

CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS Y BIOLÓGICAS DEL AFLORAMIENTO COSTERO EN PERIODOS CONTRASTANTES DURANTE 2019. CALLAO (12°S) Y PISCO (14°S)

INFORME FINAL CRUCEROS INTENSIVOS OCEANOGRÁFICOS (CRIO)

OCEANOGRAPHIC AND BIOLOGICAL CONDITIONS OF THE COASTAL UPWELLING IN CALLAO (12°S) AND PISCO (14°S) DURING CONTRASTING PERIODS IN 2019

FINAL REPORT ON INTENSIVE OCEANOGRAPHIC CRUISES

Michelle Graco¹, Tony Anculle¹, Víctor Aramayo², Ayo Bernales², Wilson Carhuapoma¹
David Correa³, Juan Carlos Ernesto Fernández¹, Jesús Ledesma¹, Robert Marquina²
Luis Quipúzcoa², Daniel Quispe⁴, Carlos Robles¹, Dennis Romero², Miguel Sarmiento¹
Juana Solís¹

RESUMEN

GRACO M, ANCULLE T, ARAMAYO V, BERNALES A, CARHUAPOMA W, CORREA D, FERNÁNDEZ J, LEDESMA J, MARQUINA R, QUIPÚZCOA, QUISPE D, ROBLES C, ROMERO D, SARMIENTO M, SOLÍS J. 2021. *Condiciones oceanográficas y biológicas del afloramiento costero en periodos contrastantes durante 2019 – Callao (12°S) y Pisco (14°S). Informe final cruceros intensivos oceanográficos (CRIO). Inf Inst Mar Perú. 48(3): 393-413.* El ecosistema de afloramiento costero frente a Perú se caracteriza por la intensa variabilidad oceanográfica asociada a la presencia de condiciones cálidas o frías por impacto del forzamiento remoto-ecuatorial y el afloramiento costero por efecto local de los vientos. Esta variabilidad determina diferentes condiciones oceanográficas que repercuten en la distribución, abundancia y estado reproductivo de los recursos. Durante el 2019 las condiciones, como indica ENFEN, fueron neutras, aunque con llegada de ondas Kelvin cálidas y frías a la costa. La zona entre Callao y Pisco en abril mostró predominio de Condiciones Costeras Frías (ACF) con acercamiento de Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) y profundización en la costa de la isoterma de 15 °C. El indicador de ACF, *Protoperdinium obtusum*, se distribuyó ampliamente. Si bien a lo largo de la costa se mantuvieron anomalías negativas en relación a la productividad, frente a Callao y Pisco fue muy productivo con anomalías positivas e incremento de diatomeas. La ZMO se presentó somera entre 20 y 50 m no siguiendo el mismo patrón que la isoterma de 15 °C. Los sedimentos se presentaron reducidos, con alta MOT y producción de H₂S. Dominó *Paraprionospio pinnata* y significativo incremento de *Candidatus Marithioploca*. Se observaron huevos de *Engraulis ringens* “anchoveta” hasta 40 mn. Las larvas se distribuyeron hasta 13,5 mn con un núcleo a 50 mn. En agosto las condiciones neutras se mantuvieron y durante la primera quincena del mes arribó a la costa una onda Kelvin fría. Los vientos *alongshore*, en julio presentaron valores moderados a fuertes y en agosto disminuyeron. El afloramiento costero entre Callao y Pisco se mantuvo con predominio de ACF con isoterma de 15 °C y ZMO somera. Altos nutrientes predominaron con nutriclina somera y baja productividad, propio del invierno, con predominio de fitoflagelados. El sedimento se mantuvo con características reducidas y alta carga orgánica, menor tasa de sulfato reducción que se evidenció en bajas concentraciones de H₂S en el agua intersticial. En abril núcleos de anchoveta se presentaron entre 2 y 30 mn con distribución somera. Esta especie representó el 93% de la captura total en las calas e incidencia de 71% en juveniles. El monitoreo reproductivo de agosto mostró que la anchoveta mantuvo su núcleo de abundancia entre Chancay-Callao dentro de las 20 mn de la costa con distribución vertical superficial, detectándose dentro de los 20 m de profundidad.

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

ABSTRACT

GRACO M, ANCULLE T, ARAMAYO V, BERNALES A, CARHUAPOMA W, CORREA D, FERNÁNDEZ J, LEDESMA J, MARQUINA R, QUIPÚZCOA, QUISPE D, ROBLES C, ROMERO D, SARMIENTO M, SOLÍS J. 2021. *Oceanographic and biological conditions of the coastal upwelling in Callao (12°S) and Pisco (14°S) during contrasting periods in 2019. Final report on intensive oceanographic cruises. Inf Inst Mar Peru. 48 (3): 393-413.* The variability of the coastal upwelling ecosystem off Peru determines different oceanographic conditions that affect the distribution, abundance, and reproductive status of the resources. The conditions were neutral in 2019, although with

1 IMARPE, DGIOCC, Área Funcional de Investigaciones en Oceanografía Química y Geológica, mgraco@imarpe.gob.pe

2 IMARPE, DGIOCC, Área Funcional de Investigaciones en Oceanografía Biológica

3 IMARPE, Laboratorio Costero de Santa Rosa

4 IMARPE, DGIOCC, Área Funcional de Investigaciones en Oceanografía Física

the arrival of warm and cold Kelvin waves. In April, between Callao and Pisco, there was a predominance of Cold Coastal Waters (CCW), with the approach of Surface Subtropical Waters (SSW) and a deepening of the 15 °C isotherm along the coast. *Protopteridinium obtusum*, which is a CCW indicator, was widely distributed. There were negative anomalies along the coast, in terms of productivity, but off Callao and Pisco, the situation was different with positive anomalies, which were very productive, and an increase in diatoms. The OMZ was shallow between 20 and 50 m, not following the same pattern as the 15 °C isotherm. Sediments were reduced, with high TOM and H₂S production. *Paraprionospio pinnata* predominated and a significant increase of *Candidatus* Marithioploca was recorded. Anchoveta's eggs (*Engraulis ringens*) were observed up to 40 nm offshore. Larvae were distributed up to 13.5 nm with a nucleus at 50 nm. Neutral conditions were maintained in August and a cold Kelvin wave reached the coast during the first fortnight. In July, the alongshore winds showed moderate to strong values and decreased in August. The coastal upwelling, between Callao and Pisco, was maintained with a predominance of CCW with a 15 °C isotherm and shallow OMZ. Phytoflagellates predominated due to high nutrients with shallow nutricline and low productivity, which is typical of winter. The sediment remained with reduced characteristics and high organic load, a lower rate of sulfate reduction that was evidenced in low concentrations of H₂S in the interstitial water. In April, nuclei of anchoveta were observed between 2 and 30 nm with a shallow distribution. *E. ringens* accounted for 93% of the total catch in the coves and 71% in juveniles. In August, the reproductive monitoring showed that anchoveta maintained its abundance nucleus between Chancay-Callao, within 20 nm offshore, with vertical surface distribution, being detected within a depth of 20 m.

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

1. INTRODUCCIÓN

En el marco de la Línea de Investigación III.2. Investigaciones en Procesos Oceanográficos y Ecosistémicos a Mesoescala y a Microescala de la Dirección General de Oceanografía y Cambio Climático (DGIOCC) y el proyecto de investigación Estudio integrado del afloramiento costero frente a Perú, se presenta el informe final de los Cruceros CRIOS realizados en abril y agosto del 2019.

A inicios del año 2019 la Comisión Multisectorial ENFEN activa el estado de Alerta de El Niño, de magnitud débil, debido a la persistencia de las anomalías positivas de la temperatura del mar en la región Niño 1+2, que incluye la zona norte de Perú (ENFEN, 01-2019). Condición que se refuerza con el arribo de una onda Kelvin cálida en marzo y abril y el debilitamiento anómalo del Anticiclón del Pacífico Sur (APS) en marzo, según los pronósticos (ENFEN, 05-2019). A partir de abril las condiciones cambian y se declara No Alerta El Niño con condiciones neutras de temperatura superficial frente a la costa peruana que se mantienen durante el otoño y el invierno. Aunque se generan ondas Kelvin cálidas en ese período, no llegan con gran intensidad y por su parte se da una intensificación de vientos alisios del sureste y el paso de ondas Kelvin frías. Durante la primera quincena de agosto y la primera semana de setiembre llegan a la costa una onda Kelvin fría y otra cálida débil.

En este contexto se efectuaron los estudios frente a Callao y Pisco a fin de evaluar las condiciones oceanográficas y de productividad en diferentes períodos del afloramiento costero como es otoño e invierno, con la finalidad de caracterizar el ambiente cuando se desarrollan las pesquerías peruanas. Los resultados que se presentan fueron obtenidos durante dos Cruceros Intensivos Oceanográficos (CRIO) realizados del 23 al 27 de abril y del 15 al 21 de agosto 2019 en el BIC José Olaya.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio.- La figura 1 muestra el área de estudio de los cruceros CRIO, que contempla una transecta de 8 estaciones frente a Callao (12°S), desde la costa hasta 50 mn, asociada a una plataforma amplia, con un talud ubicado aproximadamente a las 30 mn y una transecta de 7 estaciones frente a Pisco (14°S) hasta las 50 mn caracterizado por una plataforma mucho más estrecha y un afloramiento más intenso.

Vientos, hidrografía y química

Trabajando con información satelital, registrada a través del dispersómetro avanzado (ASCAT) a bordo del satélite METOP-A, METOP-B y METOP-C (integrada por el programa francés IFREMER - CERSAT), a resolución espacial de 25 km y resolución temporal de 1 día, se calculó la velocidad del viento, Índice de Afloramiento Costero y porcentaje de actividad del afloramiento

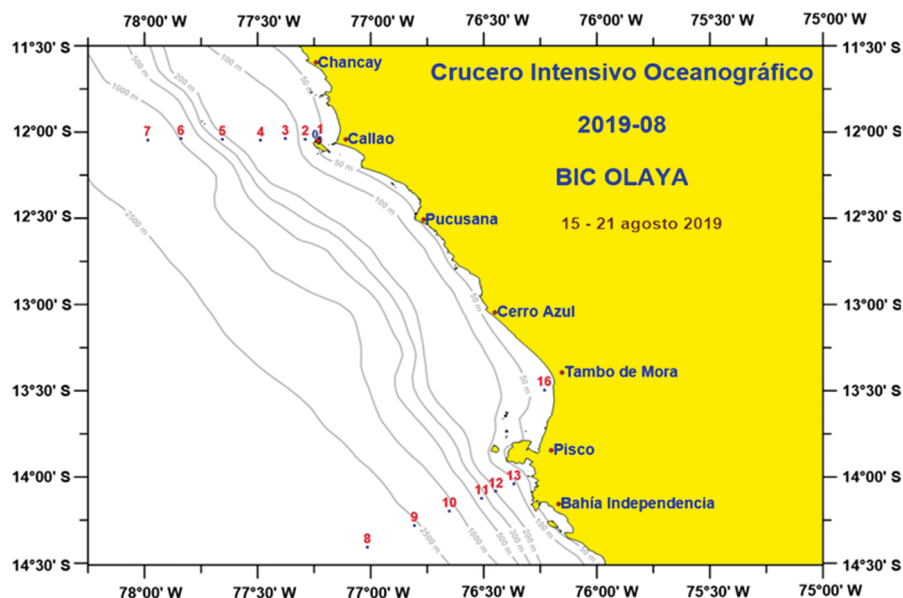


Figura 1.- Carta de ubicación de las estaciones de muestreo frente a Callao y Pisco durante los Cruceros intensivos Oceanográficos (CRIO) abril y agosto 2019

costero (IAC) a 40 km de la costa frente a Pisco, Callao y Chicama, para el período enero - diciembre 2018. Para fines de comparación se utilizaron los umbrales del primer y tercer cuartil pentadal histórico del viento y la climatología pentadal de viento satelital (CVS9914) (Correa, Lab. Santa Rosa, IMARPE).

En cada estación se realizaron perfiles hidrográficos con un perfilador de conductividad, temperatura, presión y oxígeno disuelto (CTDO) equipado con un sensor de presión de cuarzo: hasta 6800 m, sensor de temperatura con rango de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$, sensor de conductividad con rango entre 0 y 9 S/m y sensor de oxígeno disuelto. En todas las estaciones, hasta las 50 millas, se recolectaron muestras de agua en los niveles estándares: 0, 10, 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 Mether Toledo. Posteriormente, 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 una climatología: 1998-2016 Modis-AQUA, VIIRS-SNPP, *Sea Wifs*, *Meris-envisat* (fuente: ocean color/NASA).

