

BOLETÍN

INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

ISSN 0458-7766

VOLUMEN 34, Número 2



Julio - Diciembre 2019
Callao, Perú



PERÚ

Ministerio
de la Producción

ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS Y BIOLÓGICAS DEL AFLORAMIENTO COSTERO FRENTE A CALLAO EN PERIODOS CONTRASTANTES DURANTE EL 2018

ANALYSIS OF OCEANOGRAPHIC AND BIOLOGICAL CONDITIONS OF THE COASTAL UPWELLING OFF CALLAO IN CONTRASTING PERIODS DURING 2018

Michelle Graco¹ Tony Anculle¹ Victor Aramayo² Avy Bernales²
 Wilson Carhuapoma¹ David Correa³ Juan Carlos Ernesto Fernández¹
 Walter García⁴ Jesús Ledesma¹ Robert Marquina² Luis Quipúzcoa²
 Dennis Romero² Miguel Sarmiento¹ Juana Solís¹

RESUMEN

GRACO M, ANCULLE T, ARAMAYO V, BERNALES A, CARHUAPOMA W, CORREA D, FERNÁNDEZ J, GARCÍA W, LEDESMA J, MARQUINA R, QUIPÚZCOA L, ROMERO D, SARMIENTO M, SOLÍS J. 2019. Análisis de las condiciones oceanográficas y biológicas del afloramiento costero frente a Callao en periodos contrastantes durante el 2018. *Bol Inst Mar Perú*. 34(2): 519-543.- El ecosistema de afloramiento costero frente a Perú se caracteriza por una intensa variabilidad oceanográfica que impacta en la Zona de Mínimo de Oxígeno (ZMO), en la disponibilidad de nutrientes y en la ecología del plancton y bentos. Este trabajo presenta los resultados de dos Cruceros Intensivos Oceanográficos (CRIO) asociados a la zona de afloramiento del Callao (12°S) realizados en abril (otoño) que se caracterizó por mayor productividad y, en agosto (invierno) cuando predominó el efecto físico del afloramiento costero. Las condiciones de abril y agosto 2018, permiten contrastar dos periodos bajo la influencia del afloramiento costero con diferentes intensidades y las respuestas químicas y biológicas asociadas. Ambos periodos se caracterizaron por una intensa y somera ZMO. En el otoño, en que se presentó mayor productividad, se observó mayor déficit de nitratos, mientras que en invierno se presentó mayor disponibilidad de silicatos y nitratos en toda el área de estudio. La comunidad fitoplanctónica reflejó las diferentes condiciones, predominando diatomeas en la costa principalmente en abril, mientras en agosto y en la parte oceánica dominó el nanoplancton. Cambios en las masas de agua en invierno dio posibilidad al acercamiento de aguas oceánicas y con ello incremento del pH y presencia de organismos calcificantes coccolitofóridos, organismos que se han identificado como característicos de El Niño. En el sedimento, la respuesta indica condiciones que aún reflejarían aspectos asociados con El Niño costero 2017 y su impacto en la oxigenación y la materia orgánica, lo cual se refleja en el predominio de poliquetos como *Magelona phyllisae* y la disminución de tapices bacterianos (*Candidatus Marithioploca*). Un sedimento menos reducido con valores relativamente bajos de H₂S estuvieron presentes. En el ensamble de foraminíferos se observa mezcla de especies, algunas que aparecieron desde El Niño 2017 y otras que reflejan cierta normalización hacia la deficiencia en oxígeno y la disponibilidad de materia orgánica.

PALABRAS CLAVE: ZMO, nutrientes, plancton, bentos, afloramiento, Callao, Perú

ABSTRACT

GRACO M, ANCULLE T, ARAMAYO V, BERNALES A, CARHUAPOMA W, CORREA D, FERNÁNDEZ J, GARCÍA W, LEDESMA J, MARQUINA R, QUIPÚZCOA L, ROMERO D, SARMIENTO M, SOLÍS J. 2019. Analysis of the oceanographic and biological conditions of the coastal upwelling off Callao in contrasting periods during 2018. *Bol. Inst Mar Peru*. 34(2): 519-543.- The coastal upwelling ecosystem off Peru is characterized by intense oceanographic variability that impacts the Oxygen Minimum Zone (OMZ), on nutrient availability and the planktonic and benthic ecology. This work presents the results of two Intensive Oceanographic Cruises (CRIO in Spanish) associated with one of the most important upwelling areas of Peru, Callao (12°S), carried out in autumn (April) under higher productivity and in winter (August) when the physical upwelling process predominated. In April and August 2018, the conditions can be defined in two contrasting periods under the influence of different intensities of the upwelling events with the associated chemical and biological responses. Both periods were characterized by an intense and shallow OMZ. In the autumn, higher productivity and deficit of nitrates were observed, while in winter silicates and nitrates were available throughout the study area. The phytoplankton community reflected the different conditions. Diatoms were dominant in April and on the coast, while winter and the ocean side were dominated by the nanoplankton. Changes in water masses gave the possibility of approaching ocean waters in winter increasing pH favorable for coccolithophorid calcifying organisms. These organisms have been identified during El Niño Costero 2017. At the benthos, the response indicates conditions that would still reflect aspects associated with El Niño and its impact on oxygenation and organic matter. The predominance of polychaetes such as *Mageloma phyllisae* and the decrease of microbial mats (*Candidatus Marithioploca*) was detected. Less reduced sediment with relatively low H₂S values was present. For the foraminifer assemblage, a mixture of species was observed, some that appeared since El Niño and others that reflect some normalization towards oxygen deficiency and the availability of organic matter.

KEYWORDS: OMZ, nutrients, plankton, benthos, upwelling, Callao, Peru

1 I IMARPE, DGIOCC, AFIOQG, Esq. Gamarra y Gral. Valle s/n, Callao, Perú. mgraco@imarpe.gob.pe

2 IMARPE, DGIOCC, AFIOB

3 IMARPE, Laboratorio Costero Santa Rosa, Los Pinos s/n, Santa Rosa, Chiclayo

4 IMARPE, DGIOCC, AFIOF

1. INTRODUCCIÓN

El afloramiento costero es un proceso físico que ocurre a lo largo de la costa del Perú, reconociéndose diferentes centros de afloramiento costero, entre los 4-6°S, 7-9°S, 11-13°S y 14-16°S (ZUTA y GUILLÉN, 1970; ROJAS DE MENDIOLA y GÓMEZ, 1981). El afloramiento costero es un proceso físico de advección de agua subsuperficial a la zona eufótica determinando gran disponibilidad de nutrientes y en consecuencia un ambiente favorable para el desarrollo de una importante productividad (CALIENES *et al.*, 1985; ECHEVIN *et al.*, 2008). El afloramiento costero de Perú se caracteriza por la presencia de una intensa y somera Zona de Mínimo de Oxígeno (ZMO), un alto reciclaje de nitrógeno y una condición de alto CO₂ y bajo pH, todos aspectos de interés en el contexto del cambio climático (CHAVEZ & MESSIÉ, 2009).

La alta productividad, variabilidad y complejidad del sistema de afloramiento costero hace necesario un estudio multidisciplinario, el cual se realiza desde el año 2013, a través de un muestreo bimestral frente a Callao que busca caracterizar los procesos físico-químicos y las comunidades planctónicas y bentónicas existentes, con énfasis en el gradiente costa-oceano y su variabilidad a diferentes escalas de tiempo.

El año 2018 presentó en los primeros meses condiciones frías, tal como indican las observaciones regionales que se mantuvieron posterior al desarrollo del evento La Niña (ENFEN, 2018) y que fueron normalizándose, aunque persistiendo, en agosto 2018, las anomalías negativas -0,2 °C (ENFEN, 2018) en la costa e igualmente en la zona Niño 1+2, modulando las características oceanográficas de este sector. En este contexto ambiental se presentan los resultados obtenidos durante dos Cruceros Intensivos Oceanográficos (CRIO) asociados a la línea Callao, realizados del 30 abril al 4 de mayo en el BIC José Olaya y del 16 al 17 de agosto en el BIC Luis Flores Portugal, con la finalidad de caracterizar y analizar dos períodos contrastantes del afloramiento costero: otoño e invierno del 2018.

Este trabajo ha sido realizado en el marco de las actividades de investigación del Proyecto: "Estudio Integrado del Afloramiento Costero frente a Perú" de la Dirección de Oceanografía y Cambio Climático y, financiado por el IMARPE.

1. INTRODUCTION

The coastal upwelling is a physical process that occurs along the Peruvian coast, where different cells of coastal upwelling are recognized, between 4-6°S, 7-9°S, 11-13°S, and 14-16°S (ZUTA & GUILLÉN, 1970; ROJAS DE MENDIOLA & GÓMEZ, 1981). This physical process of advection of subsurface water to the euphotic zone determines great nutrient availability and consequently a favorable environment for the development of important productivity (CALIENES *et al.*, 1985; ECHEVIN *et al.*, 2008). Coastal upwelling in Peru is characterized by the presence of an intense and shallow Oxygen Minimum Zone (OMZ), a high nitrogen recycling, and a condition of high CO₂ and low pH, which are all relevant in the context of climate change (CHAVEZ & MESSIÉ, 2009).

The high productivity, variability, and complexity of the coastal upwelling system require a multidisciplinary study, which has been carried out since 2013, through a bimonthly sampling off Callao that seeks to characterize the physical-chemical processes and the existing planktonic and benthic communities, focusing on the coast-to-ocean gradient and its variability at different time scales.

Early 2018 presented cold conditions, as indicated by regional observations that were maintained after the development of La Niña (ENFEN, 2018) and then were normalized. However, negative anomalies -0.2 °C (ENFEN, 2018) remained persistent in August 2018 on the coast and in the Niño 1+2 zone, thus modulating the oceanographic characteristics of this area. Under these conditions, from 30 April to 4 May and between 16 to 17 August 2018, two Intensive Oceanographic Cruises (CRIO in Spanish), associated with the Callao transect, were carried out onboard of the R/V José Olaya and R/V Luis Flores Portugal, respectively. The results obtained are presented to characterize and analyze two contrasting periods of the coastal upwelling: autumn and winter 2018.

This work has been carried out within the framework of the research activities of the Project: "Integrated Study of the Coastal Upwelling off Peru" of the Directorate-General of Oceanography and Climate Change and is funded by IMARPE.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

La figura 1 muestra el área de estudio de los cruceros CRIO, que efectuó una transecta de 8 estaciones frente a Callao (12°S), desde la costa (E0) hasta las 50 mn (E7), asociada a una plataforma amplia, con un talud ubicado aproximadamente a las 30 mn.

Vientos, hidrografía y química

Se presentan datos de viento que corresponden a información satelital, registrados a través del dispersómetro avanzado (ASCAT) del satélite METOP-A, METOP-B y METOP-C (integrados y procesados por el programa francés IFREMER - CERSAT), a resolución espacial de 25 km y resolución temporal de 1 día. A partir de esta información se calculó: velocidad del viento, Índice de afloramiento costero y porcentaje de actividad del afloramiento costero (IAC) a 40 km de la costa frente a Pisco, Callao y Chicama, para el período entre enero y diciembre 2018. Para fines de comparación se utilizaron los umbrales del primer y tercer cuartil pentadal histórico del viento y la climatología de vientos pentadal satelital (CVS9914) desarrollados por D. Correa (Laboratorio Costero Santa Rosa, IMARPE).

En cada estación se realizaron perfiles hidrográficos con un perfilador de conductividad, temperatura, presión y oxígeno disuelto (CTDO) equipado con: sensor de presión de cuarzo: hasta 6.800 m; sensor de temperatura con rango de medición entre -5 °C y +35 °C; sensor de conductividad: rango de medición entre 0 y 9 S/m y sensor de oxígeno disuelto. En todas las estaciones (0 a 7) hasta las 50 millas se recolectaron muestras de agua en los niveles estándares: 0, 10,

2. MATERIAL AND METHODS

Figure 1 shows the study area of the CRIO cruises and the 8 sampling stations off Callao (12°S), from the coast (E0) to 50 nm (E7), associated with a wide shelf break and a shelf slope located at approximately 30 nm.

Winds, hydrography, and chemistry

Wind data corresponding to satellite information are presented, recorded through the advanced scatterometer (ASCAT) of the METOP-A, METOP-B, and METOP-C satellites (integrated and processed by the French IFREMER - CERSAT software), at a spatial resolution of 25 km and a time resolution of 1 day. Based on this information, the following was calculated: wind speed, coastal upwelling index, and percentage of coastal upwelling activity at 40 km off the coast of Pisco, Callao, and Chicama, for the whole year 2018. Thresholds of the first and third historical pentadal quartile of the wind and the climatology of satellite pentadal winds (CVS9914) developed by D. Correa (Coastal Laboratory of Santa Rosa, IMARPE) were used for comparison purposes.

At each station, hydrographic profiles were made with a conductivity, temperature, pressure, and dissolved oxygen (CTDO) profiler equipped with: quartz pressure sensor (up to 6,800 m); temperature sensor with a measuring range between -5 °C and +35 °C; conductivity sensor with a measuring range between 0 and 9 S/m, and dissolved oxygen sensor. Water samples were collected at the standard levels: 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750, and 1000 m in all

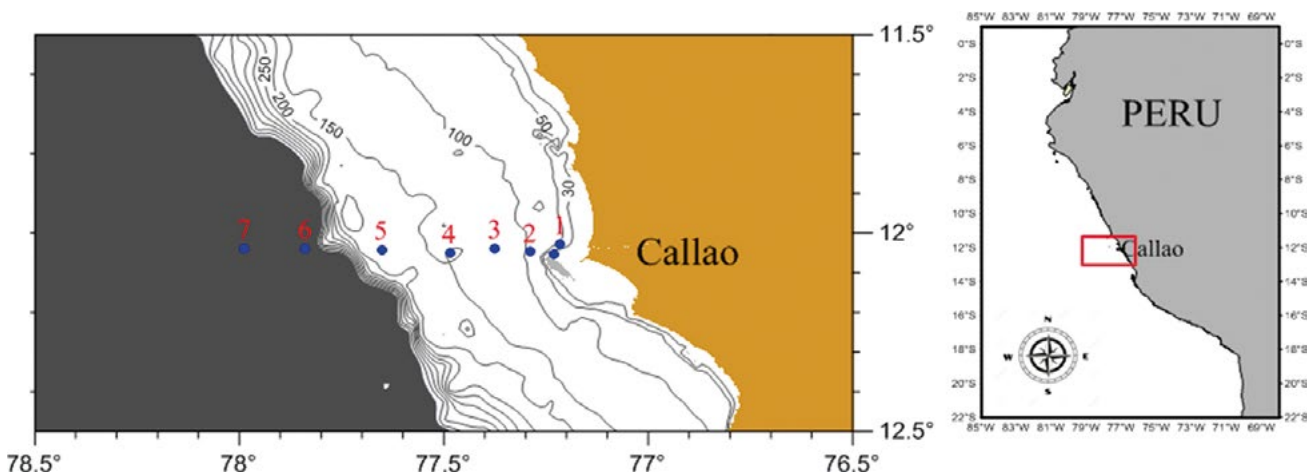


Figura 1.- Carta de ubicación de las estaciones de muestreo frente a Callao en los Cruceros intensivos Oceanográficos (CRIO) abril y agosto 2019

Figure 1. Chart of location of the sampling stations off Callao during the Intensive Oceanographic Cruises (CRIO) in April and August 2019

20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750 y 1000 m. A bordo se determinó el oxígeno disuelto mediante el método de Winkler (CARRIT & CARPENTER 1966) y de pH con un potenciómetro Mettler Toledo. En el laboratorio se analizaron los nutrientes a partir de los protocolos del Área Funcional de Investigación en Oceanografía Química y Geología (AFIOQG). Datos de clorofila-a se obtuvieron a partir de información satelital Modis-AQUA, VIIRS-SNPP y, las anomalías a partir de la climatología 1998-2016 Modis-AQUA, VIIRS-SNPP, Sea Wifs, Meris-ensat (fuente: ocean color/NASA).

