

CONDICIONES QUÍMICAS EN EL OTOÑO POST EL NIÑO COSTERO 2017 DURANTE EL CRUCERO DE EVALUACIÓN DE RECURSOS DEMERSALES 2017-0506

CHEMICAL CONDITIONS IN AUTUMN AFTER THE 2017 COASTAL EL NIÑO DURING THE 2017-0506 RESEARCH CRUISE FOR DEMERSAL RESOURCES

Jesús Ledesma¹ Wilson Carhuapoma¹ Kevin Díaz¹ Daniel Quispe²
Miguel Sarmiento¹ Carlos Robles¹ Michelle Graco¹

<https://doi.org/10.53554/boletin.v37i2.376>

RESUMEN

LEDESMA, J., CARHUAPOMA, W., DÍAZ, K., QUISPE, D., SARMIENTO, M., ROBLES, C., GRACO, M. (2022). *Condiciones químicas en el otoño post El Niño Costero 2017 durante el Crucero de Evaluación de recursos demersales 2017-0506*. Bol Inst Mar Perú. 37(2): 338-347.- Se presentan resultados de distribución de los parámetros químicos oxígeno, clorofila-a y nutrientes a lo largo de la costa peruana, obtenidos en otoño 2017 (27 de mayo - 15 de junio) dentro de 100 millas náuticas. El objetivo fue evaluar las condiciones químicas durante el crucero de recursos demersales en condición post- El Niño Costero 2017. En base a contenidos de oxígeno disuelto inferiores a 4,0 mL.L⁻¹ entre 20 y 40 mn, se identificaron celdas de afloramiento frente a Talara, Paita, Punta La Negra, en una extensa región de Mórrope a Salaverry y frente a Chicama. Frente a Puerto Pizarro el contenido de oxígeno superó a 0,5 mL.L⁻¹ en la columna de agua sobre 300 m y, frente a Paita el borde superior de la Zona de Mínima de Oxígeno (ZMO <0,5 mL.L⁻¹) se encontró por debajo de 200 m de profundidad. Estas condiciones de oxigenación en la zona norte corresponderían a efectos remanentes de la fase final de El Niño Costero 2017. En Chicama se observó la ZMO más somera cubriendo parte de la plataforma por encima de 50-100 m, con cierta oxigenación entre 20 y 50 mn, mientras en Chimbote la ZMO cubrió la plataforma desde 25 m. En cuanto a las concentraciones de clorofila-a, en promedio, fueron mayores a 2,5 µg.L⁻¹, con un núcleo frente a Paita de más de 5,0 µg.L⁻¹ y valor máximo de 23,08 µg.L⁻¹ frente a Chimbote. Este último correspondió a una proporción de Nitrógeno / Fósforo (N/P) de 4,81, comportamiento no redfieldiano (16), debido a un alto consumo de nitrato.

PALABRAS CLAVE: post El Niño 2017, oxígeno, ZMO, clorofila, nutrientes

ABSTRACT

LEDESMA, J., CARHUAPOMA, W., DÍAZ, K., QUISPE, D., SARMIENTO, M., ROBLES, C., GRACO, M. (2022). *Chemical conditions in autumn after the 2017 coastal El Niño during the 2017-0506 Research Cruise for demersal resources*. Bol Inst Mar Perú. 37(2): 338-347.- Our work presents the results of the distribution of oxygen, chlorophyll-a, and nutrient along the Peruvian coast, obtained in autumn 2017 (May 27 to June 15) within 100 nm. We aimed to evaluate the chemical conditions during the research cruise targeting demersal resources after the occurrence of the 2017 coastal El Niño (cEN). Upwelling cells were found off Talara, Paita, Punta la Negra, in an extensive region between Mórrope and Salaverry and off Chicama, resulting from oxygen contents below 4.0 mL.L⁻¹ within 20 to 40 nm, approximately. Off Puerto Pizarro, the oxygen content exceeded 0.5 mL.L⁻¹ in the water column over 300 m deep, while off Paita, the upper edge of the Oxygen Minimum Zone (< 0.5 mL.L⁻¹) was located below 200 m deep. In the northern zone, these oxygenation conditions would correspond to the remnant effects of the final phase of the 2017 cEN. Regarding Chicama, a shallower OMZ was observed, covering part of the shelf above 50-100 m, with some oxygenation between 20 and 50 nm, while in Chimbote it covered the shelf up to 25 m deep. The chlorophyll-a concentrations, on average, were higher than 2.5 µg.m⁻³, with one cell off Paita with more than 5.0 µg.m⁻³, and a maximum value of 23.08 µg.m⁻³ off Chimbote. The latter was associated with a Nitrogen/Phosphorus (N/P) ratio of 4.81, a non-redfieldian behavior, due to high nitrate consumption.