Plancton

Muestras superficiales de fitoplancton se obtuvieron en todas las estaciones utilizando la red Standard ($75\text{ }\mu\text{m}$) y de zooplancton con red WP2 ($300\text{ }\mu\text{m}$) en arrastres superficiales en círculos durante 5 minutos. Muestras de botella Niskin a diferentes profundidades (0, 10, 20, 30, 50, 75 y 100 m) se analizaron en forma cuantitativa en el gradiente costa-océano 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 $\text{cells}\cdot\text{L}^{-1}$ (IOC, UNESCO, 2010). Para la determinación taxonómica de las especies fitoplanctónicas se referenciaron trabajos de BALECH (1988) y HASLE- SYVERTSEN (1996).

Bentos y geología

Se recolectaron muestras de sedimento para análisis geoquímicos y de bentos en las estaciones 0, 2 y 5 de Callao. Las muestras de macrofauna y de *Candidatus* *Marithioploca* spp. se obtuvieron por triplicado con una draga van Veen de $0,05\text{ m}^2$ en las tres estaciones. Se tamizaron las muestras a bordo con una malla de $0,5\text{ mm}$ y luego se fijaron con formalina al 10% neutralizado con bórax para su posterior análisis en el laboratorio (HOLME & McINTYRE, 1971; POHLE & THOMAS, 2005). Para el muestreo geoquímico y de foraminíferos bentónicos se empleó un minimultisacatestigos

(MUC) Oktopus® 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) y considerando algunos criterios descritos en SCHÖNFELD *et al.* (2012). La distribución vertical de las especies en el sedimento (0-5 cm) fue elaborado con datos de una sola réplica.

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 y luego descongelaron antes de la extracción. 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 inmediatamente después 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. Luego de esto, se diluyó una alícuota del extracto para la lectura en el fluorómetro, la misma que se repite inmediatamente, 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 H₂S). Las concentraciones de H₂S, se determinaron por el método colorimétrico con azul de metileno (CLINE, 1969).

Acústica y Pesca

El sistema de detección acústica del BIC José Olaya Balandra fue una ecosonda científica EK-80 SIMRAD con 2 frecuencias operativas: 38 y 120 kHz. El diseño de muestreo acústico fue sistemático con trayectos paralelos entre sí, donde la Unidad Básica de Muestreo (UBM) fue de 1 mn. El trayecto estuvo comprendido por 18 transectos con longitud de 20 mn a 40 mn. Se efectuaron lances de comprobación, para la obtención de muestras biológicas y la verificación de trazos acústicos, con red de arrastre de superficie y tiempo de arrastre efectivo de 20 minutos. La metodología utilizada para la adquisición y

procesamiento de la información esta descrita en el Informe IMARPE Nro. 36 "Protocolo técnico para la evaluación acústica de las áreas de distribución y abundancia de recursos pelágicos en el mar peruano".

Biología

Para la parte biológica, se realizaron calas, hasta una distancia máxima de 30 mn a la costa. Se determinó la composición de especies de la captura; mientras que, en el caso de la anchoveta peruana, se determinó la estructura de tallas. Para determinar la condición reproductiva de la anchoveta se analizaron datos biológicos y se procesaron histológicamente mediante el método de congelación de gónadas de hembras para el cálculo de la fracción desovante o índice de actividad de desove (FD o IAD). Se observó el comportamiento del recurso por grupo de talla: adultos pequeños (12 a 14 cm) y adultos grandes (14,5 cm a más).

3. RESULTADOS

Vientos y afloramiento

La velocidad de los vientos durante los muestreos, entre 23 y 27 de abril y 15 - 21 agosto 2019 se presenta en la figura 2. Los vientos nos permiten caracterizar el forzante local del afloramiento costero. En abril en la costa central sus intensidades fueron moderadas (5 m/s) con tendencia a debilitarse en toda la costa hacia el 21 y 25 de abril.

En agosto, durante prácticamente todo el mes, se observaron vientos con intensidades bajas en la costa (<4 m/s) de Chicama hacia el sur. Mientras en abril las anomalías fueron neutras y positivas en la zona de Pisco, en agosto, se observaron anomalías negativas con valores por debajo de lo esperado (2 y hasta 4 m/s).

A partir de los vientos se realizó el cálculo del índice del afloramiento (IA). La figura 3 presenta el comportamiento durante el 2019. El IA presentó valores moderados en abril, >50 m³/s*100 m a lo largo de la costa, intensificándose en el norte y sur y en general presentando anomalías positivas o condición de neutralidad. En agosto, a diferencia de julio, se observó la caída en el índice de afloramiento y su persistencia (< 50 m³/s*100 m). Las anomalías en

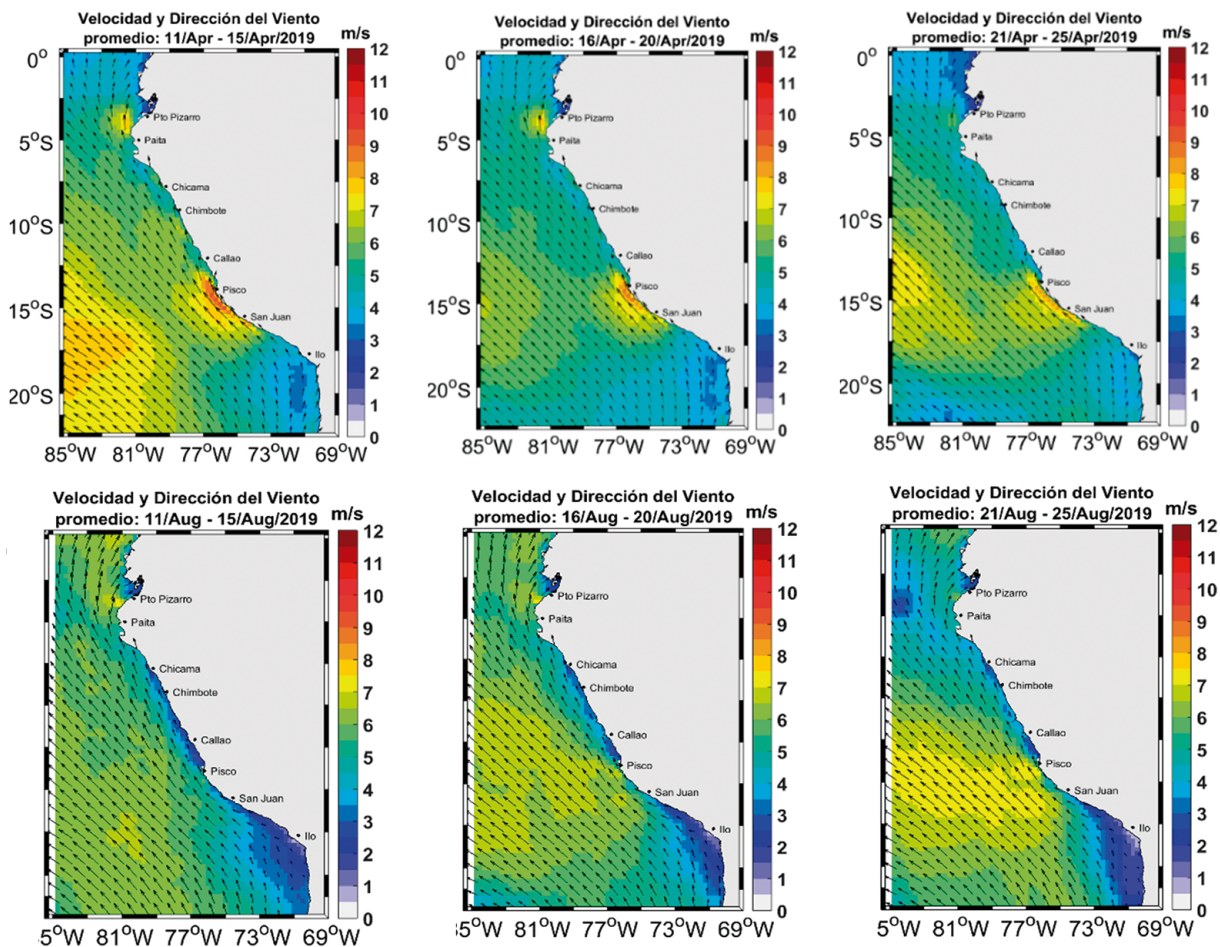


Figura 2.- Mapas promedio de 5 días de la velocidad del viento, registrado por el Satélite ASCAT (frente a la costa de Perú): Fuente: Satélite ASCAT + Pronóstico GFS (desde 04/03/2019), Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE

agosto mostraron valores negativos indicando una condición atípica para el invierno cuando el afloramiento históricamente es más intenso dado el predominio de vientos intensos y favorables.

Condiciones de temperatura y salinidad

Las condiciones de temperatura y salinidad y sus respectivas anomalías para Callao y Pisco se presentan en las figuras 4 y 5. En el caso de Callao, la prospección realizada en abril 2019 se caracterizó por presentar las ACF desde la costa hasta las 25 mn y desde la superficie hasta aproximadamente 25 m de profundidad. Las aguas subtropicales superficiales, ASS, se observaron por fuera de las 40 mn, y cierto incremento en la temperatura. La sección Pisco presentó temperaturas entre 15 °C y 18 °C y una termoclina débil sobre 50 m de profundidad, conformada por 5 isotermas (15-19 °C) asociadas a ACF con salinidades menores

a 35,05 ups. Las anomalías de temperatura muestran condiciones frías en los primeros 50 m y al igual que en Callao, anomalías positivas entre los 50 y 400 m.

Tanto en Callao como en Pisco se observó hacia la costa, la profundización de la isoterma de 15 °C, que alcanzó en Callao >150 m y en el caso de Pisco más de 50 m, pero además con una isoterma de 14 °C a más de 200 m. Lo mismo se observó en la isohalina de 35 generando subsuperficialmente anomalías ligeramente positivas. En la parte oceánica la isoterma de 15 °C se encontró cercana a los 50 m (Fig. 4). En Pisco no se observó la presencia de ASS.

En agosto, en la figura 5, se observó tanto en Callao como en Pisco, bajas temperaturas superficiales, en un rango de 14,8 (en la costa) y 16,5 °C (en la parte oceánica) en Callao y entre 14 °C y 15,5 °C en Pisco con anomalías negativas que mostraron condiciones frías. La isoterma de

15 °C presentó una posición bastante somera desde 15 m en la costa hasta 40 m a 50 mn en Callao mientras en Pisco afloró en la superficie. La salinidad mostró la influencia de las ACF con valores <35,00 ups y predominio de anomalías neutras, con excepción de la penetración de agua más salinas desde las 40 mn que se observó en Callao (Fig. 5).

Esta condición fría de invierno se dio a pesar de la menor intensidad de los vientos favorables al afloramiento y podrían responder a la combinación del efecto remoto con la llegada de una onda Kelvin fría, mientras en abril la llegada de la onda cálida (ENFEN 04, 2019) que se atrapó hacia la costa podría generar esa condición subsuperficial más cálida.