Plancton

Muestras superficiales de fitoplancton se obtuvieron en todas las estaciones, utilizando la red estándar (75 μm) y de zooplancton con red WP2 (300 μm), en arrastres superficiales en círculos durante 5 minutos. Muestras conseguidas con botella Niskin a diferentes profundidades (0, 10, 20, 30, 50, 75 y 100 m) fueron analizadas en forma cuantitativa en el gradiente costa-oceano, para obtener la distribución vertical del fitoplancton en las estaciones 2, 5, 7 de Callao, mediante el método Utermöhl utilizando un microscopio invertido de luz y obteniendo las densidades celulares en cels.L^{-1} (IOC UNESCO, 2010). Para la determinación taxonómica de las especies fitoplanctónicas se utilizaron trabajos de BALECH (1988) y HASLE & SYVERTSEN (1996).

Bentos y geología

Se recolectaron muestras de sedimento para análisis geoquímico y de bentos en las estaciones 0, 2 y 5. Las muestras de macrofauna y de *Candidatus* Marithioploca spp., se obtuvieron por triplicado con una draga van Veen de 0,05 m^2 en las tres estaciones. A bordo se tamizaron las muestras con malla de 0,5 mm y se fijaron con formalina al 10%, neutralizado con bórax, para su análisis en el laboratorio (HOLME & McINTYRE, 1971; POHLE & THOMAS, 2005). Para el muestreo geoquímico y de foraminíferos bentónicos se empleó un minimultiscatostigos (MUC) Octopus® de 4 tubos. Las muestras se extruyeron *in situ* a fin de obtener los subtestigos que se utilizaron para los diferentes análisis. Los dos primeros centímetros se cortaron cada 0,5 cm y luego cada 1 cm hasta completar los 5 cm de profundidad. Las muestras recolectadas para foraminíferos fueron tratadas según el protocolo de RATHBURN & CORLISS (1994) considerando algunos criterios descritos en SCHÖNFELD *et al.* (2012). La distribución vertical de las especies en el sedimento (0-5 cm) fue elaborada con datos de una réplica.

stations (0 to 7) up to 50 miles. Dissolved oxygen was determined onboard using the Winkler method (CARRIT & CARPENTER 1966) and pH was measured with a Mettler Toledo potentiometer. In the laboratory, the nutrients were analyzed from the protocols of the Functional Area of Research in Chemical Oceanography and Geology (AFIOQG in Spanish). Chlorophyll-a data were obtained from the Modis-AQUA and VIIRS-SNPP satellite information and anomalies were taken from the Modis-AQUA, VIIRS-SNPP, Sea Wifs, Meris-ensat 1998-2016 climatology (Source: ocean color/NASA).

Plankton

Surface samples of phytoplankton were obtained at all stations by using the standard net (75 μm) and WP2 plankton net (300 μm) in circled surface trawls for 5 minutes. Samples obtained with Niskin bottle at different depths (0, 10, 20, 30, 50, 75, and 100 m) were analyzed quantitatively in the coast-to-ocean gradient, to obtain the vertical distribution of phytoplankton in stations 2, 5, 7 in Callao, through the Utermöhl method using an inverted light microscope and obtaining cell densities in cells.L^{-1} (IOC UNESCO, 2010). For the taxonomic determination of the phytoplankton species, the works of BALECH (1988) and HASLE & SYVERTSEN (1996) were used.

Benthos and geology

Sediment samples were collected for geochemical and benthic analysis at stations 0, 2, and 5. Macrofauna and *Candidatus* Marithioploca spp. samples were obtained in triplicate with a van Veen dredge of 0.05 m^2 at the three stations. Onboard, the samples were sieved with 0.5 mm mesh and fixed with 10% formalin, neutralized with borax, for laboratory analysis (HOLME & McINTYRE, 1971; POHLE & THOMAS, 2005). For the geochemical and benthic forams sampling, a 4-pipe video-guided multiple corer system (MUC) Octopus® was used. The samples were extracted *in situ* to obtain the sub-cores that were used for the different analyses. The first two centimeters were cut every 0.5 cm and then every 1 cm to complete the 5 cm of depth. The forams samples were treated according to the RATHBURN & CORLISS protocol (1994) based on some criteria described in SCHÖNFELD *et al.* (2012). The vertical distribution of the species in the sediment (0-5 cm) was elaborated with data from a replica.

La caracterización de los sedimentos se realizó a través del potencial Redox, contenido de MOT (CT y NT), carbonatos y clorofila-a (Cl-a). Las muestras (dos réplicas) para los análisis de clorofila-a se congelaron a -20°C . La estimación de clorofila-a y feopigmentos se realizó en el laboratorio. De 0,2 a 0,3 g de sedimento fueron mezclados con 5 mL de acetona al 90% (MANTOURA & LLEWELLYN, 1983) en un agitador tipo vórtex, para ser sonicados por 10 minutos. La centrifugación se realizó sometiendo la batería de muestras por 5 minutos a 3000 rpm, el procedimiento fue repetido dos veces; se diluyó una alícuota del extracto para lectura en el fluorómetro luego de adicionar dos gotas de HCl al 10%.

Se obtuvieron muestras de agua intersticial preservadas con 0,5 mL de acetato de zinc al 5% (fijador de H_2S). Las concentraciones de H_2S se determinaron por el método colorimétrico con azul de metileno (CLINE, 1969).

3. RESULTADOS

Vientos y afloramiento

La velocidad de los vientos en la zona central entre Chicama y Pisco de enero a octubre 2018 se presenta en la figura 2. Los vientos permiten caracterizar el forzante local del afloramiento costero. Los datos muestran el incremento entre abril y agosto, de débiles-moderados a moderados-fuertes en el invierno (4,8 y 10,7 m/s), con ocurrencia de episodios de intensificación y debilitamiento (vientos fuertes y débiles).

Sediment characterization was performed through Redox potential, MOT content (CT and NT), carbonates, and chlorophyll-a (Cl-a). The samples (two replicas) for the chlorophyll-a analyses were frozen at -20°C . The estimation of chlorophyll-a and phaeopigments was performed in the laboratory. From 0.2 to 0.3 g of sediment were mixed with 5 mL of 90% acetone (MANTOURA & LLEWELLYN, 1983) in a vortex agitator, to be sonicated for 10 minutes. Centrifugation was performed by submitting the battery of samples for 5 minutes at 3000 rpm, the procedure was repeated twice; an aliquot of the extract was diluted for reading in the fluorometer after adding two drops of 10% HCl.

Preserved interstitial water samples were obtained with 0.5 mL of 5% zinc acetate (H_2S fixation). H_2S concentrations were determined by the methylene blue colorimetric method (CLINE, 1969).

3. RESULTS

Winds and upwelling

Figure 2 shows the wind speed in the central zone of Peru between Chicama and Pisco from January to October 2018. It was possible to characterize the local forcing of the coastal upwelling through winds. The data show the increase between April and August, from weak-moderate to moderate-strong in winter (4.8 and 10.7 m/s), with episodes of intensification and weakening (strong and weak winds) at the different periods.

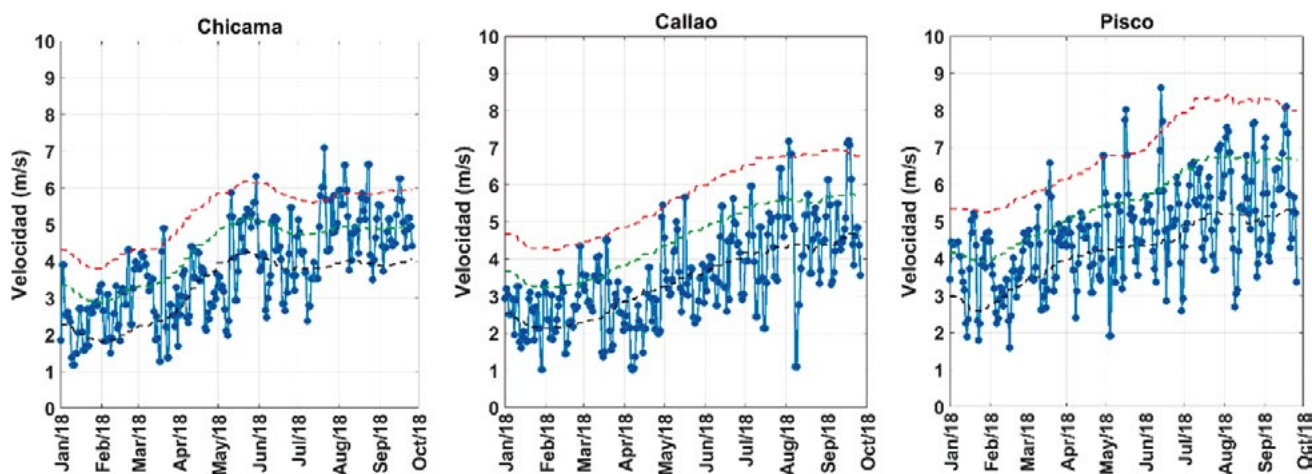


Figura 2.- Serie de velocidad del viento satelital (a 40 km frente a la costa del Perú) respecto a umbrales del primer y tercer cuartil pentadal (línea negra y roja) y climatología pentadal (1999 – 2017, línea verde). (Información satelital ASCAT)

Figure 2. Series of satellite wind speed (40 km off the coast of Peru) in relation to thresholds of the first and third quartile pentadal (black and red line) and pentadal climatology (1999 - 2017, green line). (ASCAT satellite information)

El IA presentó valores bajos en abril, $50 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 100 \text{ m}$, lo que concuerda con la intensidad débil a moderada de los vientos, mientras en agosto superaron $100 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 100 \text{ m}</math>. La persistencia del IA frente a Callao (vientos de intensidad mayor a $4 \text{ m/s}</math> y por más de 5 días) comparado con otras zonas de Perú, indica bajo porcentaje de persistencia en el período de verano e inicios de otoño, incrementándose hacia el invierno, alcanzando condiciones favorables al afloramiento en 90%, (Fig. 3).$$

Condiciones de temperatura y salinidad

Las condiciones de temperatura y salinidad y sus respectivas anomalías se presentan en la figura 4. La prospección realizada en abril 2018 mostró la condición oceanográfica caracterizada por predominio de Aguas Costeras Frías (ACF) en toda la transecta, condición característica de otoño, con bajas temperaturas en superficie, predominio de anomalías negativas (hasta $-2,0 \text{ }^\circ\text{C}</math>) y salinidades menores a 35,00 ups con anomalías neutras o ligeramente negativas. La isoterma de $15,0 \text{ }^\circ\text{C}</math> se presentó muy somera a menos de 40 m por fuera de las 20 mn y sobre los 20 m en la costa indicando un activo afloramiento costero.$$

En agosto, las condiciones se mantuvieron frías con temperaturas en rango de $15,4$ a $16,9 \text{ }^\circ\text{C}</math> y presencia de una isoterma somera de $15,0 \text{ }^\circ\text{C}</math>, aunque ligeramente profundizada con respecto al otoño, cerca de 50 m en la parte costera y de 60 m en la parte oceánica. Las anomalías muestran condiciones neutras en la costa y profundidad y, ligeramente negativas hacia la zona oceánica (Fig. 4).$$

Dentro de las 30 mn se presentaron salinidades menores a 35,00 ups, características de las ACF. Por fuera de las 40 mn se observó un núcleo con 35,14 ups indicando el acercamiento de Aguas Subtropicales Superficiales (ASS). Las anomalías muestran, al igual que la temperatura, condiciones neutras en la costa y profundidad y, ligeramente negativas mar afuera (Fig. 4).

The UI showed low values in April, $$50 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 100 \text{ m}$, which is consistent with the weak to moderate intensity of the winds, while in August they exceeded $100 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 100 \text{ m}</math>. The persistence of UI off Callao (winds of intensity greater than $4 \text{ m/s}</math> and lasting more than 5 days), as compared to other areas in Peru, indicates the low percentage of persistence in summer and early autumn, increasing towards winter, thus reaching conditions favorable to upwelling in 90% (Fig.3).$$$

Temperature and salinity conditions

Figure 4 shows the temperature and salinity conditions and their respective anomalies. In April 2018, the survey showed the oceanographic condition characterized by the predominance of Cold Coastal Waters (CCW) throughout the transect, which is a characteristic condition of autumn, with low surface temperatures, denoting a predominance of negative anomalies (up to $-2.0 \text{ }^\circ\text{C}</math>) and salinities less than 35.00 ups with neutral or slightly negative anomalies. The $15.0 \text{ }^\circ\text{C}</math> isotherm was very shallow at less than 40 m outside 20 nm and above 20 m on the coast indicating an active coastal upwelling.$$

In August, conditions remained cold with temperatures ranging from 15.4 to $16.9 \text{ }^\circ\text{C}</math> and the presence of a shallow $15.0 \text{ }^\circ\text{C}</math> isotherm, although slightly deepened in comparison to autumn, close to 50 m in the coastal part and 60 m in the oceanic part. The anomalies show neutral conditions on the coast and in the bottom and slightly negative towards the oceanic zone (Fig. 4).$$

There were salinities lower than 35.00 ups, within the 30 nm, which are typical of CCW. A nucleus of 35.14 ups was observed, outside the 40 nm, which is a sign of the approximation of Surface Subtropical Waters (SSW). The anomalies show, as well as the temperature, neutral conditions in the coast and at depth and slightly negative offshore (Fig. 4).