KEYWORDS: post-El Niño 2017, oxygen, OMZ, chlorophyll, nutrients

1. INTRODUCCIÓN

Posterior al evento El Niño Costero 2017, en otoño, del 27 de mayo al 15 de junio 2017 se realizó el Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y Otros recursos Demersales. El contexto ocea-

1. INTRODUCTION

The Research Cruise targeting Hake and Other Demersal Resources was carried out in autumn, from May 27 to June 15, 2017, after the occurrence of the 2017 Coastal El Niño (cEN). In May, ENFEN

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

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

nográfico emitido en el comunicado ENFEN 2017 en mayo, señaló valor del Índice Costero El Niño (ICEN) en $+0,52\text{ }^{\circ}\text{C}$, correspondiente a condiciones cálidas débiles. En promedio, la costa norte y centro presentaron anomalías positivas de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) de $+0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, en rango de $-2,5$ a $+3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Anomalías térmicas entre $+2$ y $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ se observaron al norte de Punta Sal y frente a Pimentel – Mórrope, asociadas a temperaturas mayores de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. En las estaciones fijas costeras, en la primera quincena de junio, se registró profundización de las isotermas desde Paita hasta Callao, con anomalías positivas de temperatura en la columna de agua. Los resultados indicarían el arribo de una onda Kelvin cálida a la costa peruana en la última fase de El Niño Costero 2017. Por su parte, ENFEN (2017) indicó que «en las secciones oceanográficas de Paita, Chicama y Callao en el mismo período, se observaron anomalías positivas de la TSM de $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ promedio sobre 100 m de profundidad y la intensificación de la Corriente Costera Peruana entre Callao y Paita».

2. MATERIAL Y MÉTODOS

El área de estudio estuvo comprendida desde Puerto Pizarro hasta Chimbote, cubriéndose el norte y centro de Perú hasta aproximadamente 70 mn de la costa. La distribución de las estaciones se aprecia en la carta de localización (Fig. 1).

published the oceanographic context in the ENFEN 2017 communiqué, which indicated an El Niño Coastal Index (ENCI) value of $+0.52\text{ }^{\circ}\text{C}$, corresponding to weak warm conditions. The northern and central coast had positive Sea Surface Temperature (SST) anomalies of $+0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ on average, in the range of -2.5 to $+3.7\text{ }^{\circ}\text{C}$. At the north of Punta Sal and off Pimentel-Mórrope, we observed thermal anomalies between $+2$ and $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$, associated with temperatures higher than $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. During the first fortnight of June, a deepening of the isotherms from Paita to Callao was recorded at the fixed coastal stations, with positive temperature anomalies in the water column. The results would indicate the arrival of a warm Kelvin wave to the Peruvian coast in the last phase of the 2017 cEN. In turn, ENFEN (2017) indicated that «positive SSTA of an average of $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$, over 100 m deep and the intensification of the Peruvian Coastal Current between Callao and Paita were observed in the oceanographic sections of Paita, Chicama, and Callao during the same period».

2. MATERIAL AND METHODS

The study area ranged from Puerto Pizarro to Chimbote, covering northern and central Peru up to approximately 70 nm offshore. Figure 1 shows the distribution of the stations.