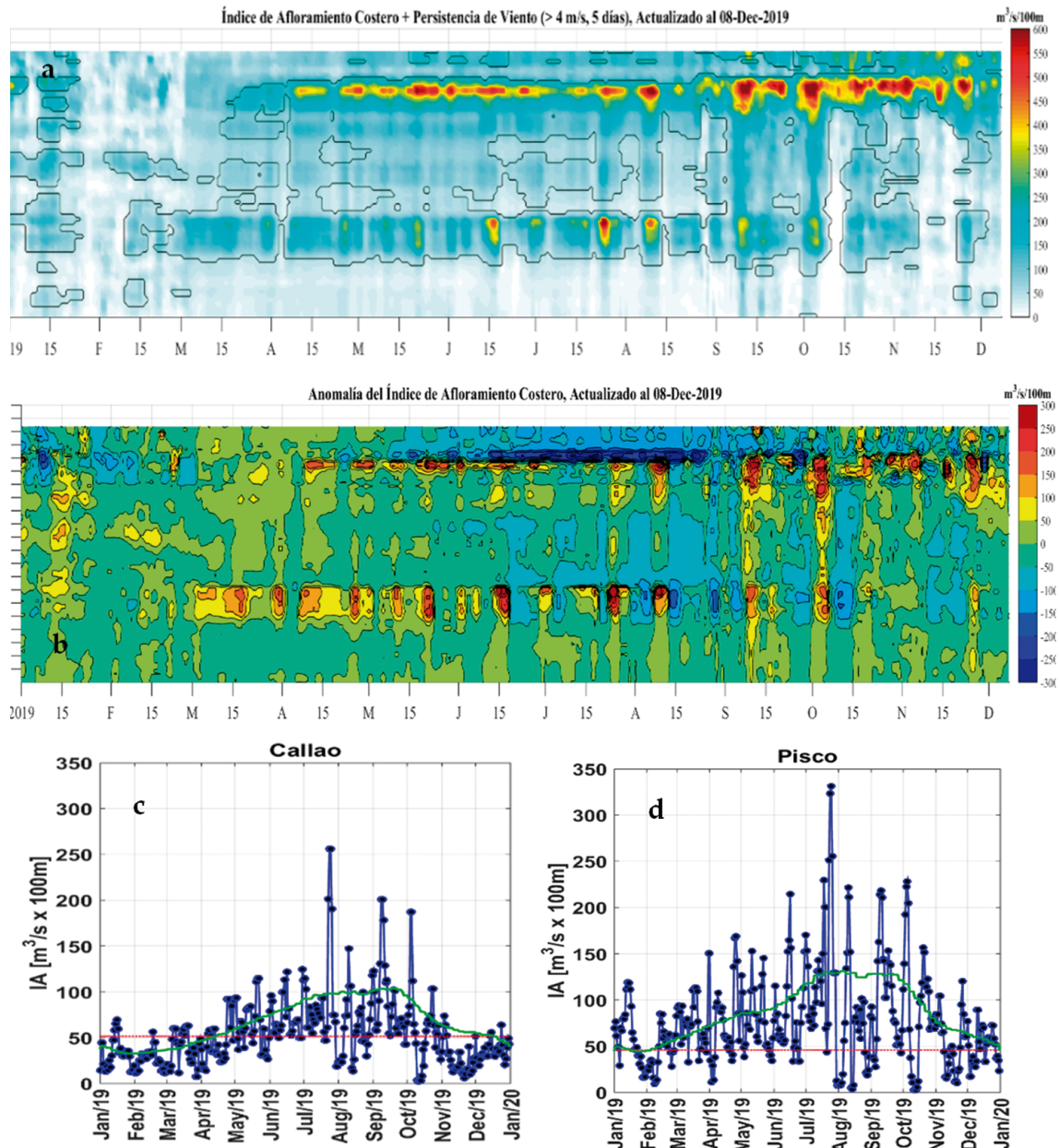


Figura 3.- Índice de Afloramiento Costero (calculado a partir del esfuerzo de viento satelital a 100 km frente a la costa del Perú): a) Índice de Afloramiento Costero (m^3s^{-1}), b) Anomalia del IAC (m^3s^{-1}). Fuente: Satélite ASCAT + modelo GSF (entre el 04/03 a 24/08 del 2019). c) y d) Serie del índice de Afloramiento Costero para Callao y Pisco calculado con el viento satelital (a 40 km frente a la costa del Perú), y comparado con el IAC de la climatología pentadal y criterio de umbral de persistencia de la velocidad del viento ($> 4,0$ m/s, por más de 5 días). En línea punteada azul, se presenta el IAC cada 5 días, en línea roja, se representa la referencia de IAC calculado con una velocidad de viento de 4,0 m/s (cada localización considera un valor diferente de forzante de coriolis), la línea verde, representa el IAC calculada con la climatología pentadal de la velocidad del viento). Procesamiento: Laboratorio de Hidro-Física Marina, IMARPE

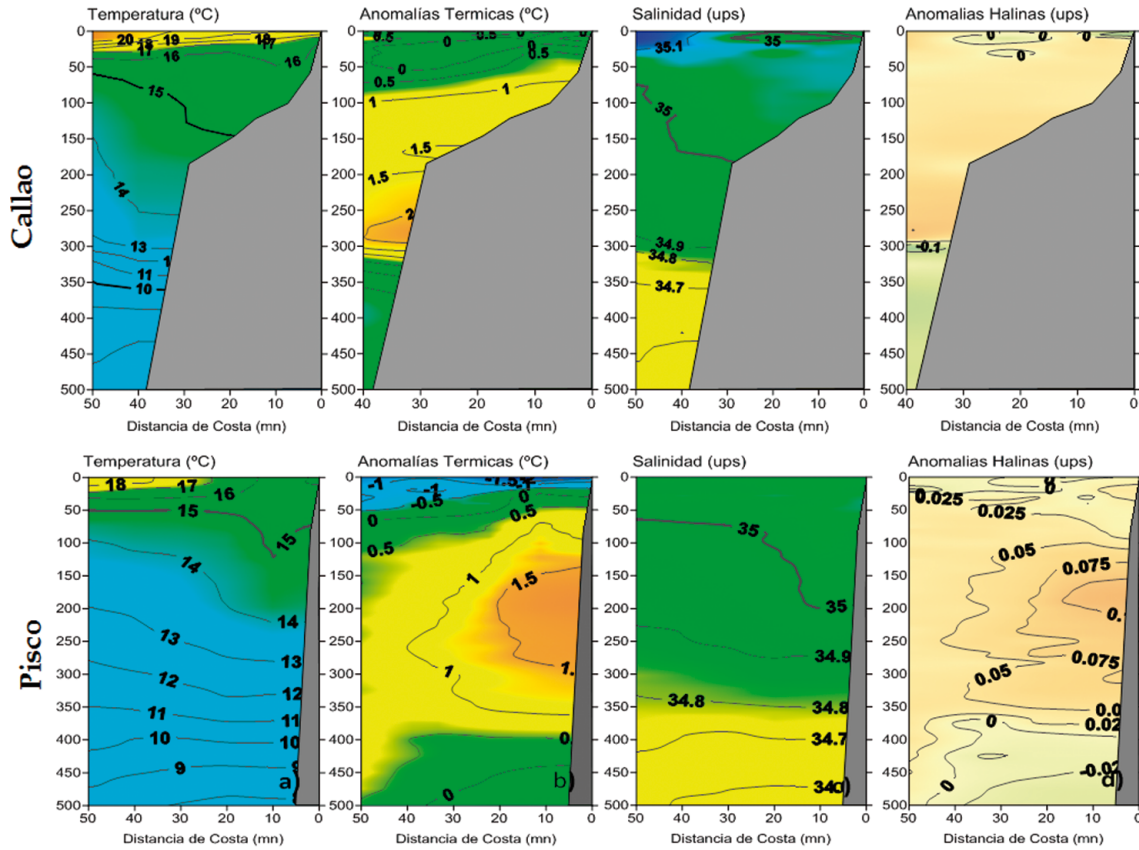


Figura 4.- Distribución vertical de la temperatura, anomalía de temperatura, salinidad y anomalía de salinidad. CRIO abril 2019

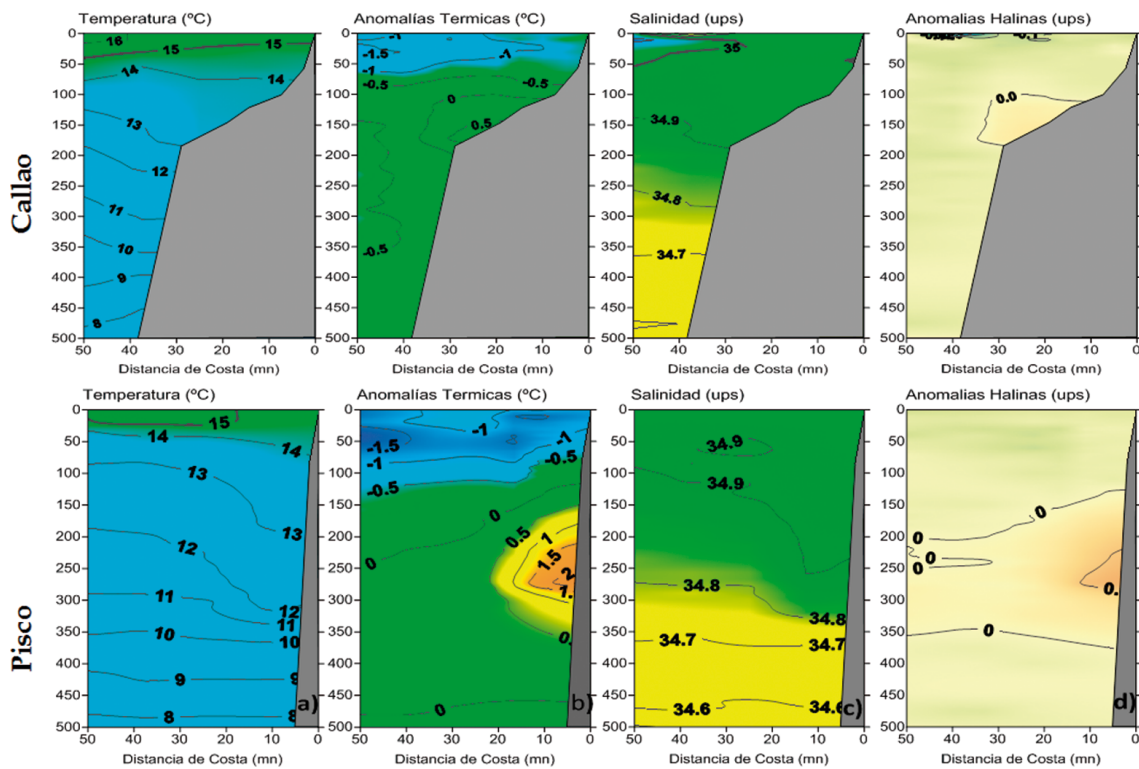


Figura 5.- Distribución vertical de la temperatura, anomalía de temperatura, salinidad y anomalía de salinidad. CRIO agosto 2019

Productividad-Clorofila-a

Los datos satelitales de clorofila-a ($\mu\text{g/L}^3$ o mg/m^3) para abril y agosto del 2019 se presentan en la figura 6, junto con la anomalía y la isolínea de $1 \mu\text{g/L}^3$. En abril se observaron concentraciones a lo largo de la costa $<3,0 \mu\text{g/L}^3$ con un gran núcleo entre Callao y Pisco con concentraciones mayores a $10,0 \text{mg/m}^3$. Las anomalías mostraron valores negativos en casi toda la franja costera, con excepción del núcleo de alta productividad en que fueron positivas. La isolínea de $1 \mu\text{g/L}^3$ indicó en el norte de Callao un repliegue hacia la costa del frente productivo mientras hacia el sur se mantuvo en la posición histórica.

En agosto de 2019, se observaron pocos valores asociados al efecto de la alta nubosidad en el área que dificulta la estimación de la clorofila-a satelital. Los valores indicaron cierta productividad en la zona centro y sur ($1-3 \mu\text{g/L}^3$) con anomalías ligeramente positivas (Fig. 6).

Los valores de clorofila-a *in situ* mostraron valores mayores a $10,0 \mu\text{g/L}$ en abril mientras en agosto se presentaron menores a $3,0 \mu\text{g/L}$ en toda la transecta.

Zona de Mínimo de Oxígeno (ZMO) - condiciones deficientes en oxígeno y bajo pH

En relación a la distribución del oxígeno disuelto, las concentraciones en abril indicaron valores inferiores a $3,0 \text{mL/L}$ en la superficie del mar por dentro de las 30 mn, que se incrementaron hacia afuera alcanzando en Callao concentraciones mayores a $6,0 \text{mL/L}$ y anomalías positivas (Fig. 7).

La Zona de mínimo de Oxígeno (ZMO, $< 0,5 \text{mL/L}$) se ubicó muy somera por encima de los 10 m en la costa y de 40 m en la parte oceánica que se indicaron con anomalías negativas o neutras en la columna de agua. En el Callao se observó ligera oxigenación en la columna de agua similar a la distribución de la isoxígena de 1mL/L , que en el caso de Pisco dominó la columna de agua por debajo de los 50 m (Fig. 7). En agosto se observaron bajas concentraciones de oxígeno ($< 4,0 \text{mL/L}$) en toda la transecta, alcanzando en la costa valores de 2mL/L . La ZMO se encontró a 50 m tanto en la zona oceánica como costera predominando anomalías positivas o neutras.