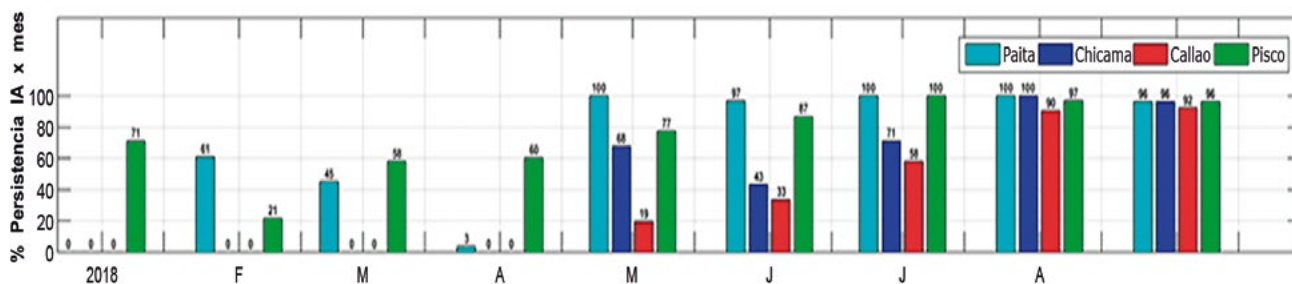


Figura 3.- Serie del porcentaje actividad del índice de Afloramiento Costero calculado con el viento satelital (a 40 km frente a la costa del Perú, Información satelital ASCAT)

Figure 3. Percentage activity series of the coastal upwelling index estimated with satellite wind (40 km off the Peruvian coast, ASCAT satellite information)

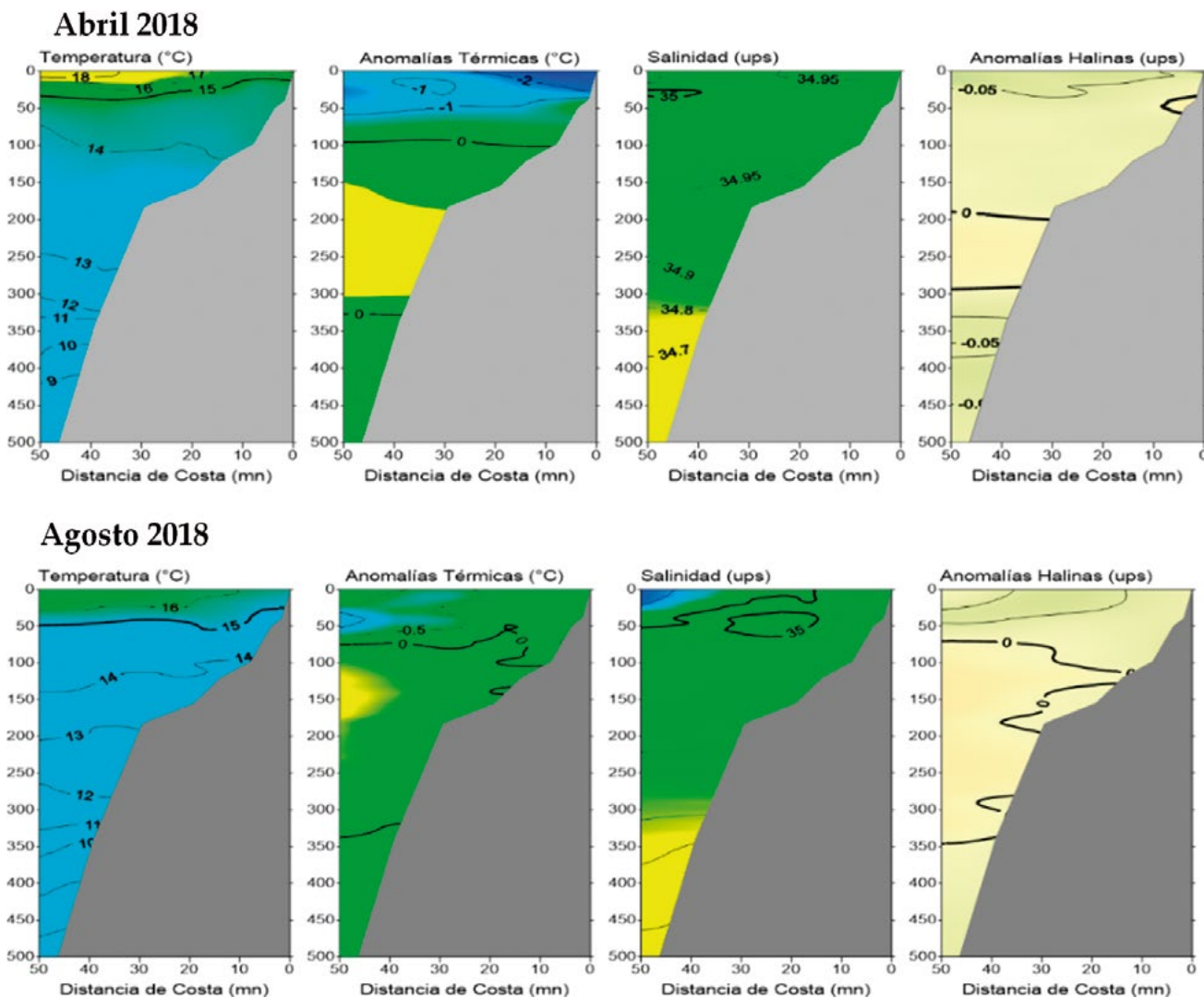


Figura 4.- Distribución vertical de la temperatura, salinidad y sus anomalías en la sección Callao. CRIQ abril y agosto 2019

Figure 4. Vertical distribution of temperature, salinity, and its anomalies in the Callao section. CRIQ April and August 2019

Condiciones químicas

Productividad, Clorofila-a satelital

Los datos satelitales de clorofila-a (mg/m^3) y su anomalía y el porcentaje de nubosidad, para abril y agosto 2018 se presentan en la figura 5. En abril se observó entre Chicama y Pisco, un núcleo con concentraciones de clorofila-a de aproximadamente $5,0 \text{ mg}/\text{m}^3$, mientras al norte y hacia el sur los valores fueron menores ($<3,0 \text{ mg}/\text{m}^3$). Las anomalías mostraron valores negativos en casi toda la franja costera, mientras que, por fuera se observaron núcleos positivos al norte, centro y sur, detectándose el frente de productividad por fuera del frente frío como se observó entre Chicama y Callao.

Chemical conditions

Productivity, Satellite Chlorophyll-a

Figure 5 shows the chlorophyll-a (mg/m^3) satellite data and its anomaly, and percentage of cloudiness for April and August 2018. In April, a nucleus with chlorophyll-a concentrations of approximately $5.0 \text{ mg}/\text{m}^3$ was observed between Chicama and Pisco, while to the north and south the values were lower ($<3.0 \text{ mg}/\text{m}^3$). The anomalies showed negative values in almost the entire coastal stripe while positive nuclei were observed to the north, center, and south, with the productivity front being detected outside the cold front as observed between Chicama and Callao.

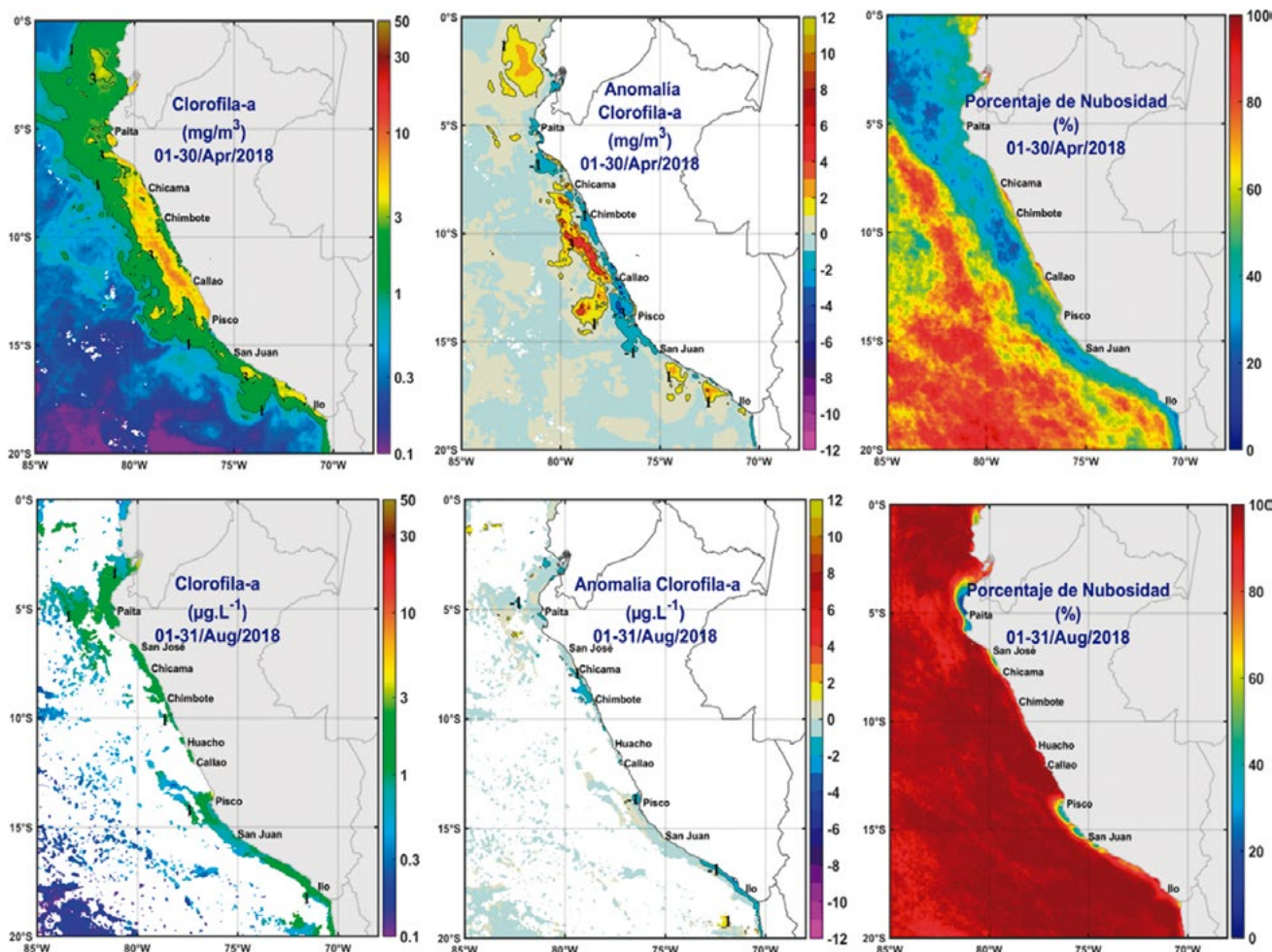


Figura 5.- Distribución superficial de Clorofila-a y anomalía (mg/m^3) para abril y agosto 2018; porcentaje de nubosidad a lo largo de la costa de Perú. Satélite MODIS-AQUA, VIIRS-SNPP. Climatología entre los años 2000-2015 de MODIS-AQUA, SEA WiFS, VIIRS-SNPP, MERIS-ENVISAT fusión en base a la estandarización de las reflectancias de los diferentes sensores

Figure 5. Surface distribution of Chlorophyll-a and anomaly (mg/m^3) for April and August 2018; percentage of cloudiness along the Peruvian coast. MODIS-AQUA, VIIRS-SNPP satellite. Climatology between 2000-2015 of MODIS-AQUA, SEA WiFS, VIIRS-SNPP, MERIS-ENVISAT, fusion based on the standardization of the reflectances of the different sensors

El porcentaje de nubosidad indicó un predominio de condiciones relativamente despejadas a lo largo de la costa de Perú ($< 20\%$) en abril 2018; sin embargo, en la zona más costera entre Chicama y Callao alcanzó valores mayores al 60% .

En agosto 2018, se observó la característica disminución de la clorofila-a con valores iguales o menores a $1 \text{ mg}/\text{m}^3$, lo que se asocia a nubosidad persistente mayor al 80% . La alta nubosidad dificulta la estimación de la clorofila-a satelital. Los resultados de clorofila-a *in situ* muestran valores mayores a $3,0 \mu\text{g}/\text{L}$ en abril, mientras que, en agosto se presentaron menores a $1,0 \mu\text{g}/\text{L}$ en toda la transecta.

El frente de productividad (distancia a la costa del límite entre una zona de mayor o menor

In April 2018, the percentage of cloudiness indicated a predominance of relatively clear conditions along the Peruvian coast ($< 20\%$). However, between Chicama and Callao the values at the coastal area increased, reaching values greater than 60% .

In August 2018, the characteristic decrease of chlorophyll-a was observed with values equal to or less than $1 \text{ mg}/\text{m}^3$, which is associated with persistent cloudiness greater than 80% . The high cloudiness hinders the estimation of satellite chlorophyll-a. *In situ* chlorophyll-a results show values greater than $3.0 \mu\text{g}/\text{L}$ in April, while in August they were less than $1.0 \mu\text{g}/\text{L}$ throughout the transect.

Between April and August, the productivity front (distance to the coast of the boundary between a zone of greater or lesser productivity determined

productividad dada por la isolénea de 1 mg/m^3) mostró cambios en su posición entre abril y agosto. En invierno se observó el repliegue hacia la costa que indica la menor extensión de las aguas productivas en relación al período de mayor productividad, que se observó en abril (Fig. 6).

Zona de Mínimo de Oxígeno (ZMO)

En relación a la distribución del oxígeno disuelto, en la superficie del mar y dentro de las 15 mn, en abril las concentraciones mostraron valores inferiores a $3,0 \text{ mL/L}$, que coincidió con valores de pH menores a $7,7$ e indicaron el afloramiento costero de ACF (Fig. 7). Afuera de las 15 mn se mantuvieron concentraciones bajas de oxígeno ($3,0 - 4,0 \text{ mL/L}$) y un ligero incremento en el pH indicando el efecto de mezcla de las ACF con la ASS. El límite superior de la ZMO ($< 0,5 \text{ mL/L}$) se encontró muy somero, por encima de los 20 m , en la celda activa del afloramiento y de los 30 m por fuera, observándose buen acoplamiento con la distribución de la isoterma de $15,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Condiciones bajas de pH ($< 7,8$) dominaron toda la columna de agua.

by the 1 mg/m^3 isoline) showed changes in its position. In winter, the withdrawal towards the coast was observed, which indicates the smaller extension of the productive waters as compared to the period of greater productivity, which was observed in April (Fig. 6).

Oxygen Minimum Zone (OMZ)

In April, the dissolved oxygen distribution at the sea surface and within 15 nm showed concentrations lower than 3.0 mL/L , which coincided with pH values lower than 7.7 and indicated the coastal upwelling of CCW (Fig. 7). Low oxygen concentrations ($3.0 - 4.0 \text{ mL/L}$) and a slight increase in pH indicated the effect of mixing between CCW and SSW outside 15 nm . The OMZ upper limit ($< 0.5 \text{ mL/L}$) was found very shallow, above 20 m , in the active cell of the upwelling and 30 m outside, with good coupling with the distribution of the $15.0 \text{ }^\circ\text{C}$ isotherm. Low pH conditions (< 7.8) dominated the entire water column.