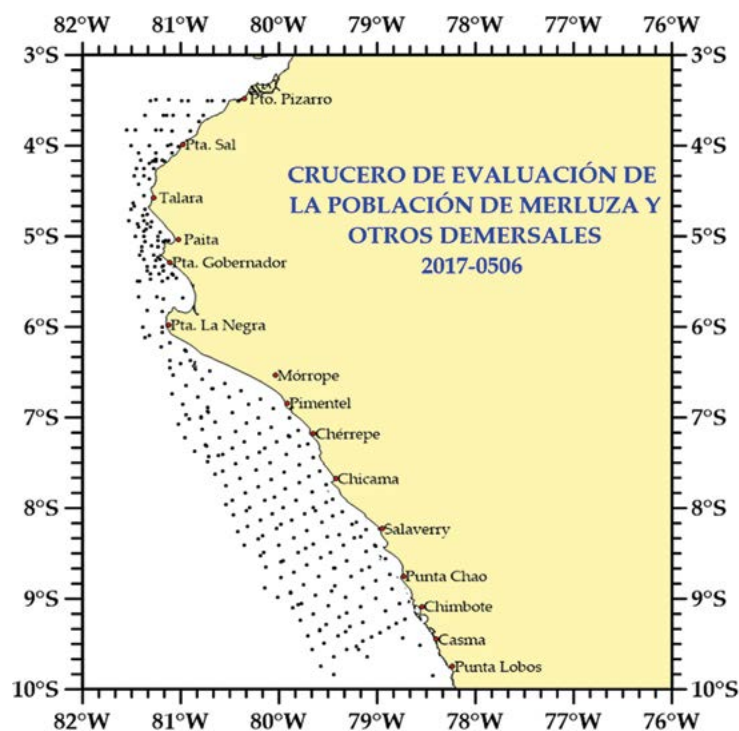


Figura 1.- Carta de Localización de Estaciones. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y Otros Demersales 2017-0506

Figure 1. Station Location Chart. 2017-0506 Research Cruise targeting Hake and Other Demersal Resources

Se obtuvieron muestras para análisis de oxígeno disuelto, nutrientes y clorofila-a. La toma de muestras superficiales se realizó mediante un recipiente plástico (balde) y las de profundidad con botellas Niskin a niveles estándares de: 10, 25, 50, 75, 100, 200 y 300 m. La determinación de oxígeno disuelto se efectuó a bordo empleando el método de Winkler modificado por CARRIT & CARPENTER (1966), pero los datos utilizados en las secciones verticales provinieron del CTD-O sensor SBE43, por tener mayor resolución espacial.

Las muestras de nutrientes fueron congeladas para su preservación y posteriormente analizadas en laboratorio para la cuantificación de acuerdo con técnicas y modificaciones dadas por STRICKLAND & PARSONS (1972). Para clorofila-a se tomó información del MODIS AQUA de 9 km, del 27 de mayo al 15 de junio. La clorofila-a *in situ* fue analizada por la técnica fluorométrica definida por KNAP *et al.* (1996).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución horizontal de Oxígeno Disuelto

Las concentraciones superficiales de oxígeno disuelto frente a las costas norte y centro del Perú estuvieron en un rango de 2,86 a 6,79 mL.L⁻¹, registrando isoxígenas de 3,0 a 6,0 mL.L⁻¹ (Fig. 2), asociadas a isotermas de 18,0 °C a 27,0 °C. La isoxígena de 4,0 mL.L⁻¹ delimitó las celdas de afloramiento, localizándolas frente a Talara, Paita, Punta la Negra y una extensa región entre Mórrope y Salaverry. El mínimo de 3,0 mL.L⁻¹ de oxígeno disuelto se observó frente a Chicama y concentraciones superiores a 5,5 mL.L⁻¹ se detectaron entre Punta Gobernador y Punta La Negra con máximo de 6,8 mL.L⁻¹ asociado a la actividad fotosintética de las floraciones algales observadas durante el estudio.

El oxígeno disuelto subsuperficial a 100 m, presentó valores entre 0,47 y 2,20 mL.L⁻¹. Valores superiores a 1,5 mL.L⁻¹ se ubicaron al norte de Mórrope con isoxígena máxima de 2,0 mL.L⁻¹ frente a Puerto Pizarro. Se resalta que, para el nivel de 100 m predominaron concentraciones de oxígeno superiores a 1,0 mL.L⁻¹, indicando un ambiente relativamente oxigenado y los valores más bajos estuvieron al sur de Mórrope-Pimentel (Fig. 3).

We obtained samples for dissolved oxygen, nutrients, and chlorophyll-a analysis. Surface samples were taken using a plastic container (bucket) and depth samples were taken with Niskin bottles at standard levels of 10, 25, 50, 50, 75, 100, 200, and 300 m. Dissolved oxygen was determined onboard using the Winkler method modified by CARRIT & CARPENTER (1966), but the data used in the vertical sections came from the SBE 43 CTD-O sensor, as it has a higher spatial resolution.

Nutrient samples were frozen for preservation and were then analyzed in the laboratory for quantification according to the techniques and modifications given by STRICKLAND & PARSONS (1972). For chlorophyll-a, 9 km MODIS AQUA data were taken from 27 May to 15 June. *In situ* chlorophyll-a was analyzed by the fluorometric technique defined by KNAP *et al.* (1996).