Con respecto al pH, en abril varió de 8,1 a 8,3 en la capa superficial que se asocia con mayor productividad y el ingreso de ASS en el caso

de Callao. En Pisco en la parte oceánica alcanzó valores mayores a 8,0 que coinciden con los núcleos de productividad. Valores menores a 7,8 se distribuyeron en la costa desde 10 m y en la parte oceánica desde 20 m asociados con la distribución de la ZMO (Fig. 8). Los valores de pH $<7,9$ en agosto tanto en superficie como en la columna de agua indicaron el predominio de las ACF y la menor productividad (Fig. 8).

Nutrientes

Los nutrientes, fosfatos, silicatos y nitratos, correspondientes a abril y agosto 2019 se presenta en la figura 9. En abril, en Callao los nutrientes, con excepción de los fosfatos, mostraron en toda la transecta una capa de aproximadamente 20 m con bajas concentraciones de silicatos y nitratos ($<5 \mu\text{M}$). Sobre la costa los fosfatos se incrementaron ($2 \mu\text{M}$) disminuyendo hacia la parte más oceánica ($0,5 \mu\text{M}$). Sobre la plataforma las concentraciones alcanzaron valores altos en el caso de fosfatos ($> 2,5 \mu\text{M}$) y silicatos ($>25 \mu\text{M}$) mientras los nitratos disminuyeron y se asoció con el incremento en los nitritos ($> 5,0 \mu\text{M}$, no se muestran datos). Estos cambios indican una importante remineralización de materia orgánica y condiciones de oxígeno deficientes que se intensifican sobre los sedimentos. Por debajo de los 300 m todos los nutrientes, con excepción de los nitritos se incrementaron.

En Pisco se observaron altas concentraciones superficiales en la costa, disminuyendo por fuera de las 40 mn, asociado al desarrollo de floraciones algales. A diferencia de Callao, Pisco no presentó sobre la plataforma un incremento significativo en los nutrientes, los fosfatos disminuyeron y en los nitratos no se observó un consumo importante como en la plataforma de Callao. Por debajo de los 300 m se observaron las mayores concentraciones de nutrientes.

En agosto, en superficie presentó gran disponibilidad de nutrientes que mostraron el efecto del afloramiento y menor consumo por el fitoplancton. Tanto en Callao como en Pisco hubo cierto incremento en la plataforma. Mientras en el caso de Callao pudo indicar remineralización de la materia orgánica, aunque menos intensa que en abril, y mayor oxigenación en los primeros 80 m ($0,5 \text{mL/L}$) de la plataforma. En Pisco los mayores valores parecen haberse asociado a la advección de las masas de agua hacia la superficie por efecto del afloramiento.

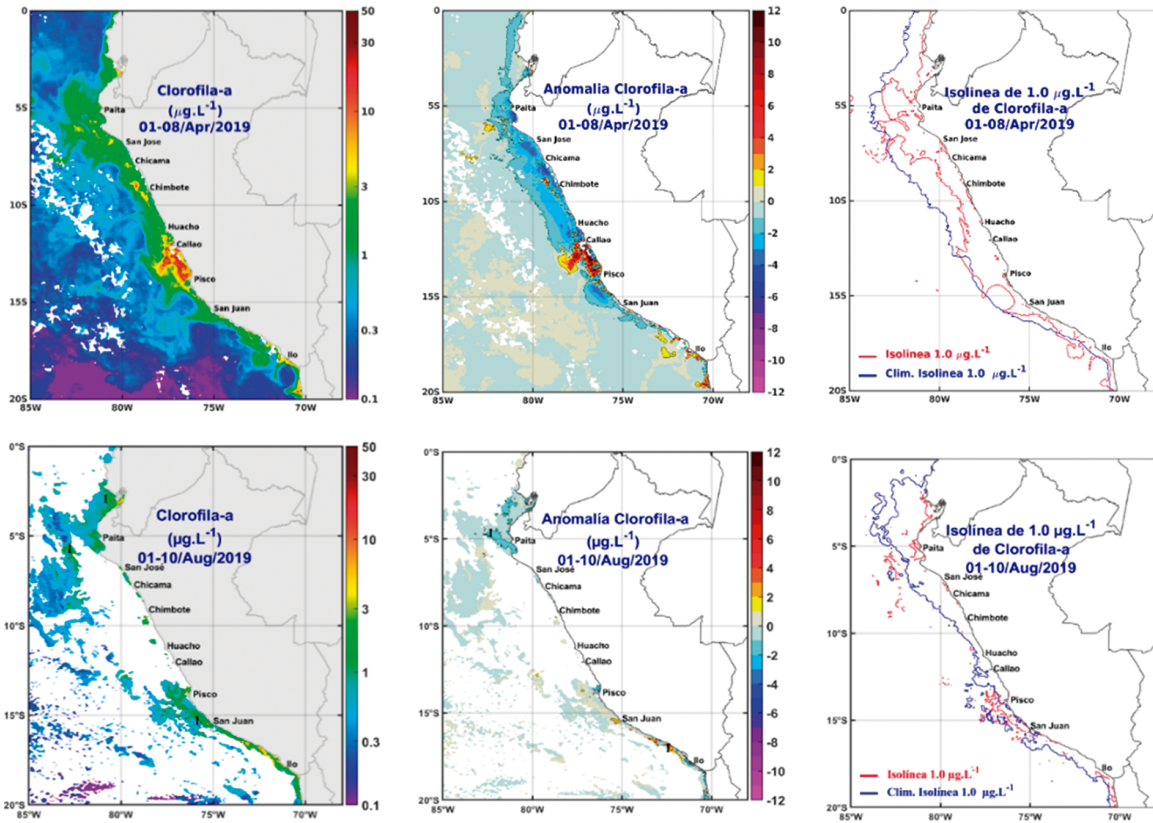


Figura 6.- Distribución superficial de Clorofila-a, anomalía ($\mu\text{g}/\text{L}^3$) y posición de la isolinea de $1 \mu\text{g}/\text{L}^3$ para abril y agosto 2019 a lo largo de la costa de Perú. Satélite MODIS-AQUA, VIIRS-SNPP. Climatología años 2000-2015 de MODIS-AQUA, SEA WiFS, VIIRS-SNPP, MERIS-ENVISAT fusión en base a la estandarización de las reflectancias de los diferentes sensores

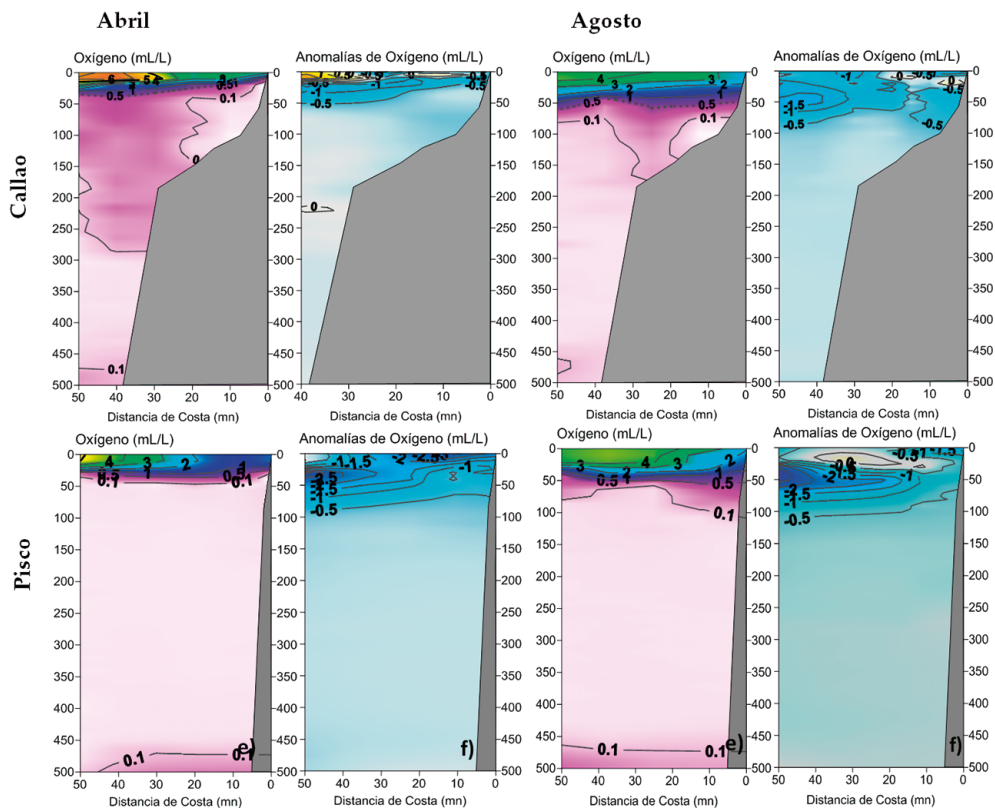


Figura 7.- Distribución vertical de oxígeno disuelto y anomalías en la línea Callao y Pisco entre la costa y las 50 mn

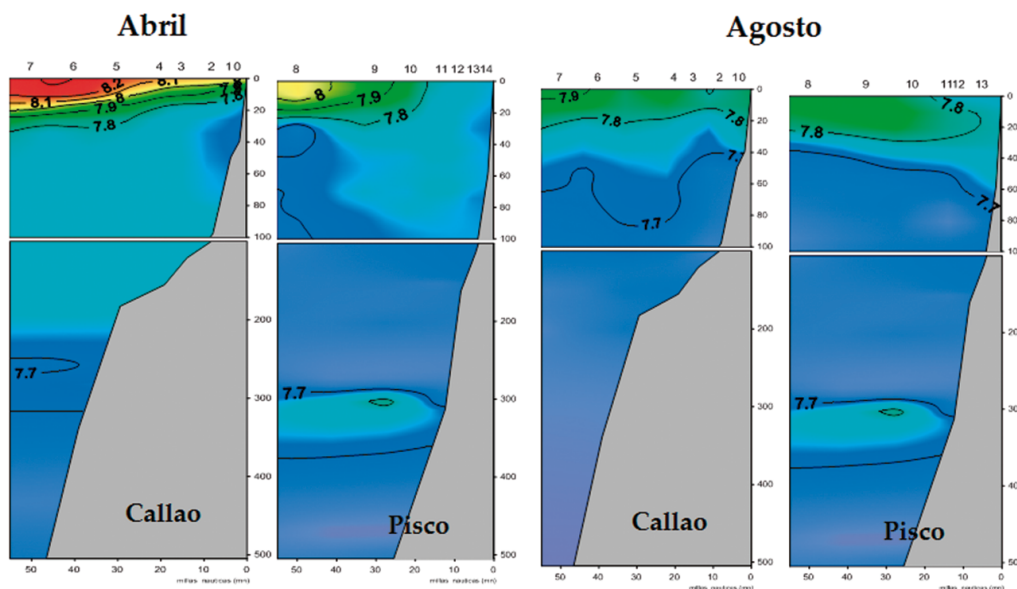


Figura 8.- Distribución vertical de pH en la línea Callao (estaciones 0-7) entre la costa y las 50 mn