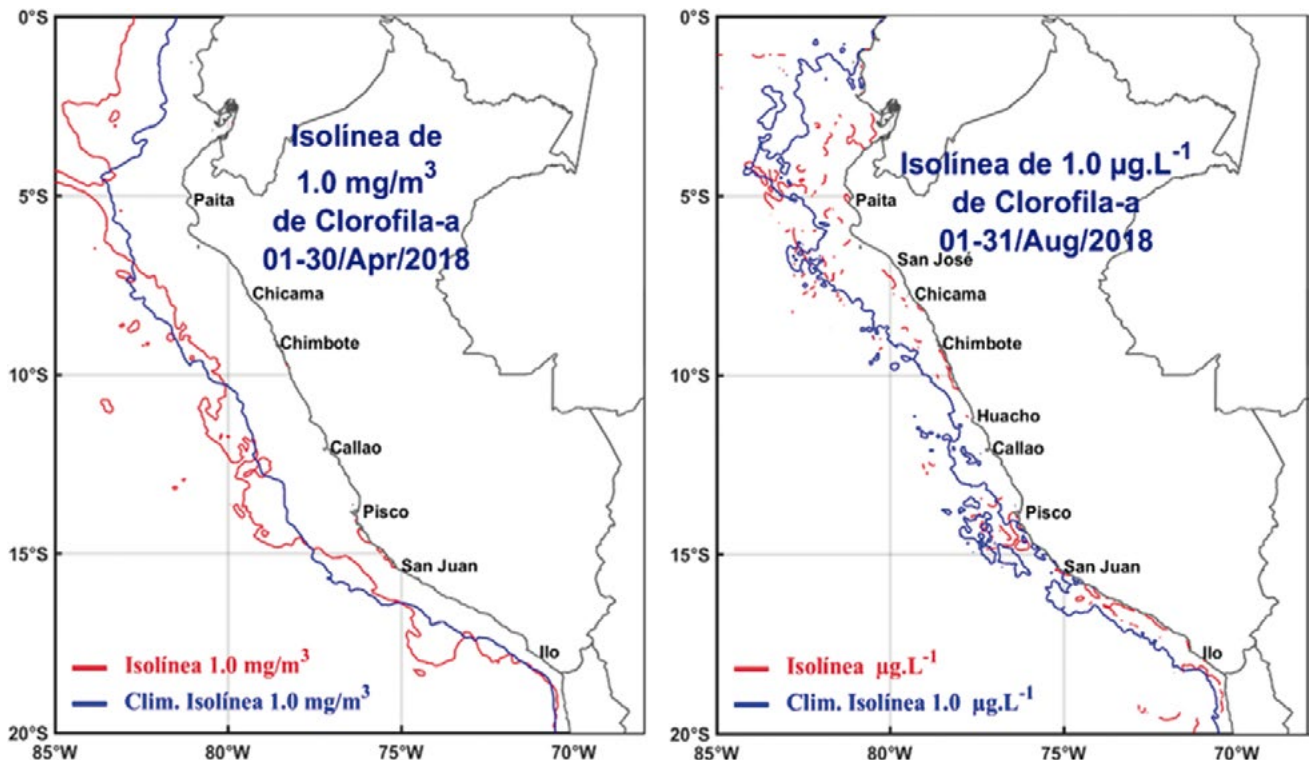


Figura 6.- Posición de la isolénea de 1 mg/m^3 de clorofila-a, a partir de información satelital (en abril y agosto 2018) MODIS-AQUA, VIIRS-SNPP

Figure 6. Chlorophyll-a 1 mg/m^3 isoline position from satellite information (April and August 2018) MODIS-AQUA, VIIRS-SNPP

En agosto en las primeras 20 mn se observaron bajas concentraciones de oxígeno (< 3,0 mL/L) incrementándose hacia afuera (> 5 mL/L). La ZMO, en la transecta costa-océano, se ubicó desde 15 m hasta 50 m de profundidad. En la capa de los primeros 30 m predominaron mayores valores de pH (> 7,8) y por debajo de los 30 m éstos fueron menores (<7,7) indicando el predominio de las ACF en la columna de agua aunque con valores ligeramente superiores a los registrados en abril (Fig. 7).

Las anomalías negativas de oxígeno, tanto en abril como en agosto, indicaron valores de oxígeno por debajo del promedio histórico, predominio de ACF y un activo afloramiento costero (Fig. 8). En agosto, hacia la parte oceánica se presentaron anomalías ligeramente positivas en la capa superficial que indicarían el acercamiento de las ASS y mayor oxigenación por encima de los 50 m.

Nutrientes

Las concentraciones de silicatos y nitratos en abril y agosto (Fig. 9) permitieron diferenciar dos periodos. En abril, los silicatos mostraron un claro gradiente que fue disminuyendo de la costa hacia la parte más oceánica, debido a que en la costa el efecto del afloramiento costero generó el incremento de este nutriente; su disminución (<5 µM) hacia la parte oceánica estuvo asociado a la mezcla con masas

In August, low oxygen concentrations (< 3.0 mL/L) were observed in the first 20 nm, increasing outwards (> 5 mL/L). The OMZ, in the coast-to-ocean transect, was located from a depth between 15 m to 50 m. In the first 30 m layer, higher pH values (> 7.8) predominated and below 30 m these were lower (< 7.7) indicating the predominance of CCW in the water column although with slightly higher values than those recorded in April (Fig. 7).

In April and August, negative oxygen anomalies indicated oxygen values lowers the historical value, predominance of CCW, and an active coastal upwelling (Fig. 8). In August, slightly positive anomalies of oxygen were observed offshore, this would indicate the approximation of SSW determining greater oxygenation above 50 m.

Nutrients

The concentrations of nutrients, silicates, and nitrates, obtained in April and August 2018 (Fig. 9) make it possible to differentiate between the two periods. In April, the silicates showed a clear gradient that was decreasing from the coast to the more oceanic area since the effect of the coastal upwelling generated the increase of this nutrient; its decrease (<5 µM) towards the oceanic area was associated to the mixing between oceanic water masses and to the

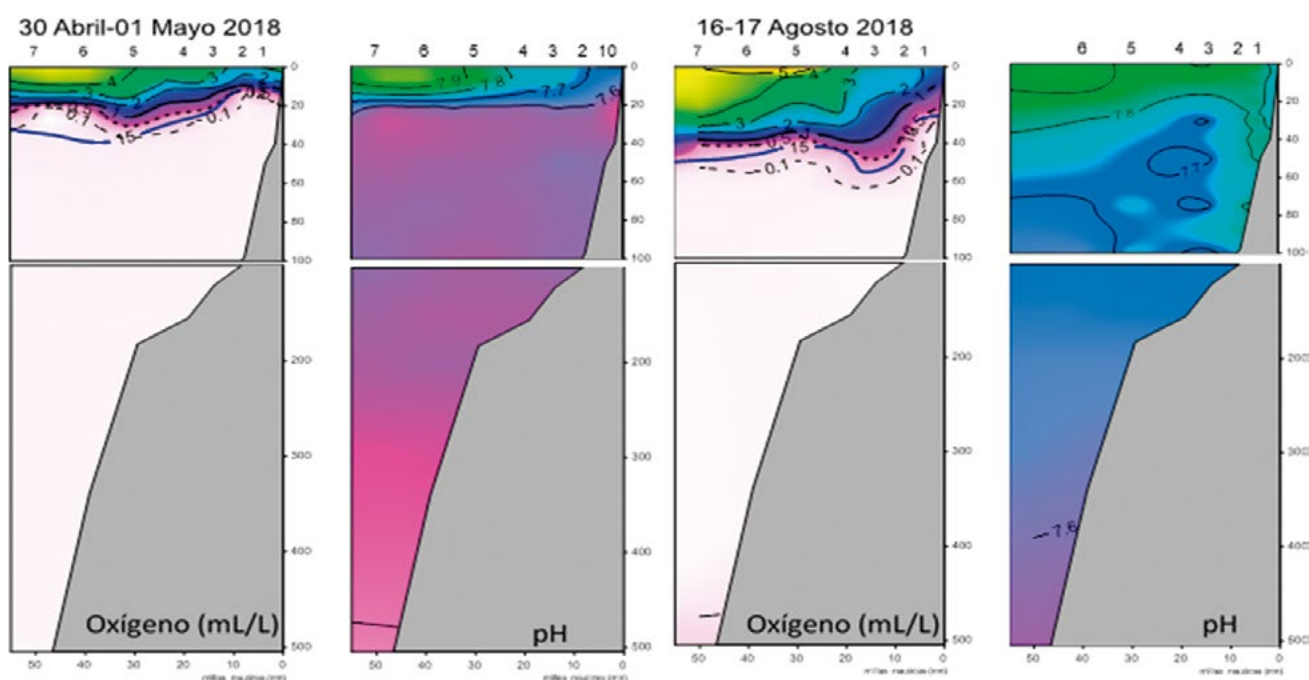


Figura 7.- Distribución vertical de oxígeno disuelto y pH en la línea Callao (estaciones 0-7) entre la costa y las 50 mn

Figure 7. Vertical distribution of dissolved oxygen and pH in the Callao line (stations 0-7) between the coast and 50 nm

de aguas oceánicas y al consumo efectuado por el fitoplancton. Sobre la plataforma este nutriente alcanzó la mayor concentración (>40 μM) que indicó alta remineralización de materia orgánica en un período de mayor productividad.

consumption made by the phytoplankton. On the shelf break, this nutrient reached the highest concentration (>40 μM) indicating high remineralization of organic matter in a period of higher productivity.

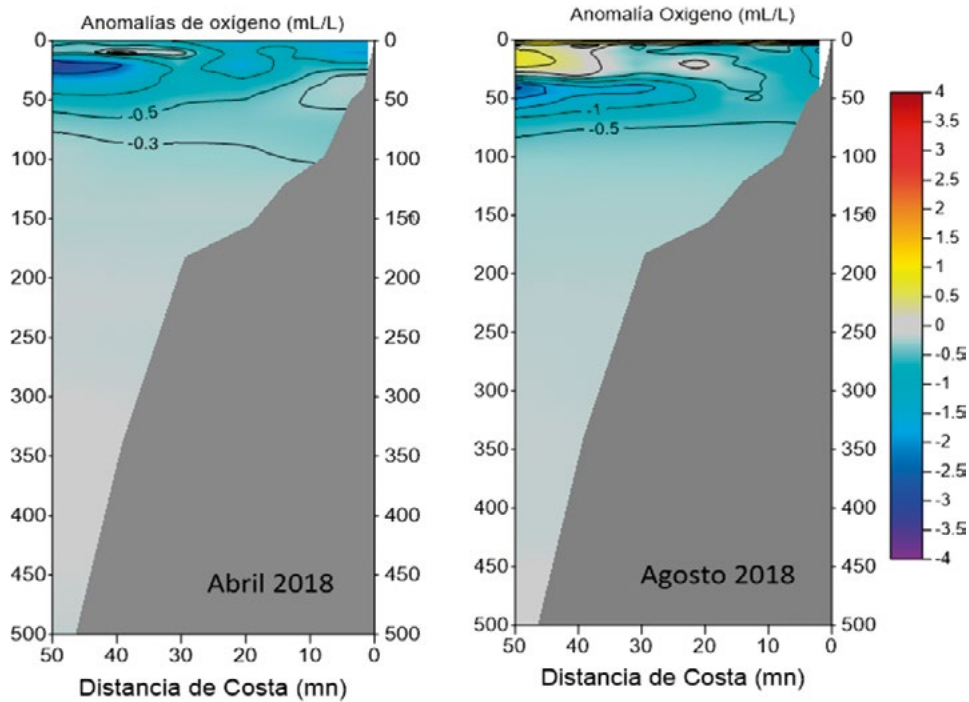


Figura 8.- Distribución vertical de la anomalía de oxígeno disuelto en la línea Callao

Figure 8. Vertical distribution of the dissolved oxygen anomaly in the Callao line

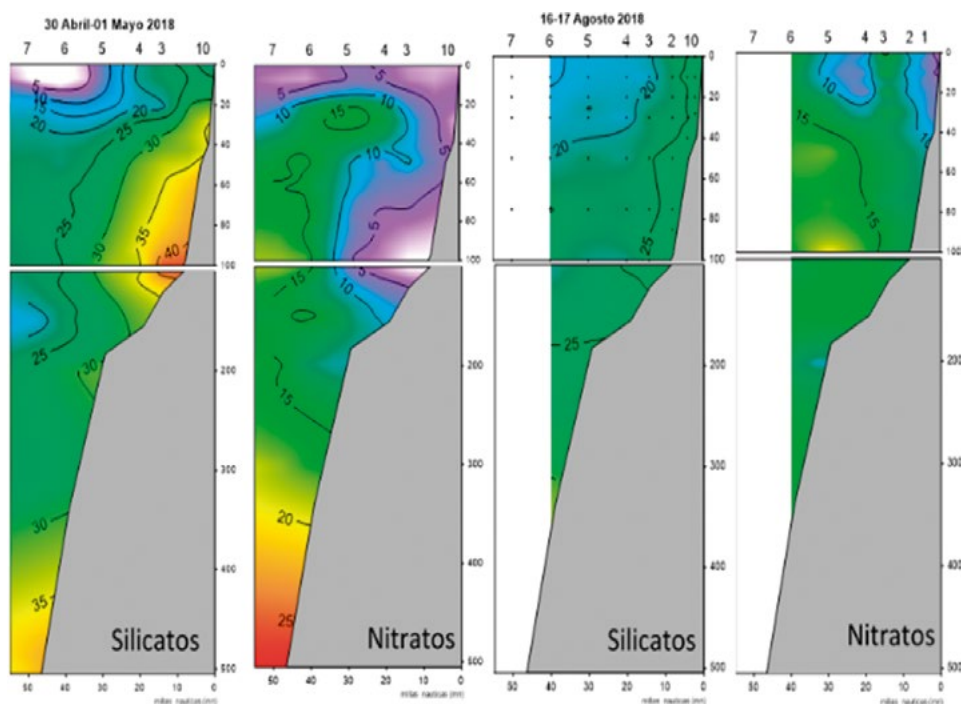


Figura 9.- Distribución vertical de silicatos y nitratos en la línea Callao

Figure 9. Vertical distribution of silicates and nitrates in the Callao line

Los nitratos presentaron otro comportamiento. En abril, tanto en la costa como en la parte oceánica, disminuyeron en la capa superficial debido a la productividad. La disminución en la costa se debió al afloramiento de aguas deficientes en oxígenos, las mismas que favorecen la pérdida de nitrógeno; lo que se corrobora con los bajos valores (<5,0 µM) de este nutriente sobre la plataforma.

En agosto el activo afloramiento costero de ACF se reflejó en altos valores de silicatos (> 30 µM) y nitratos (>10 µM) que se observó en el ascenso de las nutriclinas. Los silicatos si bien disminuyeron hacia la parte oceánica, mantuvieron sus altas concentraciones. En el caso de los nitratos hubo una ligera disminución sobre la plataforma pero más restringida a las estaciones costeras más someras, lo cual se asociaría con la pérdida de nitrógeno, pero en menor proporción que en otoño, que es una época de mayor productividad.

Comunidad biológica

Comunidad planctónica

La información obtenida con los arrastres frente a Callao en abril y agosto se complementó con información registrada en salidas bimestrales. El dinoflagelado *Protoperidinium obtusum* Parke & Dodge, 1976, que es indicador de Aguas Costeras Frías (ACF), se observó en febrero hasta las 20 mn y en abril hasta las 40 mn (Tabla 1), registrándose codominancia del microfitoplancton con zooplancton en la estación más costera y a 30 mn; mientras que el zooplancton predominó en el resto de la sección Callao.

En agosto *P. obtusum* estuvo restringido a las 3 mn (Tabla 1). La dominancia del fitoplancton se registró principalmente hasta las 15 mn; mientras que el zooplancton fue dominante en el resto de las estaciones.

The nitrates presented a different behavior. In April, they decreased in the surface layer, both on the coast and in the oceanic part, due to productivity. The decrease on the coast was caused by the upwelling of oxygen-deficient waters, which favor the loss of nitrogen; this is corroborated by the low values (<5.0 µM) of this nutrient on the shelf break.

In August, the active coastal upwelling of CCW was reflected in high values of silicates (> 30 µM) and nitrates (>10 µM) which were observed in the ascent of nutriclines. Although the silicates decreased towards the oceanic area, they maintained their high concentrations. Regarding nitrates, there was a slight decrease on the shelf break but more restricted to the shallower coastal stations, which would be associated with the loss of nitrogen, but in less proportion than in autumn, which is a period of higher productivity.