3. RESULTS AND DISCUSSION

Horizontal Distribution of Dissolved Oxygen

Surface dissolved oxygen concentrations off the northern and central Peruvian coasts ranged from 2.86 to 6.79 mL.L⁻¹, recording iso-oxygen concentrations from 3.0 to 6.0 mL.L⁻¹ (Fig. 2), which were associated with 18.0 °C to 27.0 °C isotherms. The 4.0 mL.L⁻¹ isoxygen delimited the upwelling cells, locating them off Talara, Paita, Punta la Negra, and an extensive region between Mórrope and Salaverry. Off Chicama, a minimum of 3.0 mL.L⁻¹ of dissolved oxygen was observed. Conversely, concentrations above 5.5 mL.L⁻¹ were recorded between Punta Gobernador and Punta La Negra, with a maximum of 6.8 mL.L⁻¹ associated with the photosynthetic activity of the algal blooms observed during our study.

At 100 m, subsurface dissolved oxygen values ranged from 0.47 to 2.20 mL.L⁻¹. Values higher than 1.5 mL.L⁻¹ were found north of Mórrope, with a maximum iso-oxygen concentration of 2.0 mL.L⁻¹ off Puerto Pizarro. It is noteworthy that, for the 100 m level, oxygen concentrations above 1.0 mL.L⁻¹ predominated, which is indicative of a relatively oxygenated environment, and the lowest values were located south of Mórrope-Pimentel (Fig. 3).

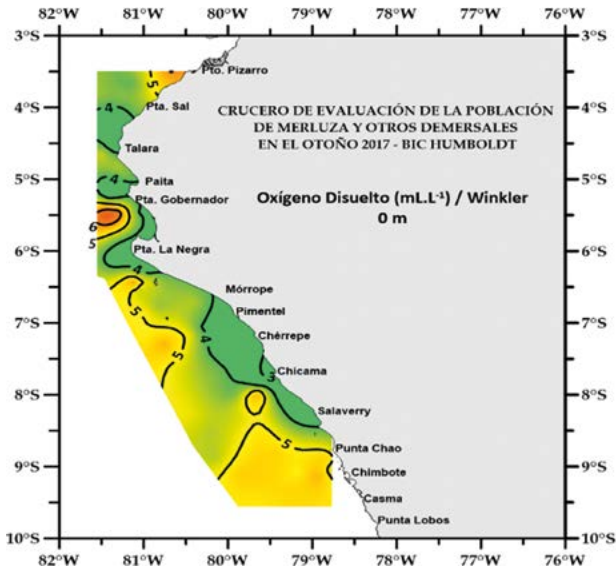


Figura 2.- Distribución Superficial de Oxígeno disuelto (mL.L^{-1}). Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y Otros Demersales 2017-0506

Figure 2. Surface distribution of dissolved oxygen (mL.L^{-1}). 2017-0506 Research Cruise targeting Hake and Other Demersal Resources

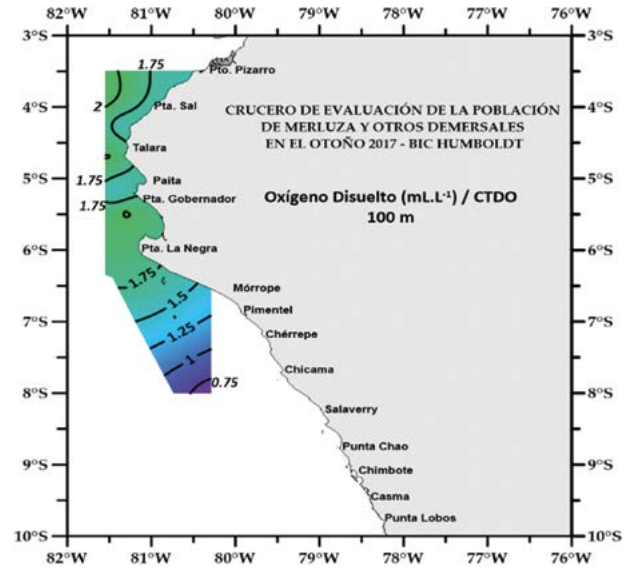


Figura 3.- Distribución al Nivel de 100 m de Oxígeno disuelto (mL.L^{-1}). Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y Otros demersales 2017-0506

Figure 3. Distribution of dissolved oxygen (mL.L^{-1}) at the 100 m level. 2017-0506 Research Cruise targeting Hake and Other Demersal Resources

Distribución vertical de Oxígeno Disuelto

Los perfiles de oxígeno disuelto frente a Puerto Pizarro, Paita y Chicama, evidenciaron el gradiente latitudinal. Puerto Pizarro presentó hasta la profundidad de 300 m, contenidos de oxígeno disuelto superiores a $0,5 \text{ mL.L}^{-1}$ (límite superior de la Zona de Mínimo de Oxígeno -ZMO) (Fig. 4).

