its warm conditions had an impact on the decrease in the mean plankton volume (<1.0 mL.m⁻³). A similar scenario was observed in summer 2015 and 2016 in the Paita and Chicama profiles when the averages were less than 0.57 and 0.53 mL.m⁻³, respectively (personal remarks).

We are aware that, since 1999, a regime change called warm period, as observed in other ecosystems (BOND *et al.* 2003) has begun. This regime could be developing in the Humboldt ecosystem because when comparing the series of the interannual variation of mean plankton volume during summers in the 2000-2017 period (Fig. 10). It was estimated that 89% had values lower than 1.0 mL.m⁻³ due to the persistence of several El Niño events throughout this period (DELGADO *et al.* 2001, DELGADO *et al.* 2004, DELGADO & CHANG 2009, DELGADO *et al.* 2015, DELGADO & CHANG 2015). In this range, the lowest mean was 0.27 mL.m⁻³ due to the El Niño 2015-16 (SÁNCHEZ *et al.* 2017), a concentration which is very close to that obtained in the El Niño 1982-1983 (ROJAS DE MENDIOLA *et al.* 1985). We have as an exception the summer 2014 and 2016, when concentrations reached a maximum mean value, both years with 1.1 mL.m⁻³ (SÁNCHEZ *et al.* 2017) and whose abundance was represented by the group of microzooplankton and phytoplankton, respectively.

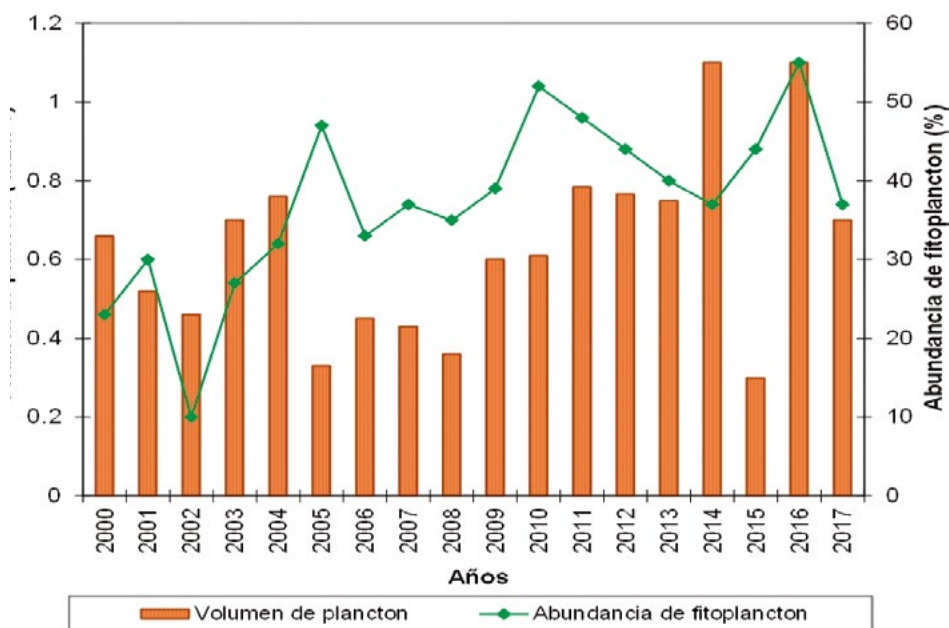


Figura 10.- Variación interanual del volumen de plancton y abundancia relativa de fitoplancton en verano (%) durante el período 2000-2017

Figure 10. Interannual variation in plankton volume and relative abundance of phytoplankton in summer (%) during the period 2000-2017

Como respuesta a este cambio de régimen, también la abundancia relativa del fitoplancton en término porcentual durante los veranos, presentaron cambios, apreciándose que en este período (2000 - 2017) fueron menores al 50% y sólo el 2016 superó al 50%, cuando alcanzó el valor de 53%.

Acerca de la variación del volumen de plancton según los grados latitudinales, se apreció que, tanto en el verano 2015 como en el 2017, presentaron valores menores a $1,0 \text{ mL.m}^{-3}$ entre 4 y 15°S , siendo solo diferente en el verano 2017 cuando entre 16 y 17°S se incrementó hasta $2,7 \text{ mL.m}^{-3}$ y estuvo distribuido entre 30 y 60 mn . Situación que se diferencia de lo encontrado para el 2016 cuando las concentraciones fueron mayores a $1,0 \text{ mL.m}^{-3}$ (SÁNCHEZ *et al.* 2017).