Biological community

Plankton community

The information obtained with the trawls off Callao in April and August was supplemented with information recorded in bimonthly departures. The dinoflagellate *Protoperidinium obtusum* Parke & Dodge, 1976, which is a Cold Coastal Waters (CCW) indicator, was observed in February up to 20 nm and in April up to 40 nm (Table 1). A co-dominance of microphytoplankton with zooplankton was recorded in the most coastal station and at 30 nm; while zooplankton predominated in the remainder stations of the Callao.

In August, *P. obtusum* was restricted to 3 nm (Table 1). The dominance of phytoplankton was mainly recorded up to 15 nm; while zooplankton was dominant in all other stations.

Tabla 1.- Indicadores biológicos de fitoplancton, Callao

Table 1. Biological indicators of phytoplankton, Callao

Fecha	Distancia a la costa (mn)						
	3	8	15	20	30	40	50
12-13 Feb 2018							
30 Abr-01 May 2018							
26-27 Jun 2018							
16-17 Ago 2018							

Leyenda

Protoperidinium obtusum (ACF)

Área no muestreada

Con respecto a los grupos fitoplanctónicos dominantes y los volúmenes presentes en los muestreos, el análisis cuantitativo a lo largo del año indicó cambios en la región costera, en la plataforma externa (30 mn) y en la parte oceánica (Fig. 10). La mayor abundancia de diatomeas se observó en febrero-abril (verano-otoño), cuando representaron aproximadamente el 80%, mientras en invierno predominó el nanoplancton- fitoflagelados tanto en la costa como en la parte oceánica.

Hacia las 30 mn se observó presencia de coccolitofóridos; en febrero alcanzaron casi 20%, contribuyendo a la alta densidad celular registrada. En el caso de los dinoflagelados la mayor abundancia se observó en la parte oceánica en el verano-otoño (Fig. 10).

Quantitative analysis, throughout the year, indicated changes in the coastal region, in the outer shelf break (30 nm), and in the oceanic region. These changes were related to the dominant phytoplankton groups and the volumes present in the sample (Fig. 10). In February-April (summer-autumn), it was observed the greatest abundance of diatoms which represented approximately 80%, while in winter nanoplankton-phytflagellates predominated both on the coast and in the oceanic part.

Towards 30 nm, coccolithophorids were abundant, reached almost 20% in February, contributing to the high recorded phytoplankton cell density. For dinoflagellates, the greatest abundance was observed in the oceanic waters during the summer-autumn (Fig. 10).

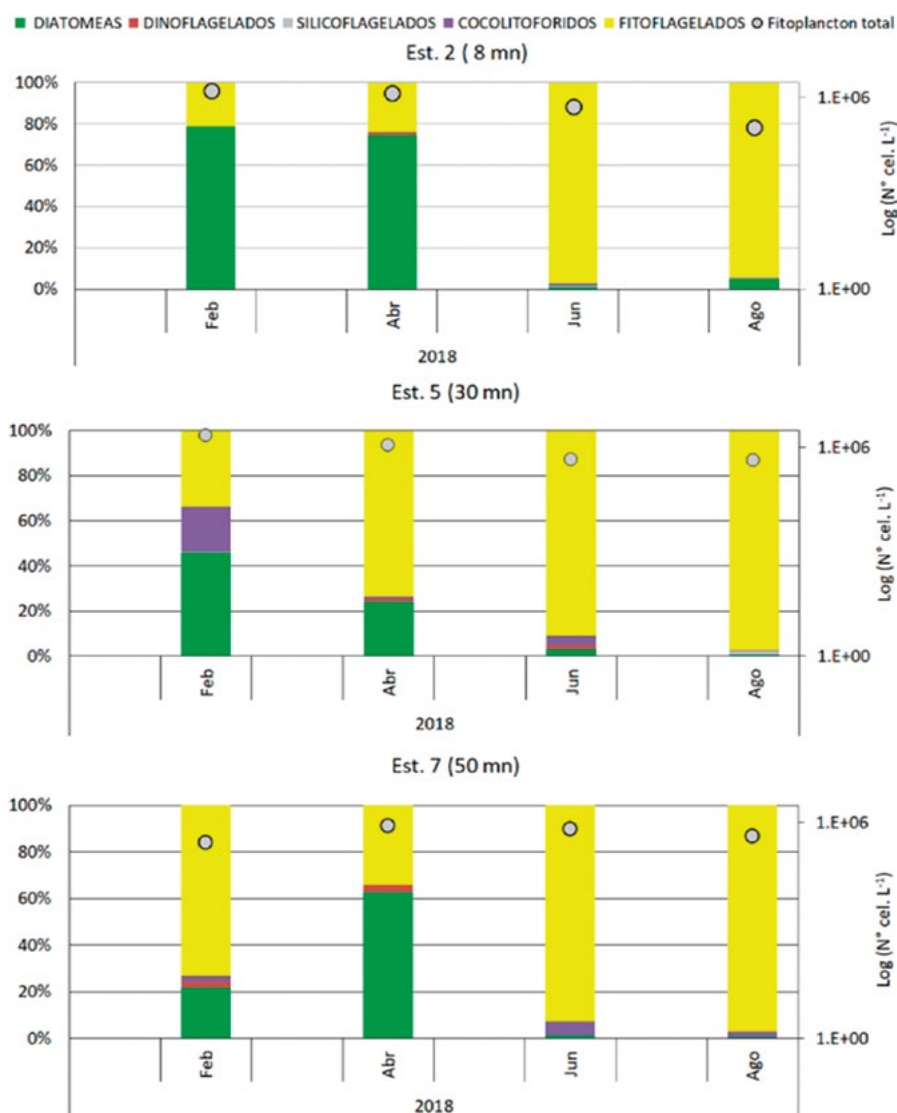


Figura 10.- Densidades celulares (escala logarítmica) y contribución porcentual de los principales grupos fitoplanctónicos a 10 m de profundidad frente a Callao a 8, 30 y 50 mn
 Figure 10. Cell densities (logarithmic scale) and percentage contribution of the main phytoplanktonic groups at a depth of 10 m off Callao at 8, 30, and 50 nm

La composición específica de la comunidad fitoplanctónica de abril (otoño) y agosto (invierno) para la estación costera y oceánica se presenta en las Tablas 2 y 3. En abril, tanto la costa como la parte oceánica, presentó predominio de diatomeas, con floraciones de especies dispuestas en cadena como *Leptocylindrus* cf. *minimus* Gran, 1915; *Leptocylindrus danicus* Schutt, 1900; *Skeletonema costatum* Cleve, 1873 y especies de fases iniciales características del afloramiento costero contribuyendo con el 75% y 63% en la estación más costera (Est. 2) y en la más oceánica (Est. 7). En el caso de la estación oceánica también se presentó, aunque en menor proporción, diatomeas de fase intermedia como *Entomoneis alata* v. *alata* Ehrenberg.

El grupo de dinoflagelados, durante el estudio no representó más del 3% siendo interesante que su mayor contribución ocurriera en la estación oceánica, con *Prorocentrum cordatum* Dodge, 1975 (Tabla 2), especie potencialmente tóxica y del dinoflagelado *Akashiwo sanguinea* Hansen & Moestrup, 2000.

Tables 2 and 3 presents the specific composition of the phytoplankton community in April (autumn) and August (winter) 2018. In April, both the coast and the oceanic areas were dominated by diatoms, with algal blooms of species arranged in a chain such as *Leptocylindrus* cf. *minimus* Gran, 1915; *Leptocylindrus danicus* Schutt, 1900; *Skeletonema costatum* Cleve, 1873 and early-stage species characteristic of coastal upwelling contributing 75% and 63% in the most coastal (Est. 2) and most oceanic (Est. 7) stations. Intermediate-stage diatoms such as *Entomoneis alata* v. *alata* Ehrenberg were also present, although to a lesser extent in the oceanic station.

During the study, dinoflagellates did not represent more than 3%. Their greater contribution occurred in the oceanic station, especially *Prorocentrum cordatum* Dodge, 1975 (Table 2), a potentially toxic species and the dinoflagellate *Akashiwo sanguinea* Hansen & Moestrup, 2000.

Tabla 2.- Composición específica del fitoplancton durante abril 2018 (especies más abundantes)

Table 2. Specific composition of phytoplankton in April 2018 (most abundant species)

ESTACION	2 (8 mn)	ESTACION	7 (50 mn)
Profundidad (m)	10	Profundidad (m)	10
Abundancias celulares	cel/L	Abundancias celulares	cel/L
DIATOMEAS		DIATOMEAS	
<i>Leptocylindrus</i> cf. <i>minimus</i>	596,000	<i>Leptocylindrus danicus</i>	436,000
<i>Skeletonema costatum</i>	256,000	<i>Entomoneis alata</i> v. <i>alata</i>	23,360
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	107,960	<i>Chaetoceros debilis</i>	16,360
Pennate (N.I.)	28,000	<i>Eucampia zoodiacus</i>	10,120
<i>Amphiprora</i> sp.	24,120	<i>Amphora</i> sp.	8,160
<i>Entomoneis alata</i> v. <i>alata</i>	11,680	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	4,720
Grupo <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	10,720	Grupo <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	3,880
<i>Chaetoceros debilis</i>	5,160	<i>Pseudo-nitzschia pacifica</i>	3,400
Otras especies	15,080	Otras especies	10,440
DINOFLAGELADOS		DINOFLAGELADOS	
<i>Prorocentrum cordatum</i>	7,760	<i>Prorocentrum cordatum</i>	17,280
<i>Gymnodinium</i> sp.	6,000	<i>Prorocentrum triestinum</i>	6,440
<i>Prorocentrum triestinum</i>	1,000	<i>Akashiwo sanguinea</i>	440
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	600	<i>Scrippsiella trochoidea</i>	280
FITOFLAGELADOS		FITOFLAGELADOS	
Fitoflagelados (N.I.)	336,000	<i>Eutreptiella gymnastica</i>	160
<i>Leucocryptos marina</i>	4,000	Fitoflagelados (N.I.)	280,000

Tabla 3.- Composición específica del fitoplancton durante agosto 2018 (especies más abundantes)

Table 3. Specific composition of phytoplankton in August 2018 (most abundant species)

ESTACION	2 (8 mn)	ESTACION	6 (40 mn)
Profundidad (m)	10	Profundidad (m)	10
Abundancias celulares	cel/L	Abundancias celulares	cel/L
DIATOMEAS		COCOLITOFORIDOS	
<i>Chaetoceros debilis</i>	2,080	<i>Emiliana huxleyi</i>	5,000
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	1,160	<i>Ophiaster hydroideus</i>	5,000
<i>Chaetoceros didymus</i>	880		
<i>Skeletonema costatum</i>	640	FITOFLAGELADOS	
Otras especies	1,300	Fitoflagelados (N.I.)	408,000
FITOFLAGELADOS			
Fitoflagelados (N.I.)	112,000		

En agosto (invierno) las mayores abundancias fueron de fitoflagelados (Fig. 10). Se observó mayor contribución en la costa, de diatomeas centrales de afloramiento y de fases iniciales de sucesión como *Chaetoceros debilis* Cleve, 1894, *Chaetoceros lorenzianus* Grunow, 1863, *Chaetoceros didymus* Ehrenberg, 1845 (Tabla 3).

En la estación oceánica se observó el mayor desarrollo de cocolitofóridos como *Emiliana huxleyi* Hay & Mohler, 1967 y *Ophiaster hydroideus* Lohmann, 1913. Estas especies fueron registradas anteriormente en el área, alcanzando mayor abundancia y distribución más costera durante condiciones Niño y un máximo impacto durante El Niño costero 2017. La mayor abundancia se asocia con un ambiente de mayor pH, como el de las ASS.

Comunidad bentónica

El análisis de la macrofauna y abundancia de los principales grupos en la estación costera frente a Callao (estación 2) se presenta en la figura 11. En general se puede observar que la abundancia, especialmente en abril 2018, presenta una reducción significativa comparada con el año 2017.

En relación a los poliquetos, *Magelona phyllisae* Jones, 1963 presentó amplia dominancia porcentual alcanzando cerca del 100%, tanto en abril como en agosto 2018, siendo los valores más altos observados desde el año 2016, con valores reducidos de *Hermundura fauveli* Berkeley y Berkeley, 1941. En agosto 2017 y 2016, *Paraprionospio pinnata* Ehlers, 1901 fue el de mayor dominancia (Fig. 11a).

En relación a la biomasa (g/m²) los valores se mantienen por debajo de 5 g/m², en cuanto a contribución porcentual de biomasa húmeda, *M. phyllisae* y los Nemertea tuvieron porcentajes similares en abril 2018; mientras que, en agosto 2018, *H. fauveli* (más de 60%), Nemertea (20%) y *M. phyllisae* (10%) fueron los dominantes (Fig. 11).

In August (winter), phytoflagellates showed the highest abundances (Fig. 10). A greater contribution was observed on the coast from central diatoms of upwelling and early succession stages such as *Chaetoceros debilis* Cleve, 1894, *Chaetoceros lorenzianus* Grunow, 1863, *Chaetoceros didymus* Ehrenberg, 1845 (Table 3).

The maximum development of coccolithophorids, such as *Emiliana huxleyi* Hay & Mohler, 1967 and *Ophiaster hydroideus* Lohmann, 1913, was observed in the oceanic station. These species were previously recorded in the area, reaching greater abundance and more coastal distribution during El Niño conditions and maximum impact during El Niño Costero 2017. Greater abundance is associated with a higher pH environment, such as SSW.

Benthic community

The analysis of the macrofauna and abundance of the main groups in the coastal station off Callao (station 2) is presented in Figure 11. In general, it can be observed that abundance, especially in April 2018, shows a significant reduction compared to 2017.

In April and August 2018, the polychaete *Magelona phyllisae* Jones, 1963 presented a wide percentage dominance reaching close to 100% being the highest values observed since 2016, with reduced values of *Hermundura fauveli* Berkeley & Berkeley, 1941. In August 2017 and 2016, *Paraprionospio pinnata* Ehlers, 1901 was the most dominant (Fig. 11a).

Regarding biomass (g/m²) the values remain below 5 g/m², in terms of percentage contribution of wet biomass, *M. phyllisae* and Nemertea had similar percentages in April 2018, while in August 2018, *H. fauveli* (more than 60%), Nemertea (20%), and *M. phyllisae* (10%) were dominant (Fig. 11).