Vertical distribution of Dissolved Oxygen

The latitudinal gradient was evident in the dissolved oxygen profiles off Puerto Pizarro, Paita, and Chicama. Puerto Pizarro showed dissolved oxygen contents above 0.5 mL.L^{-1} (upper limit of the Oxygen Minimum Zone -OMZ) up to 300 m deep (Fig. 4).

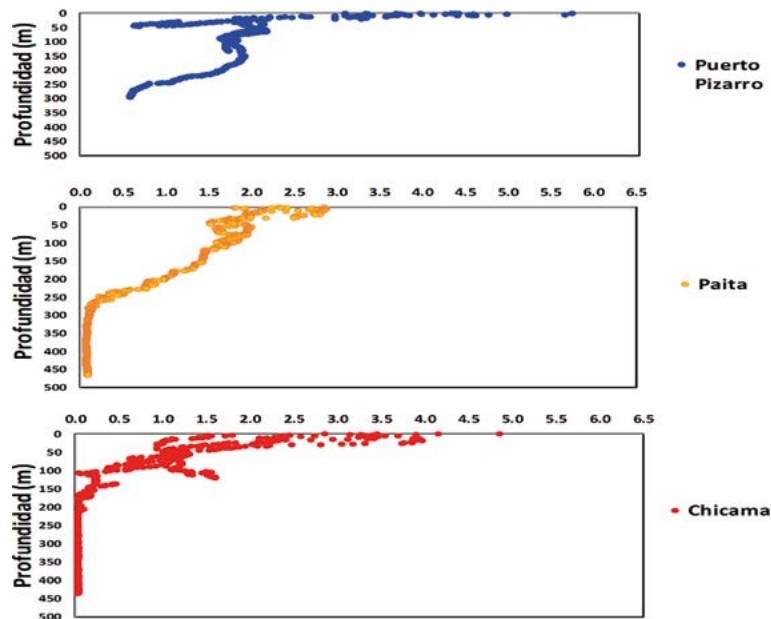


Figura 4.- Oxígeno disuelto (mL.L^{-1}) vs. profundidad (m), frente a Puerto Pizarro, Paita y Chicama. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y Otros Demersales 2017-0506

Figure 4. Dissolved oxygen (mL.L^{-1}) vs. depth (m), off Puerto Pizarro, Paita, and Chicama. 2017-0506 Research Cruise targeting Hake and Other Demersal Resources

Tabla 1.- Resumen de Datos Físicoquímicos de las secciones Puerto Pizarro, Paita y Chicama. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y Otros Demersales 2017-0506

Table 1. Summary of Physicochemical Data for Puerto Pizarro, Paita, and Chicama. 2017-0506 Research Cruise targeting Hake and Other Demersal Resources

Estación/ Station	Fecha/ Date	Latitud/ Latitude		Longitud/ Longitude		Sección/ Section	Distancia a costa/ Distance to coast (mn)	Profundidad/ Depth (m)	CTD		
		°	Minuto/ minute	°	Minuto/ minute				Temperatura/ Temperature (°C)	Salinidad/ Salinity (ups)	Oxígeno/ Oxygen (mL.L ⁻¹)
C-3	27/05/2017	3	29,960	80	59,530	Puerto Pizarro	30	50	17,79	35,078	2,10
C-3	27/05/2017	3	29,960	80	59,530	Puerto Pizarro	30	100	17,05	35,009	1,77
C-3	27/05/2017	3	29,960	80	59,530	Puerto Pizarro	30	150	16,75	35,018	1,91
C-3	27/05/2017	3	29,960	80	59,530	Puerto Pizarro	30	200	16,19	34,979	1,65
4	20/05/2017	4	59,972	81	45,063	Paita	40	50	17,70	35,192	2,34
4	20/05/2017	4	59,972	81	45,063	Paita	40	100	16,86	35,138	2,15
4	20/05/2017	4	59,972	81	45,063	Paita	40	150	15,75	35,039	1,28
4	20/05/2017	4	59,972	81	45,063	Paita	40	200	14,83	35,013	0,35
160	10/06/2017	8	15,713	80	25,437	Chicama	68	50	16,94	35,037	1,02
160	10/06/2017	8	15,713	80	25,437	Chicama	68	100	14,77	34,976	0,49
160	10/06/2017	8	15,713	80	25,437	Chicama	68	150	14,07	34,938	0,21
160	10/06/2017	8	15,713	80	25,437	Chicama	68	200	13,48	34,905	0,07