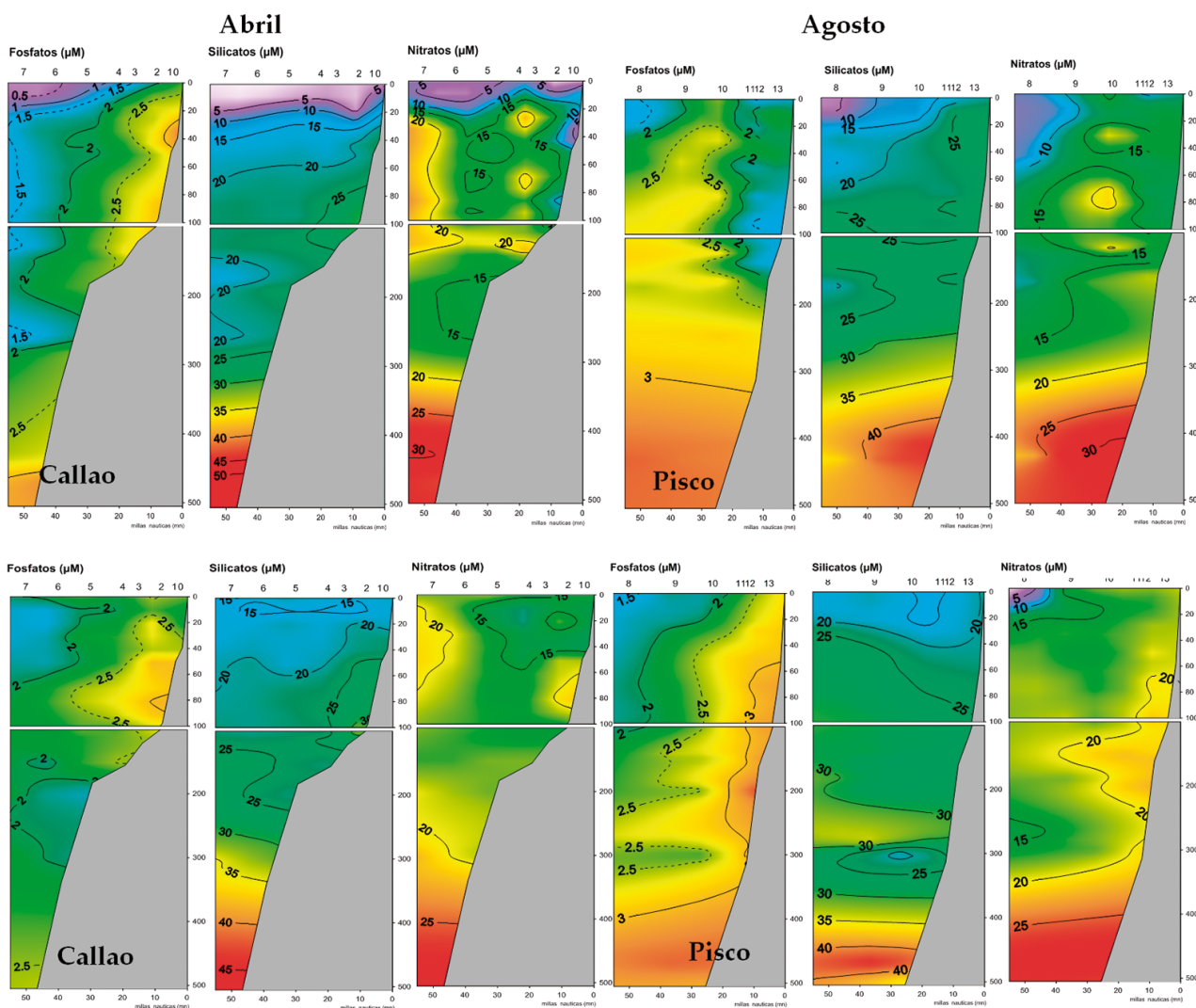


Figura 9.- Distribución vertical de nutrientes en la línea Callao y Pisco

Comunidad planctónica

En cuanto a la comunidad fitoplanctónica se presenta la información obtenida por los arrastres de red estándar de 75 µm frente a Callao de abril y agosto que se complementó con información registrada en salidas bimestrales para el periodo de estudio. El dinoflagelado *Protoperdinium obtusum* Parke y Dodge, 1976, indicador de Aguas Costeras Frías (ACF), en abril se presentó hasta las 30 mn mientras en agosto alcanzó las 15 mn en el caso de Callao (Tabla 1). En Pisco se observó en abril y agosto la misma distribución del indicador de ACF en las primeras 14 mn.

Con respecto a la composición por especies, abril 2019 frente a Callao, se caracterizó por presentar diatomeas de afloramiento y de fases intermedias de sucesión como *Coscinodiscus perforatus*, *Pleurosigma* sp., *Neocalyptrella robusta* (*Rhizosolenia robusta*), *Leptocylindrus danicus*, *Thalassionema nitzschioides*; además de dinoflagelados cosmopolitas como *Protoperdinium conicum*, *P. depressum*, *P. pentagonum*, asociados en menor grado con *Triplos fusus*, *Triplos furca*, *Ceratium tripos*, entre otros. Asimismo, se registró una floración algal en la estación 2 (8 mn) producida por el ciliado fotosintetizador *Mesodinium rubrum* (6×10^5 cel.L⁻¹) y el dinoflagelado inocuo atecado *Akashiwo sanguinea* (9×10^4 cel.L⁻¹), confirniéndole al mar una coloración marrón rojiza. Se registró codominancia de fito y zooplancton hasta las 8 mn, mientras que este último fue dominante en el resto de estaciones (Fig. 10). Volúmenes bajos se observaron hasta 40 mn (menores a 1 mL.m⁻³),

a excepción de la estación 7, ubicada a 50 mn (1,18 mL.m⁻³), con un volumen promedio de 0,62 mL.m⁻³.



En Pisco destacaron *C. perforatus* por la abundancia relativa de MUY ABUNDANTE y en menor proporción, diatomeas de fases iniciales (*Chaetoceros lorenzianus*, *Ch. didymus*, *Ch. debilis*) y de fases intermedias (*Odontella aurita*, *Eucampia zoodiacus*, *Pseudonitzschia pungens*, *Leptocylindrus danicus*). A su vez, se presentó *Ch. lorenzianus* como MUY ABUNDANTE a 50 mn, con algunas diatomeas oceánicas como *Pseudosolenia calcar-avis*, *Corethron hystrix*, *Planktoniella sol* y entre algunos dinoflagelados cosmopolitas y termófilos *Ceratium gibberum*, *Triplos axiale* (*Ceratium axiale*), *C. massiliense* y *Dinophysis tripos*. Silicoflagelados como *Dictyocha fibula* y *Octactis octonaria* estuvieron presentes en casi toda el área evaluada. El fitoplancton fue la comunidad predominante en todo el transecto hasta las 50 mn.

Durante agosto 2019, la comunidad fitoplanctónica en el Callao estuvo caracterizada principalmente por diatomeas de fases iniciales a intermedias de sucesión, destacando por sus abundancias relativas *Chaetoceros didymus*, *Ch. affinis*, *Coscinodiscus perforatus* y algunos dinoflagelados cosmopolitas como *Protoperdinium depressum*, *P. pellucidum*, *Triplos furca*, *Triplos buceros*, entre otros. Los silicoflagelados se presentaron casi en todo el perfil Callao. La dominancia de fitoplancton se dio en las primeras 15 mn y por fuera el zooplancton fue dominante (Fig. 10).

Tabla 1.- Indicadores Biológicos de Fitoplancton, Callao

Distancia a la costa (mn)							
Fecha	3	8	15	20	30	40	50
12-13 Feb 2019							
23-24 Abril 2019							
20-21 Jun 2019							
15-17 Ago 2019							

Distancia a la costa (mn)						
Fecha	5	11	14	23	35	50
30 Abr-01 May 2018						
25-26 Abr 2019						
18-20 Ago 2019						

Leyenda
 *Protoperdinium obtusum* (ACF)
 Área no muestreada

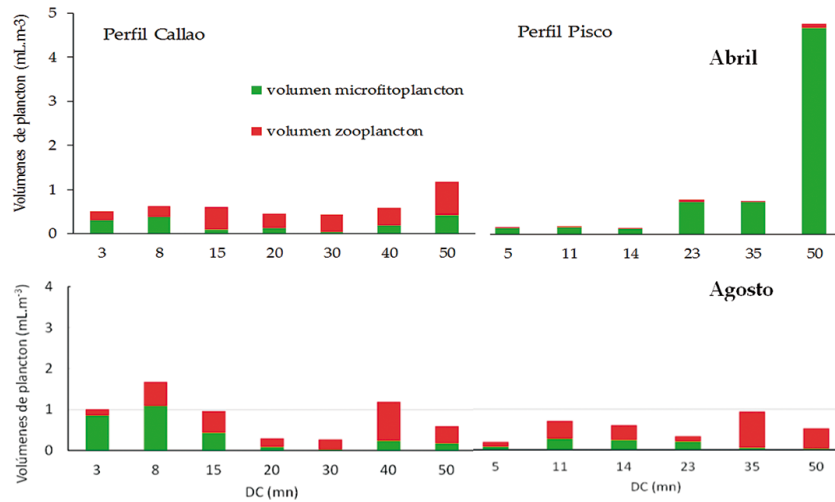


Figura 10.- Variación de los volúmenes de plancton (mL.m⁻³), en la superficie del mar Callao y Pisco, abril y agosto 2019

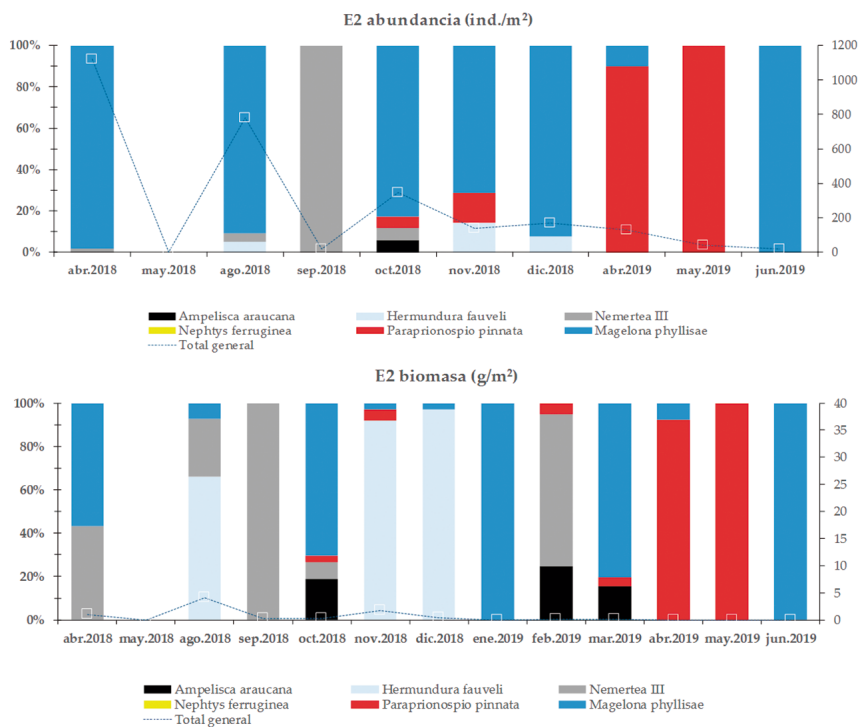


Figura 11.- Contribución porcentual de los grupos de macrofauna y abundancia (Ind./m²), en el sedimento superficial (0-1 cm) de la estación 2 frente a Callao. Procesado por el AFIOB LBM

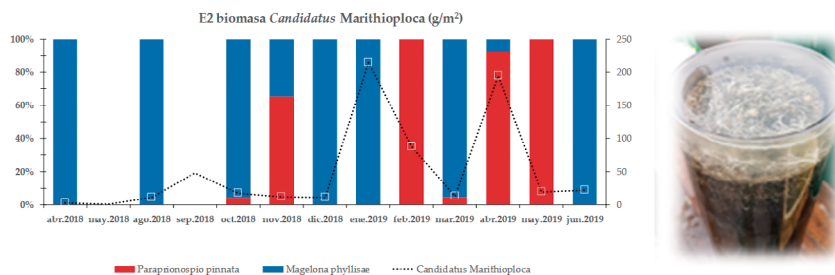


Figura 12.- Biomasa de *Candidatus Marithioploca* (g/m²) en relación al porcentaje de *Paraprionospio pinnata* y *Magelona phyllisae* en el sedimento superficial (0-1 cm) de la estación 2 frente a Callao. Foto de sedimento con tapices bacterianos en la superficie. Procesado por el AFIOB LBM

Frente a Pisco, la flora planctónica estuvo representada por mayor número de especies de diatomeas en fases intermedias de sucesión como *C. perforatus* y *Ditylum brightwellii* cuyas abundancias relativas fueron altas hasta las 30 mn, asociadas en menor proporción a algunas diatomeas de aguas cálidas como *Achnanthes longipes*, *Ch. convolutus*, *Rhizosolenia bergonii* y a dinoflagelados cosmopolitas. En la estación más costera (5 mn), se presentó una floración algal causada por el dinoflagelado inocuo *Akashiwo sanguinea* (1×10^6 cel.L⁻¹) confiriéndole al mar cierta tonalidad rojiza oscura. Se dio cierta codominancia del fito y zooplancton a 3 y 20 mn; predominando el zooplancton en el resto de las estaciones. Se registró valores promedio de volúmenes de plancton de 0,86 mL.m⁻³ y de 0,55 mL.m⁻³ frente a Callao y Pisco, respectivamente, evidenciándose la predominancia del fitoplancton hasta las 8 mn en el primer caso y registrándose cierta codominancia y predominancia del zooplancton en el resto de estaciones evaluadas (Fig. 10). Se observó la presencia de calamar gigante o pota (*Dosidicus gigas*) hasta 30 mn, y múnida en la franja costera.