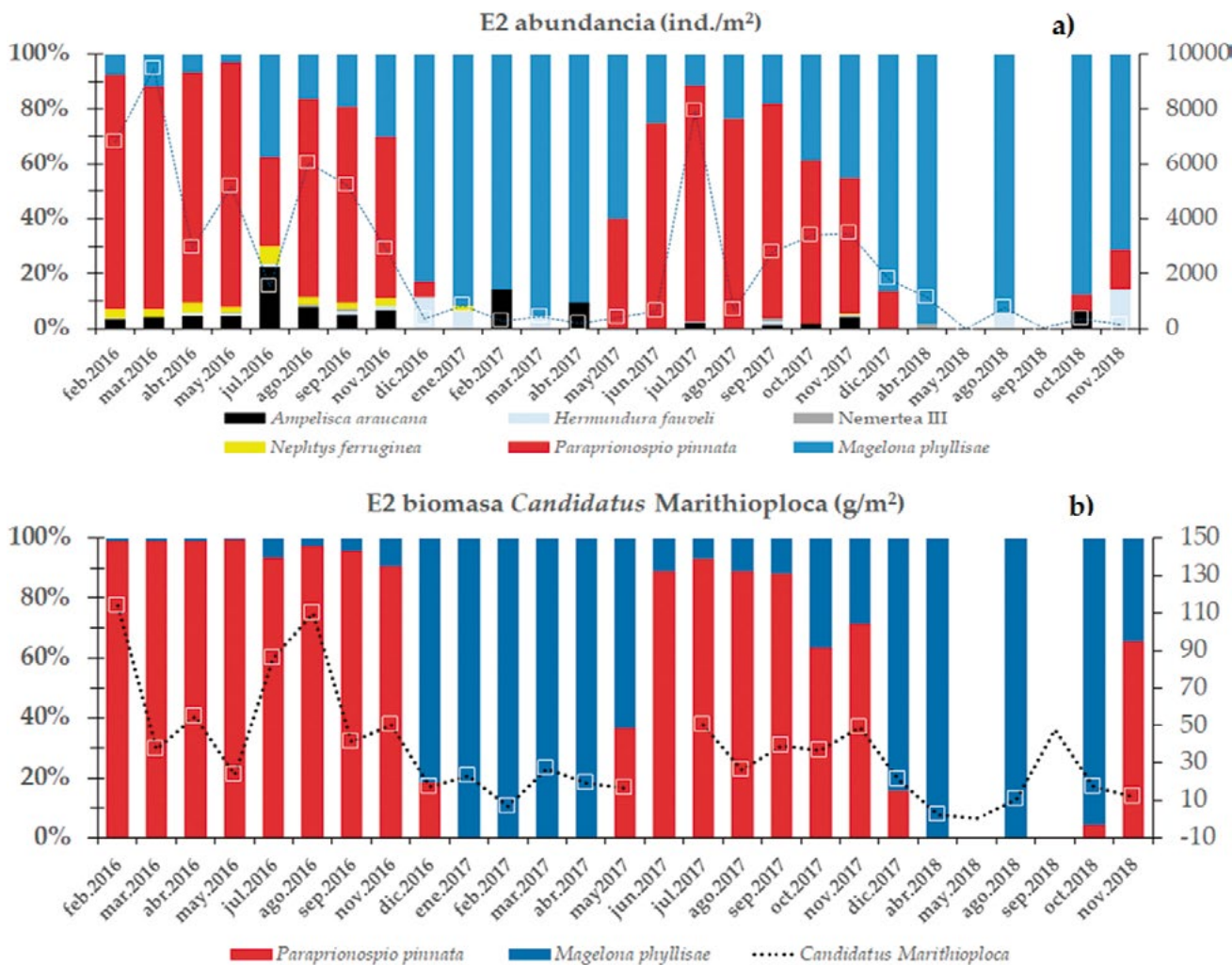


Figura 11.- Abundancia de individuos y contribución porcentual de los principales grupos de macrofauna y biomasa de *Candidatus Marithioploca* (g/m²) y porcentaje en relación a los grupos dominantes frente a Callao E2 a 8 mn AFIOB, LBM, IMARPE

Figure 11. Abundance of individuals and percentage contribution of the main macrofauna and biomass groups of *Candidatus Marithioploca* (g/m²) and percentage in relation to the dominant groups off Callao E2 at 8 nm AFIOB, LBM, IMARPE

Desde diciembre de 2017, en el bacteriobentos *Candidatus Marithioploca*, se observó un descenso importante. En abril y mayo 2018 la biomasa húmeda mostró los menores valores registrados en los dos últimos años, lo que se mantuvo en agosto 2018 (Fig. 11b). Esto indica y confirma la mayor presencia de *P. pinnata* con relación a la mayor biomasa de *Candidatus Marithioploca*, mientras que con *M. phyllisae* la relación es inversa, y se asociaría con un ambiente ligeramente más oxigenado y cambios en la disponibilidad de materia orgánica. Es interesante observar en mayo y septiembre 2018, a partir de la información obtenida en el punto fijo Callao (E2) la defaunación que, a su vez, se asocia en septiembre con el incremento de *Candidatus Marithioploca*. El ambiente bentónico y la macrofauna aparecen como indicadores muy

Since December 2017, a significant decrease was observed in the bacteriobenthos *Candidatus Marithioploca*. In April and May 2018, the wet biomass showed the lowest values recorded in the last two years, which was maintained in August 2018 (Fig. 11b). This indicates and confirms the greater presence of *P. pinnata* in relation to the greater biomass of *Candidatus Marithioploca*, while with *M. phyllisae* the ratio is inverse. These patterns would be associated with a slightly more oxygenated environment and changes in the organic matter availability. In May and September 2018, from the information obtained at Callao (E2), it is interesting to observe the defaunation that, in turn, is associated in September with the increase of *Candidatus Marithioploca*. The benthic environment and the macrofauna appear as

sensibles a los cambios y con capacidad de dar respuesta. Por otra parte, dado sus ciclos de vida pueden reflejar condiciones previas asociadas a sus períodos de reclutamiento. Estos aspectos se están investigando.

En relación al estudio de foraminíferos, el grupo de los calcáreos es el de mayor contribución tanto en la estación costera como oceánica en ambos períodos (Fig. 12). En tanto que, los aglutinados no se observaron, a diferencia de El Niño 2015-2016 en que fueron muy abundantes. A nivel específico, *Bolivina seminuda* Cushman, 1911 y *Bolivina costata* Cushman, 1926 fueron significativas en abril de 2018 en la estación más costera (E2) seguida por *Buliminella tenuata* Cushman, 1927 y *Nonionella auris* (d'Orbigny, 1839). Por su parte, *B. seminuda* se observó desde principios del evento El Niño costero, mientras que en el período de invierno dominó *B. costata*.

En abril, la comunidad en la estación más oceánica (E5), estuvo dominada por *B. seminuda* y *B. tenuata* y, en menor fracción por *Bolivina pacifica* Cushman & McCulloch, 1942 seguida de *N. auris*.

very sensitive indicators to benthic changes. On the other hand, given their life cycles, they may reflect previous conditions associated with their recruitment periods. These aspects are currently being investigated.

Regarding the study of forams, the calcareous group has the main contribution both in the coastal and oceanic stations in both periods (Fig. 12). The agglutinated ones were not observed, unlike El Niño 2015-2016 when they were very abundant. At the species level, *Bolivina seminuda* Cushman, 1911 and *Bolivina costata* Cushman, 1926 had a significant abundance in April 2018 in the most coastal station (E2) followed by *Buliminella tenuata* Cushman, 1927 and *Nonionella auris* (d'Orbigny, 1839). On the other hand, *B. seminuda* was observed from the beginning of the El Niño Costero event, while in the winter period *B. costata* dominated.

In April, *B. seminuda* and *B. tenuata* and, to a lesser extent, by *Bolivina pacifica* Cushman & McCulloch, 1942 followed by *N. auris* dominated the community at the most oceanic station (E5).

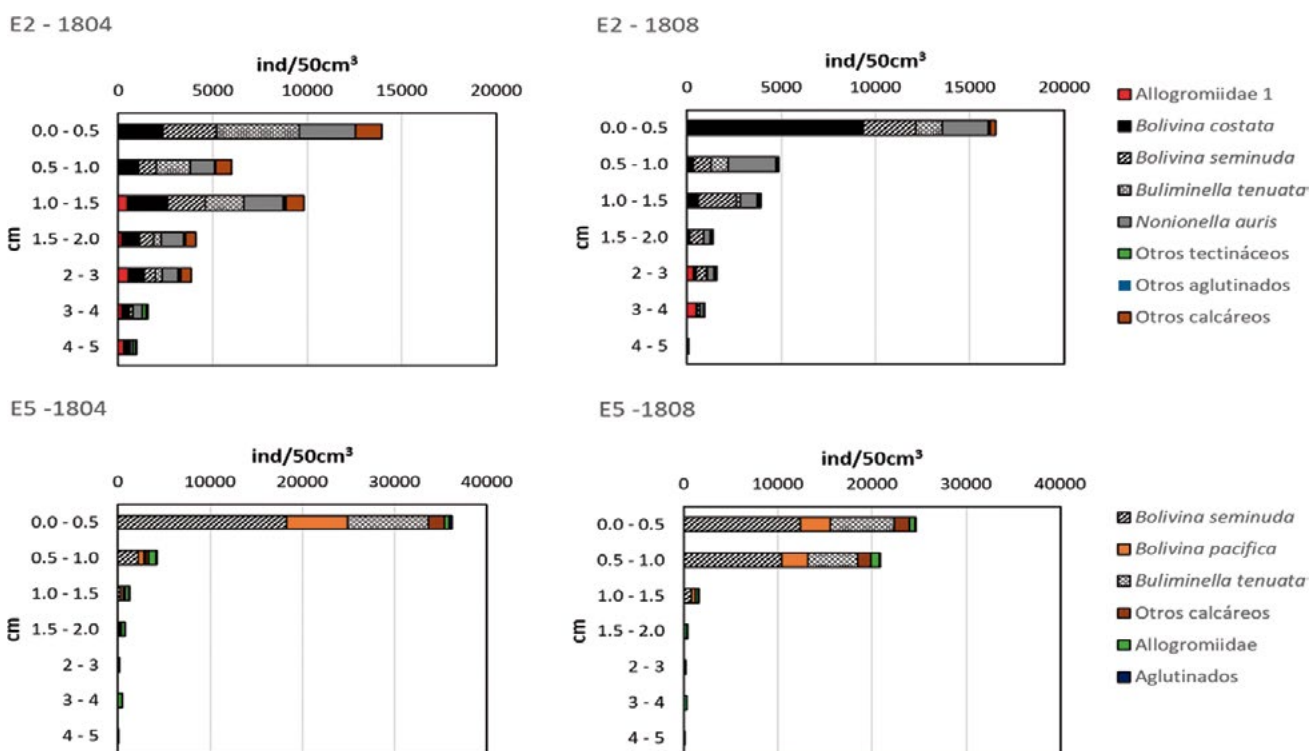


Figura 12.- Distribución vertical de foraminíferos bentónicos en la columna de sedimento (0-5 cm) de la estación 2 y 5, Callao en abril y agosto 2018

Figure 12. Vertical distribution of benthic forams in the sediment column (0-5 cm) of stations 2 and 5, Callao in April and August 2018

Contenido de Clorofila-a en sedimento marino y aspectos biogeoquímicos

En relación a las condiciones biogeoquímicas en el sedimento, el análisis de la clorofila-a en abril e inicio del invierno 2018 mostró el cambio estacional, alcanzando valores aproximados de 20 µg Chla/g en la época productiva y disminuyendo hacia el invierno, alcanzando un valor de 8,5 µg Chla/g (Fig. 13). Los valores son menores a los del año 2015 en el período productivo, mientras que en el invierno son comparables.

Los sedimentos marinos recolectados frente a Callao, en las estaciones E0, E2 y E5, se caracterizaron por su color verde grisáceo oscuro y negro grisáceo, siendo propio de suelos donde la actividad sulfato reductora es intensa y el potencial redox fluctúa entre -100 mv y -158 mv (Tabla 4). En el caso de las estaciones más costeras se observó mayor producción de sulfuros de hidrógeno en relación a la plataforma externa, existiendo también cambio estacional asociado a la productividad.

El análisis del agua intersticial mostró los cambios redox en la columna de sedimento para las estaciones costeras y en la plataforma externa en abril y agosto 2018 (Tabla 5). Se observó en el caso de los sedimentos del Callao la condición redox negativa que se intensificó en profundidad indicando sedimento con características reductoras resultado de la condición

Chlorophyll-a content in marine sediment and biogeochemical aspects

Regarding the biogeochemical conditions in the sediment, the analysis of chlorophyll-a in April and early winter 2018 showed the seasonal change, reaching values of approximately 20 µg Chla/g in the productive season and decreasing towards winter reaching a value of 8.5 µg Chla/g (Fig. 13). The values are lower than those of 2015 in the productive period, while in the winter they are similar.

The marine sediments collected off Callao, at stations E0, E2, and E5 were characterized by their dark grayish-green and grayish-black colors, being typical of soils where the reducing sulfate activity is intense and potential redox fluctuates between -100 mv and -158 mv (Table 4). It was observed that the production of hydrogen sulfides was higher in the coastal sediments as compared to the outer shelf break, and there was also a seasonal change associated with productivity.

In April and August 2018, the pore-water analysis showed redox changes in the sediment column between the coastal and on the outer shelf break stations (Table 5). Negative redox condition that intensified in depth indicating sediment with reducing characteristics resulting from

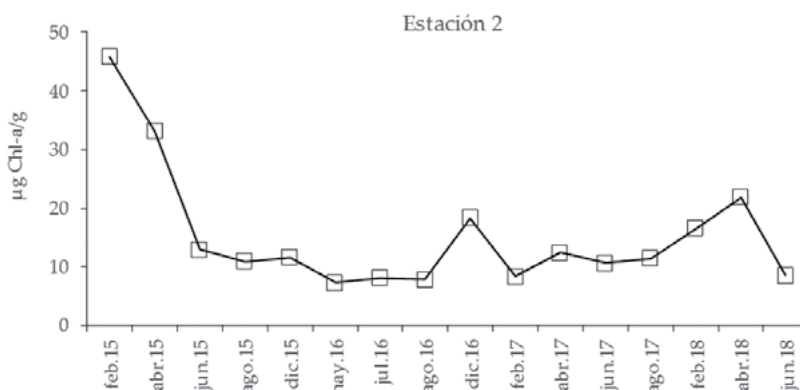


Figura 13.- Serie de tiempo de clorofila-a superficial en sedimentos de la estación 2, Callao entre febrero 2015 y junio 2018

Figure 13. Surface chlorophyll-a time series in station 2 sediments, Callao between February 2015 and June 2018

Tabla 4.- Características biogeoquímicas del sedimento frente a Callao

Estación	Fecha	Profundidad	Redox	MOT %	CT%	NT%	CaCO ₂ %	C/N	H ₂ S
0	30/04/2018	30	-89	8,94	3,94	0,53	18,14	7,44	135,09
2	01/05/2018	85	-109	13,04	4,88	0,67	15,73	7,28	12,087
5	02/05/2018	150	-140	28,04	6,32	0,89	20,45	7,10	
0	16/08/2018	30	-220	9,91	3,94	0,62	19,46	6,35	
2	17/08/2018	85	-61	14,01	5,68	0,75	27,22	7,57	0,15
5	02/07/2018	150	-140	30,47	6,25	0,98	12,55	6,37	1,68

deficiente en oxígeno que baña los sedimentos y a su vez de la disponibilidad de materia orgánica fresca que favorece la sulfato reducción.

En agosto, período de invierno, si bien se mantuvo la condición redox se observó que los valores mayores se encontraron más profundos, posiblemente resultado de la menor disponibilidad de materia orgánica fresca en las capas superficiales.

En relación al pH se observó el mismo patrón, aumentando en profundidad. Las condiciones de mayor "acidez" o pH más bajo se encontraron en superficie, en abril la estación más costera es la que presentó los menores valores comparado con agosto (Tabla 5, Fig. 14). Es la consecuencia de la mayor producción de CO₂ resultado de la remineralización de la materia orgánica; hacia la profundidad se contrarrestó con el efecto del incremento de la sulfato reducción.

the oxygen-deficient condition and the high availability of fresh organic matter that favors sulfate reduction was observed in the sediments from Callao.