A pesar de las condiciones oceanográficas adversas para el desarrollo del fitoplancton se presentaron abundancias relativas considerables de esta comunidad al sur de Mórrope, siendo las diatomeas neríticas y de afloramiento las principales componentes en la zona costera (20 mn). Al norte de Mórrope la abundancia estuvo representada por especies de aguas cálidas distribuidas hasta 50 mn . Situación que difiere sustancialmente de lo observado en el verano 2016, cuando el fitoplancton estuvo caracterizado por abundancia de especies de alta tasa de crecimiento pertenecientes a la primera etapa de la sucesión fitoplanctónica y dentro de las 40 mn a lo largo del litoral hasta los 17°S , extendiéndose frente a Paita y Chicama hasta aproximadamente 80 mn donde la abundancia fue representada por *Chaetoceros* spp. y *Skeletonema costatum*.

En los veranos del 2016 y 2017, se registró alta riqueza de especies termófilas del grupo de diatomeas y de dinoflagelados, especies que caracterizaron estos períodos cálidos. En los dos últimos veranos, los dinoflagelados de distribución cosmopolita (*Protoperdinium depressum* Balech y *Tripos fusus* var. *fusus* Dujardin) presentaron mayores abundancias relativas.

Por otro lado, a 10 m de profundidad, las condiciones cálidas propias de El Niño Costero habrían incidido en la disminución de las densidades celulares, menor número de especies de fitoplancton en las principales áreas de

In response to this regime change, the relative abundance of phytoplankton in percentage terms (%) during the summers also showed changes, which was observed in this period (2000 - 2017) and it was lower than 50% and only in 2016 it exceeded 50%, when it reached the value of 53%.

Regarding the variation in plankton volume, based on latitudinal degrees, it was observed that in both summer 2015 and 2017, it presented values lower than 1.0 mL.m^{-3} between 4 and 15°S , in both years, although it was only different in summer 2017 when, between 16 and 17°S , it increased to 2.7 mL.m^{-3} and it was distributed between 30 and 60 nm . This is different from what was found in 2016 when concentrations were greater than 1.0 mL.m^{-3} (SÁNCHEZ *et al.* 2017).

Despite the adverse oceanographic conditions for the development of phytoplankton, there were considerable relative abundances of this community south of Mórrope, where neritic and upwelling diatoms were the main components in the coastal zone (20 nm). Towards the north of Mórrope, abundance was represented by warm water species distributed up to 50 nm . This scenario is substantially different from what was observed in summer 2016, when phytoplankton was characterized by an abundance of high growth rate species in the first stage of phytoplankton succession and within 40 nm along the coast until 17°S , which extended off Paita and Chicama to approximately 80 nm where abundance was represented by *Chaetoceros* spp. and *Skeletonema costatum*.

In summer 2016 and 2017, there was a high richness of thermophilic species of the group of diatoms and dinoflagellates, which characterized these warm periods. In the last two summers, dinoflagellates of cosmopolitan distribution (*Protoperdinium depressum* Balech and *Tripos fusus* var. *fusus* Dujardin) presented greater relative abundances.

Moreover, at a depth of 10 m , the warm conditions typical of the El Niño Costero would have influenced the decrease in cell densities, a lower number of phytoplankton species in the main upwelling areas and the evident

afloramiento y el evidente incremento del grupo de fitoflagelados para el verano 2017 comparadas con el verano del 2004 (DELGADO *et al.* 2015).

En el verano del 2017, *Protoperidinium obtusum* indicador de ACF, mostró distribución restringida dentro de las 40 mn, principalmente al sur del litoral, características muy similares registradas para el verano del 2016 cuando el indicador de ASS estuvo distribuido desde Paita hasta Pucusana por fuera de las 50 mn, características que no fueron registradas para el verano del 2017, donde solo se detectó entre Chicama y Punta Bermejo por fuera de las 60 mn, con acercamiento frente a Casma (dentro 30 mn).

5. CONCLUSIONES

Se verificó la influencia de El Niño Costero que, por sus condiciones térmicas de alta variabilidad tuvo repercusión en la disminución del volumen promedio de plancton y predominancia del fitoplancton a valores de $0,68 \text{ mL.m}^{-3}$ y 37%, respectivamente. El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre los volúmenes promedio por áreas geográficas, siendo mayor en la zona sur.