Comunidad bentónica

El análisis de macrofauna de la serie del Callao, siguió mostrando alternancia entre *Paraprionospio pinnata* y *Magelona phyllisae*. El incremento de *P. pinnata* es muy notorio en los meses de abril y mayo, para en junio nuevamente aparecer *M. phyllisae* (Fig. 11). El número de individuos sigue

muy bajo, no variando prácticamente desde septiembre 2018.

Con respecto al bacteriobentos, en abril se observó un valor próximo a 200 g/m², a partir de mayo y junio disminuyó significativamente (Fig. 12).

Importante contribución del grupo de los algrómidos (tectináceos) se mantuvo desde diciembre 2018 hasta junio 2019 en la estación más somera (E2, 94 m). Sin embargo, el grupo de los calcáreos volvió a dominar para agosto 2019 en esa estación. Este patrón de dominancia de calcáreos parece más estable cuando se compara con la estación más oceánica (E5, 180 m).

En relación a las especies *Bolivina costata*, especie calcárea de gran dominancia en la plataforma interna (estación E2), mostró abundancias relativas muy por debajo de lo que suele presentar, más del 60% de toda la comunidad en periodos anteriores (Fig. 13).

Por el contrario, el foraminífero de testa suave *Allogromia* sp. 1 contribuyó en más del 50% a la densidad total de la comunidad en febrero y junio, estando casi ausente en agosto, siendo dominante *Buliminella tenuata* seguida de *Bolivina seminuda* (Fig. 14). En contraste, la estación E5 mostró una comunidad con poca variabilidad en el aporte porcentual de estas últimas especies, las cuales son típicas de la plataforma externa (estación E5) junto con *Bolivina pacifica*.

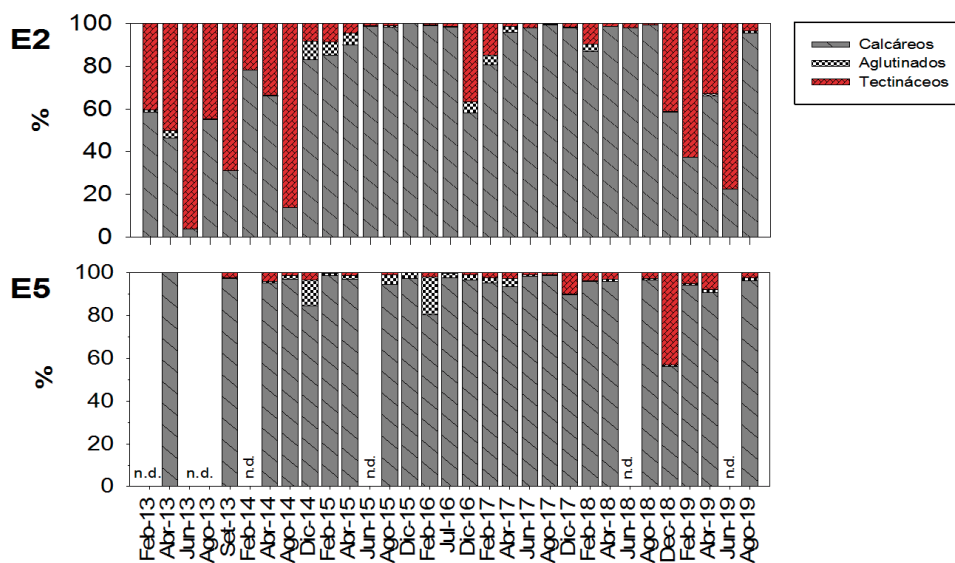


Figura 13.- Contribución porcentual de los grupos calcáreos, aglutinados y tectináceos en el sedimento superficial (0-1 cm) de la zona frente a Callao

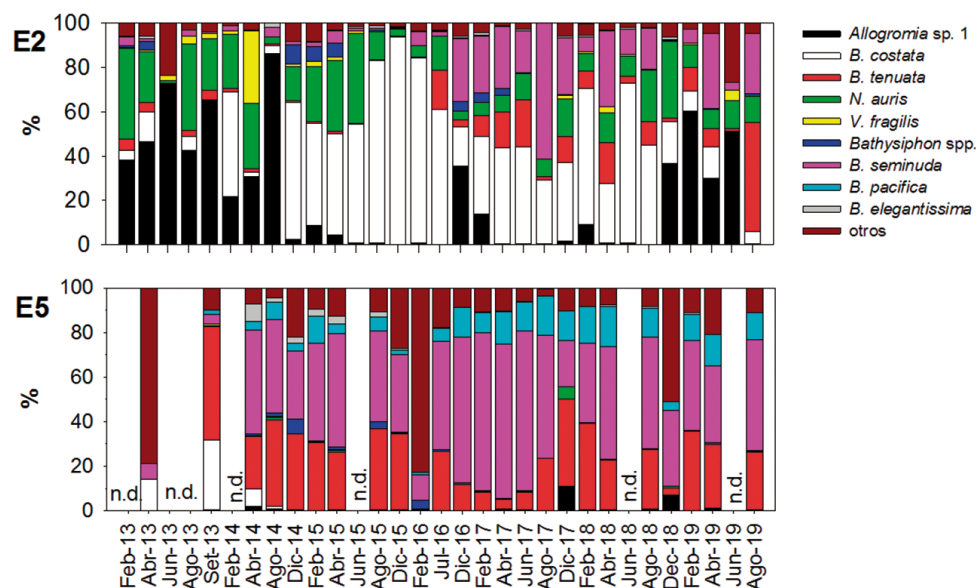


Figura 14.- Contribución porcentual de las especies más frecuentes en el sedimento superficial (0-1 cm) de la plataforma continental frente a Callao

Aspectos biogeoquímicos del sedimento

Los sedimentos recolectados en las estaciones E0, E2 y E5 de la línea Callao, en abril 2019 (Fig. 15) se caracterizaron por el color grisáceo oscuro, negro grisáceo y negro, siendo característico de suelos donde la actividad sulfato reductora es intensa. Se hallaron valores de potencial redox que fluctuaron de -84mV (E0, costa) a -189mV (E5, talud), valores que corresponden a suelos reducidos con potencial negativo. Los carbonatos totales hallados mostraron una distribución característica para la zona de estudio, con valores que fluctuaron de 19,48% a 23,50%, correspondiendo el menor valor a la estación E2 ubicada en la plataforma interna. Los valores de carbono lábil estuvieron en el intervalo de 4,15% a 5,41%; correspondiendo el máximo a la estación E0/36m y el mínimo a la E2/95m mientras la MOT mostró un gradiente que se incrementó desde valores cercanos a 9% en la costa hasta 29% en la estación ubicada en el talud.

En agosto los sedimentos marinos recolectados en las estaciones E0, E2 y E5 de la Línea Callao (Fig. 15) mantuvieron características de sedimentos con intensa actividad sulfato reductora, por el color verde grisáceo oscuro y negro grisáceo. El potencial redox de los sedimentos superficiales mostró valores que fluctuaron entre -46mV y -334mV característica de los suelos reducidos con potencial negativo. Los menores valores de materia orgánica total hallados en los sedimentos

marinos superficiales fueron de 5,71% y 7,08% correspondiendo a la Estación E0, ubicada a 1 mn de la costa (30 m de profundidad), mostrando tendencia a incrementarse conforme se aleja de la zona costera, valores de 10,67 en la estación E-2 y hasta 32,38% para la E-5. Patrón que ya es característico en la plataforma de Callao y podría asociarse con las corrientes sobre la plataforma.

El agua intersticial, en abril 2019, presentó valores de sulfuros de hidrógeno con tendencia a incrementarse conforme se profundizaron. Las concentraciones fluctuaron entre 1,16 μM y 73,75 μM (Fig. 16). En el caso de la estación 2 en superficie fueron bajos, mientras la estación 5 presentó alta concentración en el primer centímetro > 40,00 μM . El pH presentó un patrón inverso al sulfuro y fluctuó entre 7,2 y 7,9. Las mayores concentraciones de sulfuros se asociaron con bajos valores de pH.

En invierno en todas las estaciones se presentaron bajos valores en superficie y solo en las estaciones de la plataforma incrementó en el último cm (9-10 cm). Se hallaron valores mínimos de sulfuros con concentraciones que fluctuaron entre 0,31 μM y 1,31 μM y los máximos valores de 89,964 μM (E0) y 126,295 (E2) μM (Fig. 16). Los menores valores de H₂S en agosto en la zona costera resultó de la menor disponibilidad de materia orgánica propio del cambio de estación. 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, a pesar de esperarse menores valores en abril con

respecto a agosto, por la alta remineralización de MO y producción de CO₂ los menores valores se observaron en agosto (Fig. 16).

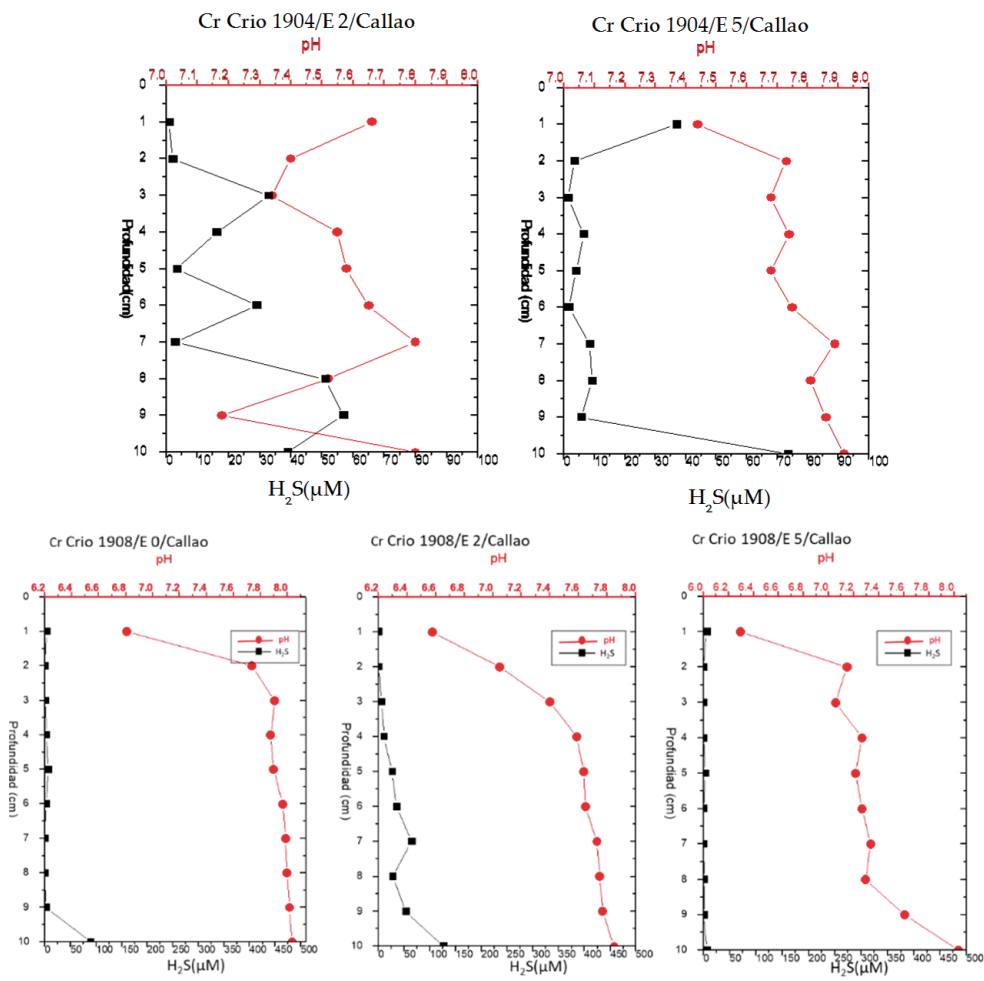


Figura 15.- Distribución de Sulfuros de Hidrógeno (H₂S) en el agua intersticial durante los CRIOS de abril y agosto 2019 en las estaciones costera (E 0), plataforma interna (E2) y Talud (E5) de la Línea Callao

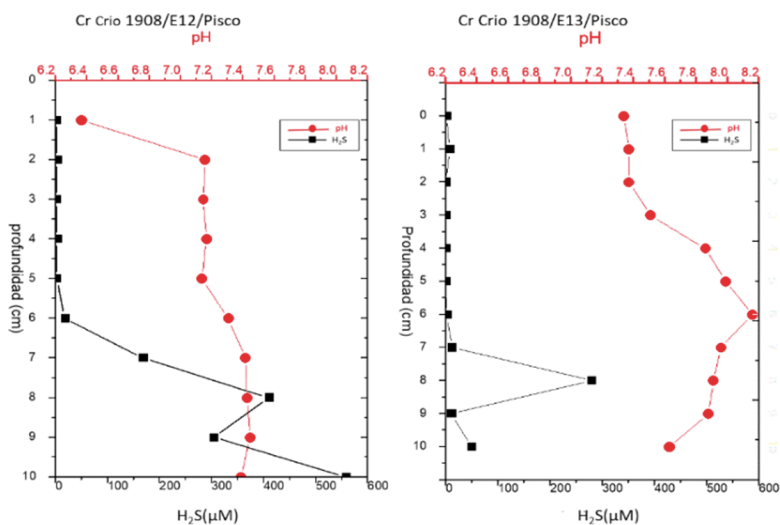


Figura 16.- Distribución de Sulfuros de Hidrógeno (H₂S) en el agua intersticial durante el CRIO de agosto 2019 en las estaciones E12 y la más costera E13 de la Línea Pisco

En Pisco, en abril, no fue posible caracterizar los sedimentos, mientras que, en agosto, los sedimentos se caracterizaron por presentar valores de sulfuros de hidrógeno que fluctuaron entre 0,580 μM y 2,448 μM , concentraciones que dominaron los primeros 6 cm. En las secciones más profundas las concentraciones de los sulfuros tendieron a incrementarse significativamente, hallándose valores entre 279,995 μM y 558,450 μM , más elevados que los observados tanto en abril como en agosto en Callao (Figs. 15, 16). El pH se incrementó hacia la profundidad presentando la E12 un pH de aprox. 6,40 mientras en la E13 fue de 7,10, en profundidades intermedias el mayor valor de pH fue 8,20.