In August (winter period) while the redox condition was maintained, it was observed that the higher values were found deeper, possibly resulting from the lower availability of fresh organic matter in the surface layers.

Regarding pH, the same pattern was observed, increasing in-depth. In April, the conditions of greater "acidity" or lower pH were found on the surface (Table 5, Fig. 14). Lower pH consequence of the higher CO₂ production resulting from the remineralization of the organic matter. Towards the depth, it was counteracted by the effect of the sulfate reduction that increased.

Tabla 5.- Características de la columna de sedimento (potencial Redox) y del agua intersticial (pH) CRIO Abril 2018 y agosto 2018

Table 5. Characteristics of sediment column (Redox potential) and interstitial water (pH) CRIO April 2018 and August 2018

ABRIL 2018 LÍNEA CALLAO					AGOSTO 2018 LÍNEA CALLAO				
Estación	Profundidad (m)	Redox (mV)	Profundidad (m)	pH	Estación	Profundidad (m)	Redox (mV)	Profundidad (m)	pH
E 0	0	36	0-1	6,52	E 2	0	-61	0-1	6,79
	-2	-122	1-2	6,92		-2	-135	1-2	6,68
	-3	-179	2-3	7,32		-3	-78	2-3	6,90
	-5	-396	3-4	7,54		-5	-177	3-4	6,95
	-8	-429	4-5	7,63		-8	-132	4-5	6,48
	-10	-240	5-6	7,52		-10	-321	5-6	7,09
	-13	-456	6-7	7,38		-13		6-7	6,98
			7-8	7,83				7-8	6,97
			8-9	7,63				8-9	7,05
E 2	0	40	0-1	6,37	E 5	0	33	0-1	6,26
	-2	-100	1-2	7,16		-2	26	1-2	6,35
	-3	-140	2-3	7,15		-3		2-3	6,43
	-5	-363	3-4	7,17		-5	-103	3-4	6,44
	-8	-200	4-5	7,14		-8	-148	4-5	6,46
	-10	-385	5-6	7,31		-10	-288	5-6	6,48
	-13	-258	6-7	7,42		-13		6-7	6,50
			7-8	7,43				7-8	6,53
			8-9	7,45				8-9	6,80
E 5	0	49	0-1	7,19			9-10	7,06	
	-2	-94	1-2	7,23					
	-3	-348	2-3	7,27					
	-5	-297	3-4	7,30					
	-8	-389	4-5	7,65					
	-10	-197	5-6	7,65					
	-13	-428	6-7	7,66					
			7-8	7,76					
			8-9	7,79					
		9-10	7,92						

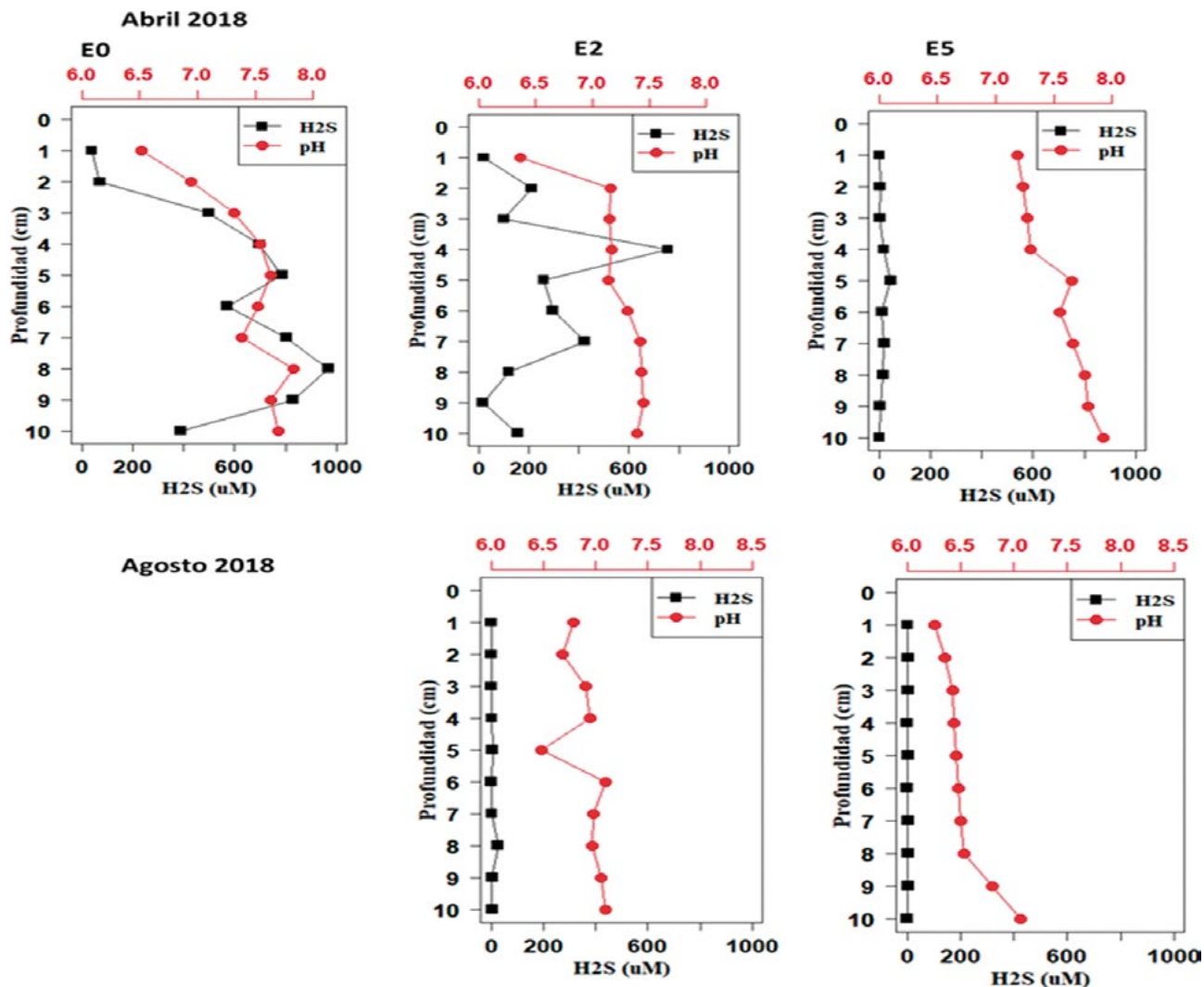


Figura 14.- Perfiles verticales de H₂S y pH en la el agua intersticial de los sedimentos frente a Callao. Abril 2018: E0, E2 y E5 y en agosto 2018: E2 y E5

Figure 14. Vertical profiles of H₂S and pH in the interstitial water of the sediments off Callao. April 2018: E0, E2, and E5 and in August 2018: E2 and E5

Finalmente, en agosto los resultados de H₂S en la zona costera mostraron bajos valores, como resultado de la menor disponibilidad de materia orgánica, lo que es propio del cambio de estación. También se observó disminución de clorofila en el sedimento (Fig. 13). En invierno se registró una significativa disminución del pH.

4. DISCUSIÓN

Los cruceros CRIO frente a Callao permitieron caracterizar en el año 2018 las condiciones del período otoño, de mayor productividad, e invierno, de mayor afloramiento, para la zona central de Perú. El 2018 presentó a inicios de año condiciones frías, resultado del evento La Niña y posteriormente la tendencia a la normalización que se observó desde el invierno (ENFEN, 2018). A diferencia de

Finally, the H₂S results in the coastal zone showed low values in August, as a consequence of the lower availability of organic matter, which is characteristic of the change of season. A decrease in chlorophyll was also observed in the sediment (Fig. 13). In winter, there was a significant decrease in pH.

4. DISCUSSION

In 2018, the Intensive Oceanographic Cruises (CRIO in Spanish) off Callao made it possible to characterize the oceanographic conditions during greater productivity, autumn period, and greater upwelling intensity, winter, for the central zone of Peru. In early 2018, cold conditions emerged as a result of the La Niña event and since winter, a tendency to normalization observed (ENFEN,

los años 2015-2016 y 2017 (GRACO *et al.*, 2016) el año 2018 no presentó un evento El Niño, aunque en algunos meses se observó el impacto de ondas Kelvin cálidas (ENFEN, 2018). Los vientos fueron variables durante el año, en abril presentaron intensidades débiles y moderadas predominando valores menores a 4 m/s sugiriendo una menor persistencia del afloramiento costero (< 20%) en la zona central. Hacia el invierno se intensificaron los vientos, alcanzando en agosto intensidades de vientos moderados a fuertes (> 5 m/s) y una alta persistencia del afloramiento costero (> 90%) que se mantuvo hasta fin de año.

En general, durante el estudio, las condiciones oceanográficas indicaron en la zona costera central la presencia de Aguas Costeras Frías (ACF, salinidad <35,1 ups). En abril, en toda la transecta predominaron temperaturas menores a 18 °C y anomalías negativas. En agosto, si bien se observó un afloramiento costero activo, también se acercaron Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) lo cual se manifestó en condiciones de anomalías positivas por fuera de las 40 mn. La isoterma de 15 °C se distribuyó muy somera, en abril por encima de los 30 m y de los 50 m en agosto, ascendiendo hacia la superficie en las primeras mn por efecto de un afloramiento muy costero.

Las condiciones químicas, indicaron un núcleo del afloramiento costero en las primeras estaciones (15 mn), con bajas concentraciones de oxígeno en la superficie. Por su parte, la distribución de la ZMO y la posición de las isoxígenas de 1,0 mL/L y 0,5 mL/L se presentaron someras, con un límite superior por encima de los 30 m en abril, mientras en invierno se profundizó alcanzando los 50 m en la parte oceánica. La posición somera de la ZMO sigue lo encontrado en estudios previos, en los inviernos puede profundizarse por la intensificación de vientos que favorecen mayor turbulencia y menor productividad de la columna de agua (GRACO *et al.*, 2017); e incluso desaparecen de la plataforma durante el Niño (LEDESMA, 2011; GRACO *et al.*, 2017). La distribución de la ZMO sigue la de la isoterma de 15 °C y la presencia de las ACF. La mayor profundización de la ZMO en invierno, las anomalías de oxígeno y los altos valores de PH hacia la parte oceánica, corroboraron el acercamiento de las ASS.

En relación a los nutrientes, altos silicatos se presentaron dentro de las 20 mn que al igual que el bajo oxígeno indicaron el afloramiento de ACF. El incremento en abril de silicatos sobre la plataforma reflejó la intensa remineralización que

2018). Unlike 2015-2016 and 2017 (GRACO *et al.*, 2016) 2018 did not present an El Niño event, although in some months the impact of warm Kelvin waves was observed (ENFEN, 2018). The winds were variable throughout the year. In April, winds presented weak and moderate intensities predominating values lower than 4 m/s suggesting a lower persistence of the coastal upwelling (< 20%) in the central zone. Towards winter, winds were more intense, reaching moderate to strong intensities in August (> 5 m/s). The high persistence of the coastal upwelling (> 90%) was maintained until the end of the year.

Overall, during the study, oceanographic conditions indicated the presence of Cold Coastal Waters (CCW, salinity <35.1 ups) on the central coast. In April, temperatures below 18° C and negative anomalies predominated throughout the transect. In August, although an active coastal upwelling was observed, Surface Subtropical Waters (SSW) were also approached, resulting in conditions of positive anomalies outside 40 nm. In April (above 30 m) and in August (above 50 m), the 15 °C isotherm was distributed very shallow ascending towards the surface in the first nm caused by the effect of near coastal upwelling.

The chemical conditions revealed a nucleus of the coastal upwelling in the first stations (15 nm), with low oxygen concentrations on the surface. On the other hand, the OMZ distribution and the isoxigen position of 1.0 mL/L and 0.5 mL/L were shallow, with an upper limit above 30 m in April, while in winter it deepened reaching 50 m in the oceanic part. The shallow position of the OMZ agrees with previous studies that show a deepening in winter resulting in the intensification of the winds favorable to increase turbulence and determining lower productivity of the water column (GRACO *et al.*, 2017). The OMZ even disappear from the shelf break during El Niño (LEDESMA, 2011; GRACO *et al.*, 2017). The distribution of the OMZ follows that of the 15 °C isotherm and the presence of the CCW. In winter, the greater depth of the OMZ, the oxygen anomalies, and the high pH values towards the oceanic part corroborated the approximation of SSW.

Regarding the nutrients, high silicates were presented within 20 nm which, like the low oxygen, indicated the CCW upwelling. In April, the silicates increase on the continental

no se observó en agosto en que hay un menor acoplamiento bentopelágico (GRACO *et al.*, 2017). Los nitratos presentaron bajas concentraciones en abril resultado del consumo en condiciones deficientes en oxígeno y mayor disponibilidad de materia orgánica, a diferencia de agosto en que ocurre un proceso de afloramiento costero más intenso y en consecuencia una mayor advección de nutrientes.

Los datos satelitales de clorofila-a mantuvieron el patrón estacional que se observó en las otras variables estudiadas. En abril se observaron anomalías negativas en la costa y positivas hacia afuera (entre 2 y 4 mg/m³). En invierno disminuyó aún más la concentración de clorofila-a, aspecto característico para esa época del año en el afloramiento frente a Perú. La distancia a la costa del límite entre una zona de mayor o menor productividad (isolínea de 1 mg/m³) mostró el repliegue hacia la costa en agosto que indica menor extensión de las aguas productivas en relación con abril y por dentro de la climatología de este frente. En efecto, en invierno si bien se espera una disminución de la Clorofila-a y la productividad (ECHEVIN *et al.*, 2008), por efecto del afloramiento intenso se ha reportado una mayor extensión de la condición de 1 mg/m³, tal como lo demostraron los estudios de CALIENES (2014).

A nivel de grupos fitoplanctónicos se pueden observar cambios espaciales, entre las diferentes estaciones de muestreo y períodos del año. En la parte costera dominaron las diatomeas en verano-otoño y los fitoflagelados en el invierno, en toda la transecta. El predominio de la fracción pequeña de fitoplancton en estaciones oceánicas y durante períodos de poca productividad se ha observado en otros estudios (BERNALES, pers. comm., ALVITES *et al.*, 2016). En verano-otoño las estaciones más oceánicas presentaron abundantes cocolitofóridos y dinoflagelados, estos últimos con una contribución muy reducida. La abundancia de cocolitofóridos también se observó hacia el invierno aunque con una contribución significativamente menor. La abundancia de este grupo calcáreo se asocia con la presencia de ASS y condiciones de mayor pH, con mayor contribución en condiciones El Niño como se observó en el 2015-2016 y en el 2017 (ALVITES, 2016). En relación a indicadores de ACF, se observó *Protoperidinium obtusum* en abril dentro de las 20 mn, mientras en agosto solo se alcanzó las 3 mn, presentándose diatomeas de aguas cálidas *Achnanthes longipes* a partir de las 8 mn y *Chaetoceros convolutus* y *Chaetoceros coarctatus* desde las 30 mn indicando mezcla y la presencia de las ASS. Esto nos muestra la alta dinámica del sistema

shelf revealed the intense remineralization that was not observed in August when there is less benthopelagic coupling (GRACO *et al.*, 2017). Also in April, nitrates showed low concentrations as a result of consumption under high oxygen-deficient conditions and greater availability of organic matter. The opposite was observed in August under a more intense upwelling process and the advection of high nutrients.