La comunidad de fitoplancton presentó abundancias relativas altas al sur de Mórrope, siendo las diatomeas neríticas y de afloramiento las principales componentes replegadas a la zona costera (20 mn). Mientras que, al norte de Mórrope la abundancia estuvo representada por especies de aguas cálidas con distribución hasta las 50 mn. En los perfiles hidrográficos, esta comunidad presentó menor riqueza de especies pero fue evidente el incremento de las concentraciones celulares de fitoflagelados, que caracterizan a las masas de aguas cálidas.

Las condiciones ambientales fueron atípicas de la temporada; sin embargo, hubo un fuerte afloramiento en la zona costera que permitió que el indicador *Protoperidinium obtusum* de ACF haya sido registrado a lo largo del litoral y con mayor incidencia entre Pisco y Punta Infiernillos por lo que se podría asumir que el fitoplancton como alimento estaría ofreciendo una buena disponibilidad tanto en calidad como en cantidad para especies planctófagas.

increase in the group of phytoflagellates for summer 2017 when compared to summer 2004 (DELGADO *et al.* 2015).

Regarding the distribution of phytoplankton biological indicators for Summer 2017, CCW indicator showed a restricted distribution within 40 nm, mainly south of the coast, which was very similar to the characteristics recorded for Summer 2016. For this period, SSW indicator had a distribution from Paita to Pucusana outside 50 nm, characteristics that were not recorded for Summer 2017, where it was only detected between Chicama and Punta Bermejo outside 60 nm, showing an approximation off Casma (within 30 nm).

5. CONCLUSIONS

The influence of the El Niño Costero was verified, which, due to its high variability thermal conditions, had repercussions in the reduction of the mean plankton volume and predominance of phytoplankton to values of 0.68 mL.m^{-3} and 37%, respectively. ANOVA showed significant differences between the mean volumes by geographic areas, being higher in the southern zone.

The phytoplankton community presented significant relative abundances south of Mórrope, where neritic and upwelling diatoms were the main components restricted to the coastal zone (20 nm). Meanwhile, towards the north of Mórrope, abundance was represented by warm water species which were distributed up to 50 nm. In the hydrographic profiles, this community presented a lower species richness, but it was evident the increase in the cellular concentrations of phytoflagellates, which characterize the warm water masses.

The environmental conditions were atypical of the season. Nevertheless, there was a strong upwelling in the coastal zone that allowed that the CCW indicator, *Protoperidinium obtusum*, was registered along the coast and with a greater incidence between Pisco and Punta Infiernillos so it could be assumed that phytoplankton as food would be offering a good availability both in quality and quantity for planktophagous species.

Agradecimientos

Las autoras expresan su agradecimiento al Ing. Luís Pizarro por la contribución de los gráficos de los parámetros físicos y a la M. Sc. Marilú Bouchón por la revisión del presente artículo.

Acknowledgments

The authors express their gratitude to Engineer Luís Pizarro for his contribution in making the graphs of the physical parameters and to MSc. Marilú Bouchón for the review of this article.