Distribución de recursos pesqueros

En abril tuvimos la oportunidad de realizar una exploración durante el crucero del componente de recursos a través de información acústica. Los resultados indicaron que la anchoveta se presentó desde 2 hasta 35 mn de costa, mostrando tres núcleos principales. Un núcleo entre 5 y 35 mn de distancia de costa entre Callao y Pucusana con un área con categoría de abundancia densa entre 15 y 30 mn de costa. Otro núcleo entre Cerro Azul y Pisco entre 2 y 30 mn de costa incluyendo tres áreas, una densa y dos muy densas en su interior. El último núcleo muy disperso y más pequeño estuvo entre 20 y 30 mn de distancia a costa frente a Lagunillas y bahía Independencia con categoría de abundancia dispersa (Fig. 17a). Durante la prospección de monitoreo biológico (7-13 de agosto) se presentaron núcleos densos frente a Chancay y Callao dentro de las 10 mn.

En invierno se observó abundante cantidad de huevos en toda el área (>4000, en la zona de Chancay, Callao y Pucusana).

La múnida presentó distribución desde 2 hasta 25 mn de costa, mostrando tres núcleos principales (Fig. 17b). Un núcleo entre 5 y 25 mn de distancia de costa frente al Callao con categoría dispersa, otro núcleo disperso entre San Andrés y Pisco entre 25 y 30 mn de costa y el último núcleo estuvo entre Pisco y bahía Independencia entre 5 y 25 mn de costa con categoría dispersa y muy dispersa. En agosto, al sur de 10°S, se presentaron agregaciones dentro de las 10 mn. Su mayor densidad se encontró al norte de Huacho entre Supe y Huarney y frente a Salaverry y Chicama.

La distribución vertical de la anchoveta alcanzó profundidad de 3 a 40 m, las agregaciones más densas fueron registradas entre 5 y 20 m de profundidad. La anchoveta estuvo asociada a la múnida, pero siempre manteniéndose por encima de ésta (Fig. 18). En agosto, durante el Monitoreo reproductivo 1908, en la zona central se encontró distribución de anchoveta por encima de 40 m frente a Huacho, mientras en Callao por encima de 20 m, significativamente diferente a lo encontrado al norte de 9°S que llegó hasta casi 60 m.

La distribución vertical de la múnida fue de 2 a 40 m de profundidad. Las agregaciones más densas fueron registradas entre 2 y 20 m, asociadas en la zona más costera a la anchoveta, pero siempre por debajo de ella (Fig. 18).

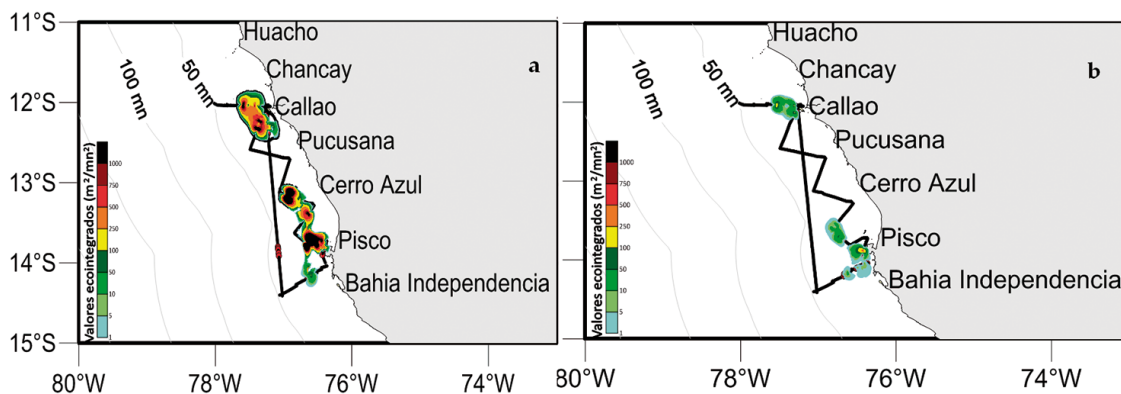


Figura 17.- Distribución de anchoveta (a) y múnida (b) obtenida a partir de información acústica

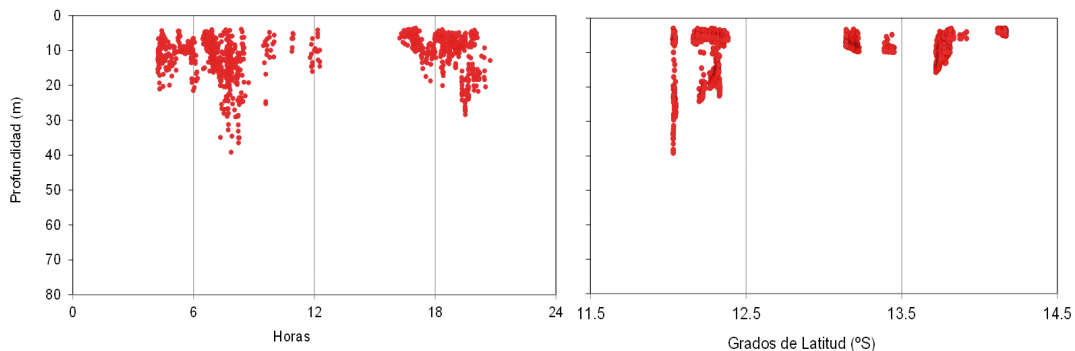


Figura 18.- Distribución vertical de anchoveta y múnida

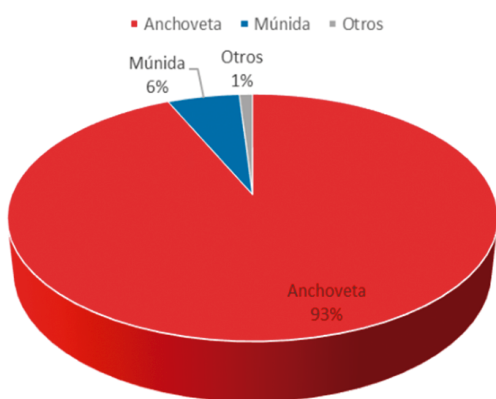


Figura 19.- Composición por especies de las capturas. CRIO 1904, abril Callao

Composición por especies de las capturas

Desde Callao hasta Pisco (12°S a 14°S) se realizaron 4 lances de comprobación de registros acústicos, siendo todos positivos para *Engraulis ringens* "anchoveta". Se obtuvo una captura de 185,0 kg, la mayor proporción correspondió a la anchoveta (172,0 kg, 93%) seguido de *Pleuroncodes monodon* "múnida" (11,1 kg, 6%), y otras especies registraron 1,9 kg (1%). Dentro de estos, se encontró bagre, merluza, anguila, argonauta, calamar, caballa, cojinova, faso volador (Fig. 19). En agosto la captura estuvo compuesta por múnida (53,17%) y anchoveta (45,47%).

Durante el Crucero Intensivo Oceanográfico, el rango de tallas encontrado abarcó de 7,5 cm a 15,5 cm de LT, la moda principal fue hallada en 11,5 cm LT. El porcentaje de individuos juveniles fue 71,9% (Fig. 20).

Según grados de latitud, en 12°S la anchoveta presentó moda en 11,5 cm LT y la incidencia de ejemplares juveniles fue de 63,9%. En el

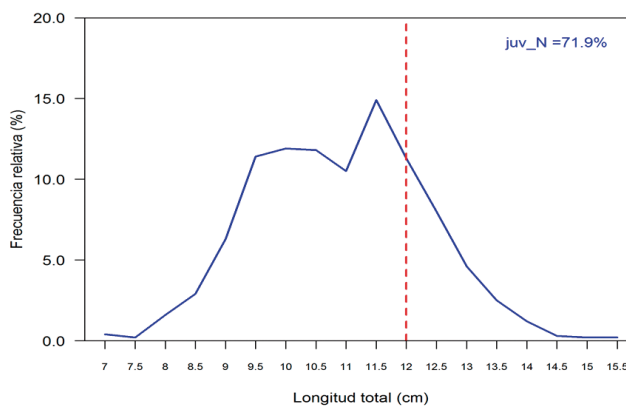


Figura 20.- Estructura de tallas de anchoveta, CRIO 1904, abril Callao

13°S la moda fue de 9,5 cm LT y la incidencia de juveniles fue 79,7%; finalmente, en el 14°S la moda se encontró en 11,5 cm LT y la incidencia de juveniles en 63,9% (Fig. 21). En agosto, el rango de tallas fue de 6,5 a 16,5 LT y una moda en 13 cm LT con 6,9% de juveniles, el mayor porcentaje de juveniles estuvo en el grado 11°S (40,6%) dentro de las 5 mn (Monitoreo reproductivo 1908).

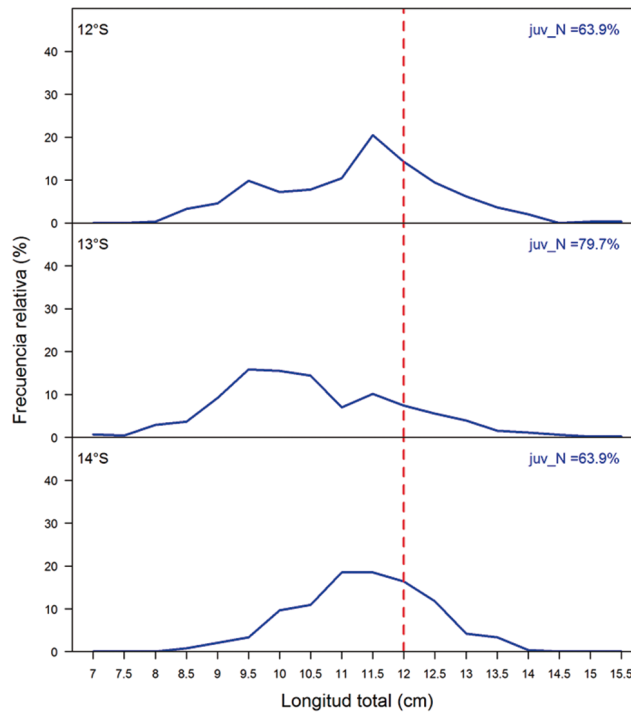


Figura 21. Estructura de tallas de anchoveta por grado latitudinal durante el CRIO 1904