Satellite chlorophyll-a data maintained the seasonal pattern observed in the other variables studied. In April, negative anomalies were observed on the coast and positive offshore (between 2 and 4 mg/m³). In winter, the concentration of chlorophyll-a decreased and also the distance to the coast of the boundary between a greater or lesser productivity area (1 mg/m³ isoline). Indeed, in winter a decrease in Chlorophyll-a and productivity is expected (ECHEVIN *et al.*, 2008), caused by the effect of the intense upwelling, however, a greater extension of the 1 mg/m³ condition has been reported, as demonstrated by the studies of CALIENES (2014).

At the level of phytoplankton groups, spatial changes can be observed between the different sampling stations and periods of the year. In the coastal part, diatoms dominated in summer-autumn and phytoflagellates in winter, throughout the transect. The predominance of the small fraction of phytoplankton in oceanic stations and during periods of low productivity has been observed in other studies (BERNALES, pers. comm., ALVITES *et al.*, 2016). In summer-autumn, the most oceanic stations presented abundant cocolithophorids and dinoflagellates, the latter with a reduced contribution. The presence of cocolithophorids was also observed towards winter, although with a significantly lower contribution. The abundance of this calcareous group is associated with the presence of SSW and higher pH conditions, as during El Niño conditions observed in 2015-2016 and 2017 (ALVITES, 2016). Concerning CCW indicators, *Protoperidinium obtusum* was observed in April at 20 nm, while in August it only reached 3 nm, warm water diatoms such as *Achnanthes longipes* (from 8 nm) and *Chaetoceros convolutus* and *Chaetoceros coarctatus* (from 30 nm) were present, indicating mixture and the presence of SSW. This shows the high dynamics of the system and the need to consider multiple variables for a correct characterization of the coastal upwelling and its dynamics.

y la necesidad de considerar múltiples variables para una correcta caracterización del afloramiento costero y su dinámica.

En relación al bentos, igualmente refleja cambios pero integrando períodos de tiempo más largos, como la escala interanual y el efecto de El Niño. En particular los eventos como El Niño 1997-98 generan una gran oxigenación que impacta incluso en los sedimentos y modifican drásticamente la comunidad bentónica (GUTIÉRREZ *et al.*, 2008). Estudios en la plataforma central en años normales muestran el predominio de poliquetos, principalmente *Paraprionospio pinnata* asociado a condiciones de intensa ZMO y alta carga de materia orgánica lábil (GUTIÉRREZ *et al.*, 2008). El año 2018, la plataforma central se caracterizó por el predominio en el bentos de poliquetos pero de la especie *Magelona phyllisae* y la ausencia del poliqueto *Paraprionospio pinnata*. Además, el bacteriobentos *Candidatus* *Marithioploca* disminuyó significativamente. *Candidatus* *Marithioploca* ha sido asociada a sedimentos altamente reducidos, con altos H_2S y una intensa deficiencia en oxígeno. Estas condiciones son modificadas durante eventos de oxigenación. Desde diciembre de 2017, se observó en el bacteriobentos un descenso importante, a partir de abril de 2018, la biomasa húmeda presentó los menores valores registrados en los dos últimos años que se mantuvieron en agosto de 2018. Por su parte, disminuyó o desapareció *Paraprionospio pinnata* y aumentó *Magelona phyllisae*. Igualmente en el grupo de foraminíferos bentónicos se observó la presencia de *Bolivina pacifica* que ocurre con más frecuencia en postoxia, lo cual indica ausencia de sulfuros y mayor materia orgánica preservada a diferencia de ambientes anóxicos en que predominan *Bolivina seminuda* y *Buliminella tenuata* Cushman, 1927. Estos cambios en la macrofauna y los foraminíferos si bien no son cambios dramáticos en la comunidad bentónica como los observados durante un Niño, reflejan cambios biogeoquímicos que responden a la distribución de masas de agua y a la productividad reflejando otros patrones espaciales y temporales. Sin embargo, aún es necesario identificar respuestas más finas del ensamble bentónico, tanto a nivel de cambios biogeoquímicos como de organismos, tomando en cuenta patrones específicos de distribución en el sedimento superficial y la escala de dicha distribución, la cual (en principio) no es la misma entre grupos de diferentes dimensiones, ciclo de vida y tasa de reproducción, estructura corporal (especialmente cuando comparamos biomasa de bacterias contra biomasa de metazoarios) o éxito de sobrevivencia.

Regarding the benthos, it also reflects changes while integrating longer periods of time, such as the inter-annual scale and the El Niño effect. More specifically, events such as El Niño 1997-98 generate a great deal of oxygenation that impacts even on sediments and drastically modifies the benthic community (GUTIÉRREZ *et al.*, 2008). Studies in the central continental shelf sediments, in normal years, show the predominance of polychaetes, mainly *Paraprionospio pinnata* associated with conditions of intense OMZ and high load of labile organic matter (GUTIÉRREZ *et al.*, 2008). In 2018, the shelf break sediments were characterized by the predominance, in the benthos, of the polychaetes *Magelona phyllisae* and the absence of the polychaetes *Paraprionospio pinnata*. In addition, the bacteriobentos *Candidatus* *Marithioploca* decreased significantly. *Candidatus* *Marithioploca* has been associated with highly reduced sediments, a high H_2S , and an intense oxygen deficiency. These conditions are modified during oxygenation events (GUTIÉRREZ *et al.*, 2008). Since December 2017, a significant decrease was observed in the bacteriobenthos; from April 2018, the wet biomass presented the lowest values recorded in the last two years that were maintained in August 2018. *Paraprionospio pinnata* decreased or disappeared and *Magelona phyllisae* increased. Also, in the group of benthic forams, the presence of *Bolivina pacifica* was observed, which occurs more frequently in post-toxia, indicating the absence of sulfides and greater organic matter preserved, unlike the anoxic environments in which *Bolivina seminuda* and *Buliminella tenuata* Cushman, 1927, predominated. These changes in the macrofauna and forams are not dramatic changes in the benthic community like those observed during El Niño, but they reflect biogeochemical changes that respond to the distribution of water masses and productivity reflecting other spatial and temporal patterns. Nonetheless, it is still necessary to identify more precise responses of the benthic assemblage, both at the level of biogeochemical changes and of organisms, by considering specific distribution patterns in the surface sediment and the scale of such distribution, which (in principle) is not the same between groups of different dimensions, life cycle, and breeding rate, body structure (especially when comparing bacterial biomasses versus metazoan biomasses) or survival success.

5. CONCLUSIÓN

Nuestros resultados muestran como el sistema frente a Callao, desde su dinámica oceanográfica y química, permite explorar las respuestas del plancton y bentos. En conclusión las condiciones de abril y agosto de 2018, permiten contrastar dos períodos de mayor y menor productividad bajo la influencia de diferentes intensidades del afloramiento costero que determinan respuestas químicas y biológicas propias. La comunidad fitoplanctónica refleja claramente el contraste, no solo temporal sino también costa-océano. En efecto, en la costa se observa un incremento en la abundancia de diatomeas principalmente en abril, mientras hacia el área oceánica domina el nanoplancton y fitoflagelados, condición que, igualmente, se observa en invierno. También se aprecia la contribución de coccolitofóridos, vinculados a condiciones más cálidas y de mayor pH los que, en consecuencia, están asociados a la mayor o menor penetración de las aguas oceánicas. En efecto, estos organismos aumentan su abundancia durante las condiciones El Niño, cuando el afloramiento de ACF se debilita y las ASS alcanzan zonas más costeras. Por su parte, los dinoflagelados se observan como organismos más oportunistas que pueden desarrollarse en diferentes escenarios, costeros u oceánicos no identificándose aun claramente los umbrales biogeoquímicos y oceanográficos que determinan sus floraciones. Es importante continuar observando esta distribución costa-océano e identificar indicadores y umbrales físico-químicos que la condicionan y finalmente determinan la productividad.

El sedimento por su parte, a diferencia del ambiente pelágico, tiene memoria y los cambios pueden integrarse en períodos mayores de tiempo. A su vez, los organismos, dados sus ciclos de vida al integrar fases pelágicas y bentónicas, tienen la capacidad de ser muy sensibles a la variabilidad del ambiente. La respuesta es diferente según el grupo observado. En el caso del estudio 2018 en la plataforma central podría integrar cambios oceanográficos actuales y asociados con El Niño costero 2017. El predominio de *Magelona phyllisae* y la disminución de *Candidatus Marithioploca* ponen en evidencia un sedimento menos reducido como, igualmente, lo muestran los valores relativamente bajos de H_2S , en particular, en los sedimentos superficiales. En el ensamble de foraminíferos se observan mezcla de especies asociadas con eventos cálidos, que aún persisten y otras que reflejan cierta normalización en la condición deficiente en oxígeno e incremento en la calidad de la materia orgánica.

5. CONCLUSION

Our results reveal how the system off Callao, from its oceanographic and chemical dynamics, enables us to explore the responses of plankton and benthos. To conclude, the conditions in April and August 2018 can be defined in two contrasting periods of higher and lower productivity under the influence of different intensities of the coastal upwelling that determine their own chemical and biological responses. The phytoplankton community clearly reflects the contrast, not only temporal but also in the coast-to-ocean gradient. In fact, on the coast, there is an increase in the abundance of diatoms, mainly in April, while offshore nanoplankton and phytoflagellates dominate, a condition that is also observed in winter. The contribution of coccolithophorids is also appreciated, related to warmer conditions and higher pH associated with the oceanic waters penetration to the coast. Indeed, these organisms increase their abundance during El Niño conditions, when the CCW upwelling weakens and SSW reach more coastal areas. On the other hand, dinoflagellates are observed as more opportunistic organisms that can develop in different coastal or oceanic scenarios, and the biogeochemical and oceanographic thresholds that determine their blooms have not yet been clearly identified. It is important to continue observing this coast-to-ocean distribution and to identify indicators and physical-chemical thresholds that finally determine the productivity.

The sediment, unlike the pelagic environment, has memory and the changes can be integrated in longer periods of time. Simultaneously, organisms, given their life cycles by integrating pelagic and benthic phases and have the capacity to be very sensitive to environmental variability. The answer is different according to the group observed. In the case of the 2018 study, the sediment of the shelf break could integrate current and El Niño Costero 2017 oceanographic changes. The predominance of *Magelona phyllisae* and the decrease of *Candidatus Marithioploca* biomass indicate the less reduced environment, as also shown by the relatively low sediment values of H_2S , particularly in surface sediments. For the forams assemblage, it is observed a mixture of species associated with warm events that still persist and others that reflect certain normalization in the oxygen-deficient condition and increase in the quality of organic matter.

REFERENCIAS / REFERENCES

- ALVITES D. 2016. Variabilidad espacial y calcificación de las comunidades de cocolitofóridos en el sistema de afloramiento frente a Callao-Perú. Tesis de Maestría. Universidad Cayetano Heredia. Maestría en Ciencias del Mar. 150 pp.
- BALECH E. 1988. Los Dinoflagelados del Atlántico Sudoccidental. Public. Esp. Inst. Español de Oceanog. España. 310 pp.
- CALIENES R. 2014. Producción Primaria. Parte II. Bol Inst Mar Perú. 29(1-2): 309.
- CALIENES R, GUILLÉN O, LOSTAUNAU N. *et al.* 1985. Variabilidad espacio temporal de clorofila, producción primaria y nutrientes frente a la costa peruana. Bol Inst Mar Perú. (10): 6 - 12.
- ECHÉVIN V, AUMONT O, LEDESMA J, FLORES G. 2008. The seasonal cycle of surface chlorophyll in the Peruvian upwelling system: a modelling study. *Progress in Oceanography*. 79 (2-4): 167 - 176.
- CARRIT D E, CARPENTER J H. 1966. Comparison and evaluation of currently employed modifications of Winkler method for determining dissolved oxygen in seawater—a Nasco report. *J. Marine Res.* 24: 286 - 319.
- CHAVEZ F, MESSIÉ M. 2009. A comparison of Eastern Boundary Upwelling Ecosystems. *Progress in Oceanography*. 83: 80 - 96.
- CLINE J D. 1969. Spectrophotometric determination of hydrogen sulfide in natural waters. *Limnol Oceanogr.* 14: 454 - 458.
- ENFEN. 2018. Comunicado oficial ENFEN. 5, 6, 9, 15.
- HASLE G R, SYVERTSEN E E. 1996. Marine diatoms. In: *Identifying Marine Phytoplankton*. (Tomas, C.R. Eds), San Diego: Academic Press. 5 - 385 pp.
- HOLME N, MCINTYRE V N. 1971. Methods for the study of marine benthos. *International Biological Programme*. 147 pp.
- INTERGOVERNMENTAL OCEANOGRAPHIC COMMISSION of UNESCO. 2010. *Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis*. Karlson B, Cusack C. and Bresnan E. (editors). Paris, UNESCO (IOC Manuals and Guides, N° 55). 110 pp.
- GRACO M, CORREA D, GARCÍA W, SARMIENTO M. 2016. Impactos del ENSO en la biogeoquímica del Sistema de Afloramiento frente a Perú central. Febrero 2013 - diciembre 2015. *Boletín oceanográfico*. Instituto del Mar del Perú. 2(1): 2 - 6.
- GRACO M, PURCA S, BORIS D, CASTRO C, MORÓN O, LEDESMA J, GUTIÉRREZ D. 2017. The OMZ and nutrient features as a signature of interannual and low frequency variability in the Peruvian upwelling system. *Biogeosciences*. 14: 4601 - 4617. doi: 10.5194/bg-14-4601-2017
- GUTIÉRREZ D, ENRÍQUEZ E, PURCA S, QUIPÚZCOA L, MARQUINA R, FLORES G, GRACO M. 2008. Oxygenation episodes on the continental shelf of central Peru: Remote forcing and benthic ecosystem response. *Progress in Oceanography*. 79: 177 - 189.
- LEDESMA J, TAM J, GRACO M, LEÓN V, FLORES G, MORÓN O. 2011. Caracterización de la Zona de Mínimo de Oxígeno (ZMO) frente a la costa peruana entre 3°N y 14°S, 1999-2009. *Bol Inst Mar Perú*. 26(1-2): 49 - 57.
- MANTOURA R F C, LLEWELLYN C A. 1983. The rapid determination of algal chlorophyll and carotenoid pigments and their breakdown products in natural waters by reverse-phase high-performance liquid chromatography. *Analytica Chimica Acta*. 151: 297 - 314.
- POHLE G, THOMAS M. 2005. Monitoring protocol for marine benthos: intertidal and subtidal Macrofauna. *Marine Biodiversity Monitoring*. 24 pp.
- RATHBURN A E, CORLISS B H. 1994. The ecology of living (stained) deep-sea benthic foraminifera from the Sulu Sea. *Paleoceanogr.* 9: 87 - 150.
- ROJAS DE MENDIOLA B, OCHOA N, GÓMEZ O. 1981. 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.
- SCHÖNFELD J, ALVE E, GESLIN E, JORRISSEN F, KORSUN S, SPEZZAFERRI S. 2012. The FOBIMO foraminiferal Bio Monitoring Initiative towards a standardized protocol for soft bottom benthic foraminiferal monitoring studies. *Marine Micropaleontology*. 94-95: 1 - 13.
- ZUTA S, GUILLÉN O. 1970. Cambios en las condiciones oceanográficas frente a Perú entre el verano 1981 y el verano de 1983. *Bol. ERFEN*. 5: 6 - 8.