6. REFERENCIAS / REFERENCES

- CUPP E. 1943. Marine plankton diatoms of the west coast of North America. Bull. Scripps it. Oceangr. 5: 1 - 237.
- BOND N A, OVERLAND J E, SPILLANE M, STABBENO P. 2003. Recent shifts in the state of the North Pacific. Geophysical Research Letters, 30 (23): 2183.
- DELGADO E. 2018. Características del fitoplancton del mar peruano. Verano 2014, Crucero 1402-04. Bol Inst Mar Perú. 33(1): 65 - 72
- DELGADO E, CHANG F. 2009. La comunidad microalgal durante el verano 2006. Evaluación hidroacústica de la distribución y biomasa de recursos pelágicos frente a la costa peruana. Inf Inst Mar Perú. 36(3-4): 131 - 136.
- DELGADO E, CHANG F. 2015. Fitoplancton del mar peruano, verano 2010. Inf Inst Mar Perú. 42(3): 389 - 397.
- DELGADO E, CHANG F, BERNALES A. 2015. El fitoplancton del mar peruano en el verano 2008. Inf Inst Mar Perú. 42 (2): 172 - 177.
- DELGADO E, CHANG F, VILLANUEVA P. 2004. Fitoplancton del mar peruano durante el verano austral 2001. Inf Inst Mar Perú. 32(1): 1 - 28.
- DELGADO E, CHANG F, VILLANUEVA P. 2015. Composición, abundancia y distribución del fitoplancton frente a la costa peruana en el verano 2004. Crucero 0402-03. Inf Inst Mar Perú. 42(2): 158 - 165.
- DELGADO E, VILLANUEVA P, CHANG F, FERNÁNDEZ C. 2001. El fitoplancton del mar peruano en el verano 2000. Inf Inst Mar Perú. 159: 85 - 98.
- ENFEN 2016. Comité Multisectorial de Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN). Comunicado Oficial ENFEN N° 03-2016. Estado del sistema de alerta: Alerta de El Niño Costero. 3 p.
- ENFEN 2017. Comité Multisectorial de Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN). Comunicado Oficial ENFEN N° 04-2017. Estado del sistema de alerta: Alerta de El Niño Costero. 3 p.
- HASLE G, SYVERTSEN E. 1996. Marine diatoms. In: Tomas C. (Ed.). Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates. Academic Press, Inc. San Diego. 383 pp.
- HENDEY I. 1964. An introductory account of the smaller algae of British Coastal waters. Part. V. Bacillariophyceae (Diatoms). Her Majesty's Stationery Office, London. 317 pp.
- HUSTEDT F. 1930. Die Kieselalgen Deutschlands, Osterreichs und der Schweiz mit Berücksichtigung der übrigen Lander Europas sowie der angrenzenden Meeresgebiete. In: L. Rabenhorst (ed) Kryptogamenflora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz. 1 Teil. Akat. Verlagsges. Leipzig, Reprint Johnson Rep. Goop, N7w York. 1971: 920 pp.
- IBÁÑEZ F, SEGUIN G. 1992. Etude du cycle annuel du zooplancton d'Abidjan. Comparaison de plusieurs méthodes d'analyse multivariante: Composantes principaux, correspondances, coordonnées principales. Inv. Pesq. 36(1): 81 - 108.
- IMARPE 2017. Informe ejecutivo del crucero de evaluación hidroacústica de recursos pelágicos 1703-04.
- ROJAS DE MENDIOLA B, GÓMEZ O, OCHOA N. 1985. Efectos del fenómeno El Niño sobre el fitoplancton. En: Arntz, W., A. Landa y J. Tarazona (Eds.). El Niño, su impacto en la fauna marina. Bol Inst Mar Perú. Vol. Ext.: 33 - 40.
- ROJAS DE MENDIOLA B, OCHOA N, GÓMEZ O. 1985. Los dinoflagelados como indicadores biológicos de masas de agua. Fenómeno El Niño 1972. Mem. Seminario sobre Indicadores Biológicos del Plancton. Instituto del Mar del Perú-UNESCO: 54 - 73.
- SÁNCHEZ S, QUISPE J, MENDOZA J. 2017. Variabilidad del plancton y efectos de El Niño y La Niña sobre el fitoplancton 2013-2016. Inf Inst Mar Perú. 44(1): 14 - 19.
- SCHILLER J. 1971. Dinoflagellatae (Peridinea) in monographischer Behandlung. 1 Teil. In: L. Rabenhorst (Ed.) Kryptogamenflora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz., Vol. X Flagellatae, Section III3, Part. I. Reprint by Johnson Repr. Corp. New York, London. 617 pp.
- SOURNIA A. 1967. Le genre *Ceratium* (Péridinien Planctonique) dans le Canal de Mozambique. Contribution a une révision mondiale. Vie et Milieu. 18 (2A - A): 375 - 580.

- STEIDINGER K, TANGEN K. 1996. Dinoflagellates. In: Tomas C. (Ed.). Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates. Academic Press, Inc. San Diego. 387 - 570.
- SUNDSTRÖM B. 1986. The marine diatom genus *Rhizosolenia*. A new approach to the taxonomy. Lund, Sweden. 196 pp.
- THRÖNDSSEN J. 1978. Preservation and storage. In: A. Sournia (Ed.) Phytoplankton manual. UNESCO, Paris. 69 - 74 pp.
- THRÖNDSSEN J. 1993. The Planktonic Marine Flagellates. In Tomas C. (Ed.). Marine Phytoplankton a guide to naked flagellates and coccolithophorids, Cap. 2. Academic Press, Inc. San Diego. 7 - 145 pp.
- UTERMÖHL H. 1958. Zur Vervollkommnung der Quantitativen Phytoplankton methodik Mitt. Inter. Ver. Limnol. 9: 1 - 38.
- ZAR J H. 1997. Biostatistical Analysis. Prentice Hall England Wood Clips N. Jersey. 718 pp.