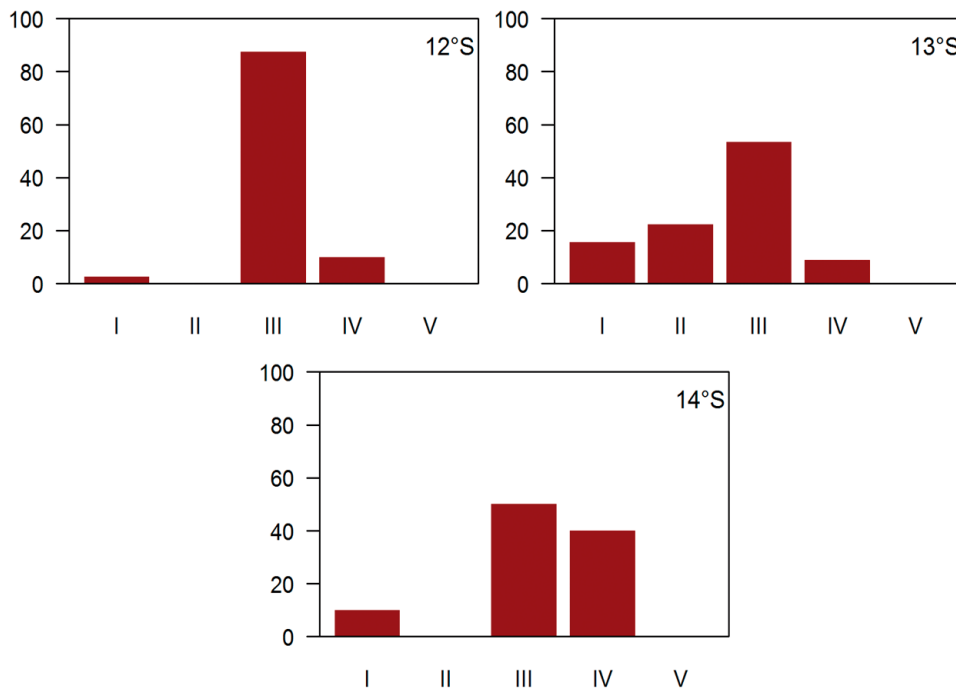


Figura 22.- Fases de madurez gonadal de anchoveta durante el CRIO1904. Siendo: Reposo (I), En maduración (II), Maduro (III), Desovante (IV) y Recuperación (V)

Como fauna acompañante de anchoveta en 12°S se encontraron tres ejemplares de *Merluccius gayi* "merluza", dos de los ejemplares de 4,0 cm LT y uno de 7,0 cm. En el mismo lance, se encontraron siete "bagres" de tallas entre 24,0 cm y 28,0 cm LT, con mayor

frecuencia en 26,0 cm LT. En el grado 14°S hubo presencia de 1 ejemplar de "caballa" *Scomber japonicus peruanus* de 17,0 cm LH. En invierno el Monitoreo Oceanográfico 1908 registró samasa *Anchoa nasus* y falso volador *Prionotus stephanophrys*.

Estado reproductivo de anchoveta *Engraulis ringens*

Para conocer la condición reproductiva de anchoveta, se analizaron 82 hembras adultas desde 12°S hasta 14°S. El índice gonadosomático (IGS) fue estimado en 3,5 para las hembras adultas. Valor que se encontró por debajo del valor crítico (5,0) indicador del periodo importante de actividad reproductiva. La fracción desovante (FD) en el área explorada fue calculada en 17,1%, encontrándose por debajo de su valor crítico. La madurez gonadal en los grados evaluados, fue madura, con mayor presencia en fase III (maduro), seguido de la fase IV (desovante) y II (en maduración) (Fig. 22).

En agosto el índice gonadosomático (IGS) en toda el área evaluada superó su valor crítico, indicando una importante actividad reproductiva en toda el área. El valor de la fracción desovante (FD), no superó su valor crítico; sin embargo, los valores obtenidos en los 7°S, 8°S, 11°S y 12°S, indicaron incremento de la actividad desovante en esos grados, los cardúmenes desovantes más importantes estuvieron frente a Chicama, Punta Chao y entre Callao y Chancay (Monitoreo reproductivo 1908).

4. DISCUSIÓN

Los cruceros CRIO frente a Callao, permitieron caracterizar las condiciones en abril, periodo de mayor productividad y en agosto de mayor afloramiento durante el 2019, que se caracterizó por presentar condiciones neutras (ENFEN, 2019). A lo largo del año se presentaron periodos con vientos intensos alternando con vientos débiles. En abril, los vientos presentaron intensidades moderadas y fuertes activando el afloramiento costero, en invierno se mantuvieron condiciones de afloramiento, aunque en el caso de agosto el viento se debilitó en gran parte del mes, predominando valores de 4 m/s o menos, pero con la influencia de una onda Kelvin que determinó condiciones frías.

Durante el estudio las condiciones oceanográficas indicaron presencia de Aguas Costeras Frías (ACF, salinidad <35,1) y un activo afloramiento costero, presentándose Aguas Subtropicales Superficiales (ASS) y la profundización de la isoterma de 15 °C hacia la costa. El indicador

de Aguas Costeras Frías (ACF), *Protoperidinium obtusum*, se distribuyó ampliamente. El área central se observó muy productiva con anomalías positivas y el incremento de diatomeas. Por su parte, en invierno se mantuvo un activo afloramiento costero en toda la transecta, altos nutrientes y disminuyó la productividad, aspecto característico en el afloramiento frente a Perú lo muestran los estudios de CALIENES (1985, 2014) y CHAVEZ & MESSIE (2008).

En relación a la ZMO, en abril se presentó somera, de 20 a 50 m y, en agosto se mantuvo somera. LEDESMA (2011) y GRACO *et al.* (2017) indican que en periodos cálidos o por influencia de ondas Kelvin puede profundizarse la ZMO. En abril la distribución de la ZMO no siguió exactamente el patrón de la isoterma de 15 °C que se profundiza en la costa, lo cual podría asociarse a la llegada de una onda Kelvin cálida (ENFEN, 4-2019), mientras en agosto se observó somera a pesar de la época de invierno lo que podría asociarse con la llegada de la onda Kelvin fría (ENFEN, 08-2019). Los valores de pH trazaron muy bien la dinámica del afloramiento.

En abril los sedimentos se presentaron reducidos, con alta MOT y producción de H₂S. Dominó *Paraprionospio pinnata* y hubo un significativo incremento de los tapices bacterianos de *Candidatus Marithioploca*. La presencia de alogrónidos indicaron cambios en las condiciones bentónicas comparadas con el período anterior. En agosto, el sedimento se mantuvo con características reducidas y alta carga orgánica, aunque se detectó menor tasa de sulfato reducción que se evidenció en bajas concentraciones de H₂S en el agua intersticial. La comunidad bentónica reflejó cambios interesantes en la comunidad asociada a cambios en la oxigenación y materia orgánica que a escala interanual se asocia con el efecto de El Niño y la variabilidad de la ZMO (GUTIÉRREZ *et al.*, 2008). Sin embargo, cada evento cálido puede impactar de forma diferente y el bentos no necesariamente reflejar los cambios en la columna de agua pudiendo presentar efectos desfasados por su naturaleza integradora (ARAMAYO *et al.*, en revisión). A diferencia del año 2018 *Paraprionospio pinnata* y *Candidatus Marithioploca* volvieron a predominar en abril y disminuyó *Magelona phyllisae* lo que indicaría un ambiente reducido restablecido. Al analizar la comunidad de foraminíferos en la estación costera y la oceánica

se observó mayor variabilidad en la costa y alternancia de especies y grupos. *Allogromia* sp. 1 se observó en más del 50% hasta agosto en que desaparece cuando *Bolivina seminuda* se incrementa. *B. seminuda* y *Buliminella tenuata* se identifican como especies que pueden estar en ambientes de anoxia mientras, *B. pacifica* ocurre con más frecuencia en postoxia (lo cual indica que si bien no hay oxígeno no hay presencia de sulfuros a diferencia del anóxico) y mayor materia orgánica preservada.

Durante el estudio se observaron núcleos importantes de anchoveta, distribuyéndose entre 2 y 30 mn. En las calas representó el 93% de la captura total. La distribución fue somera con incidencia de 71% en juveniles. Se observaron huevos de anchoveta, que en abril se incrementaron y distribuyeron hasta 40 mn. Las larvas se localizaron hasta 13,5 mn con un núcleo a 50 mn. En agosto la anchoveta, tal como indicó el monitoreo reproductivo presentó un núcleo de abundancia entre Chancay y Callao dentro de las 20 mn de la costa con distribución vertical superficial, detectándose principalmente dentro de los 20 m de profundidad. La estructura de tallas se presentó de 6,5 a 16,5 cm, con 6,9% de ejemplares juveniles y una importante actividad reproductiva en toda el área y entre los 11°S y 12°S incremento de la actividad desovante (Monitoreo reproductivo 1908).

5. CONCLUSIONES

Las condiciones de abril y agosto de 2019 mostraron una zona central con condiciones neutras, activo afloramiento costero y cierto impacto remoto modulador de algunos aspectos oceanográficos como la profundidad de la isoterma de 15 °C y anomalías térmicas positivas que se observaron subsuperficialmente.

Se observaron dos períodos que reflejaron patrones estacionales en productividad y nutrientes. En la costa se observó incremento en abundancia de diatomeas principalmente en abril, en la parte oceánica dominó el nanoplancton y fitoflagelados, estos últimos se presentaron en todas las estaciones en agosto.

El bentos se ordenó a condiciones "normales" apareciendo dominante *Paraprionospio pinnata* e incrementando *Candidatus Marithioploca* que

indican producción de H₂S, en particular en los sedimentos superficiales.

El ensamble de foraminíferos reflejó cierta normalización en las condiciones de oxigenación y calidad de la materia orgánica. La presencia de alorónidos indicó cambios en las condiciones bentónicas.

Durante el estudio se observaron núcleos importantes de *Engraulis ringens*, anchoveta distribuidas entre 2 y 30 mn tanto en abril como en agosto. En abril representó el 93% de la captura total, con distribución somera e incidencia de 71% en juveniles. La condición reproductiva fue principalmente madura para toda la población adulta. En agosto una de las zonas de mayor abundancia de anchoveta estuvo entre Chancay-Callao dentro de las 20 mn de la costa con distribución vertical superficial, detectándose dentro de los 20 m de profundidad. La estructura de tallas se presentó en un rango de 6,5 a 16,5 cm, con 6,9% de ejemplares juveniles. La actividad reproductiva fue importante en toda el área y entre 11°S y 12°S hubo incremento de la actividad desovante.

6. REFERENCIAS

- ARAMAYO V, ROMERO D, QUIPÚZCOA L, MARQUINA R, GRACO M, SOLÍS J, VELAZCO F. (En revisión). Respuestas del bentos marino frente al Niño Costero 2017 en la plataforma continental de Perú Central (Callao, 12°S). Boletín Imarpe.
- BALECH E. 1988. Los dinoflagelados del Atlántico Sudoccidental. Madrid: Editorial Publicaciones Especiales. Instituto Español de Oceanografía. p. 195.
- CALIENES R. 2014. Producción primaria en el ambiente marino en el Pacífico sudeste, Perú, 1960-2000. Bol Inst Mar Perú. 29(1-2): 306.
- CALIENES R, GUILLÉN O, LOSTAUNAU N. 1985. Variabilidad espacio temporal de clorofila, producción primaria y nutrientes frente a la costa peruana. Bol Inst Mar Perú. 10 (1): 1-44.
- 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, MESSIE 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.
- 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.
- ENFEN. 2019. Comunicado oficial ENFEN. Nros. 4, 5, 8, 9.
- 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.
- HASLE G R, SYVERTSEN E E. 1996. Marine diatoms. In: Identifying marine phytoplankton. (Tomas, C.R. Eds), San Diego: Academic Press. pp. 5-385.
- HOLME N, McINTYRE V N. 1971. Methods for the study of marine benthos. *International Biological Programme*. 147 pp.
- INTERGOVERNMENTAL OCEANOGRAPHIC COMMISSION, IOC. 2010. Karlson, B., Cusack, C. and Bresnan E. (editors). Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis. Paris, UNESCO. IOC Manuals and Guides, N° 55. 110 pp.
- 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 Chemical Acta*. 151: 297-314.
- MONITOREO REPRODUCTIVO 1908. 2019. Monitoreo del proceso reproductivo de la anchoveta peruana *Engraulis ringens* del stock norte centro (Pucusana-Chicama). 7 al 13 agosto 2019. Dirección General De Investigaciones De Recursos Pelágicos. Informe final no publicado.
- 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.
- SCHÖNFELD J, ALVE E, GESLIN E, JORISSEN F, KORSUN S, SPEZZAFERRI S, and Members of the FOBIMO group. 2012. The FOBIMO (Foraminiferal Bio-Monitoring) initiative—Towards a standardized protocol for soft-bottom benthic foraminiferal monitoring studies. *Marine Micropaleontology*. 94-95: 1-13.