Las secciones verticales de la distribución de oxígeno se presentan en la figura 5. En la sección Paita el afloramiento de aguas con bajas concentraciones de oxígeno disuelto, se ubicaron por dentro de 40 mn de la costa, mientras hacia afuera se registraron isoxígenas de 2,0 a 4,0 mL.L⁻¹ sobre la capa de 50 m de profundidad (Fig. 5a). En subsuperficie, desde 25 hasta 130 m, predominaron concentraciones de oxígeno de alrededor de 2,0 mL.L⁻¹ y el límite superior de la ZMO se localizó desde 180 m, profundizándose hasta 250 m, a 100 mn de la costa (Tabla 1). En la Tabla 2, se muestra la variabilidad del oxígeno disuelto en la columna de agua a 60 mn de Paita, de mayo a julio 2017, destacando la profundización de la ZMO por arribo de una onda Kelvin cálida (ENFEN, 2017).

Frente a Chicama la distribución de oxígeno disuelto reflejó, en las primeras 20 mn, condiciones de afloramiento, con la isolínea de 3,0 mL.L⁻¹ aflorando a la superficie. Se observaron condiciones de bajo oxígeno (< 0,5 mL.L⁻¹) sobre la plataforma (< 100 m) y el límite superior de la ZMO entre 100 y 200 m. Entre 30 y 40 mn se observó cierta oxigenación en el área (Tabla 1, Fig. 5 b).

Figure 5 shows the vertical sections of the oxygen distribution. Off Paita, the upwelling waters with low concentrations of dissolved oxygen were located within 40 nm offshore, while outwardly, we recorded iso-oxygen concentrations of 2.0 to 4.0 mL.L⁻¹ in the 50 m deep layer (Fig. 5a). In the subsurface, from 25 m to 130 m, oxygen concentrations of about 2.0 mL.L⁻¹ predominated, and the upper limit of the OMZ was located from 180 m, deepening to 250 m, at 100 nm offshore (Table 1). Table 2 shows the variability of dissolved oxygen in the water column at 60 nm from Paita, between May and July 2017, with the deepening of the OMZ resulting from the arrival of a warm Kelvin wave (ENFEN, 2017).

The dissolved oxygen distribution off Chicama reflected upwelling conditions in the first 20 nm, with the 3.0 mL.L⁻¹ isoline outcropping at the surface. We observed low oxygen conditions (< 0.5 mL.L⁻¹) over the shelf (< 100 m) and the upper boundary of the OMZ between 100 and 200 m. Some oxygenation was observed in the area between 30 and 40 nm (Table 1, Fig. 5 b).

Off Chimote, oxygen concentrations of less than 4.0 mL.L⁻¹ occurred within 20 nm, as observed in Chicama. Oxycline occurred above 25 m on the coast, deepening to 100 m between 60 and 70 nm.

En la sección Chimbote, similar a lo observado en Chicama, concentraciones de oxígeno inferiores a 4,0 mL.L⁻¹ se presentaron dentro de las 20 mn. La oxiclina se presentó por encima de 25 m en la costa profundizándose hasta 100 m entre 60 y 70 mn. El límite superior de la ZMO se distribuyó entre 25 m y aproximadamente 130 m fuera de la costa (Fig. 5 c).

The upper limit of the OMZ was distributed between 25 m and approximately 130 m offshore (Fig. 5 c).

Surface distribution of Chlorophyll-a

The MODIS AQUA satellite showed mesotrophic chlorophyll-a cells (>2.5 mg.m⁻³) between Paita and Punta La Negra. South of Salaverry, there was a continuous strip >5.0 mg.m⁻³ and a productive cell of 10.0 mg.m⁻³, 10 nm off Chimbote.

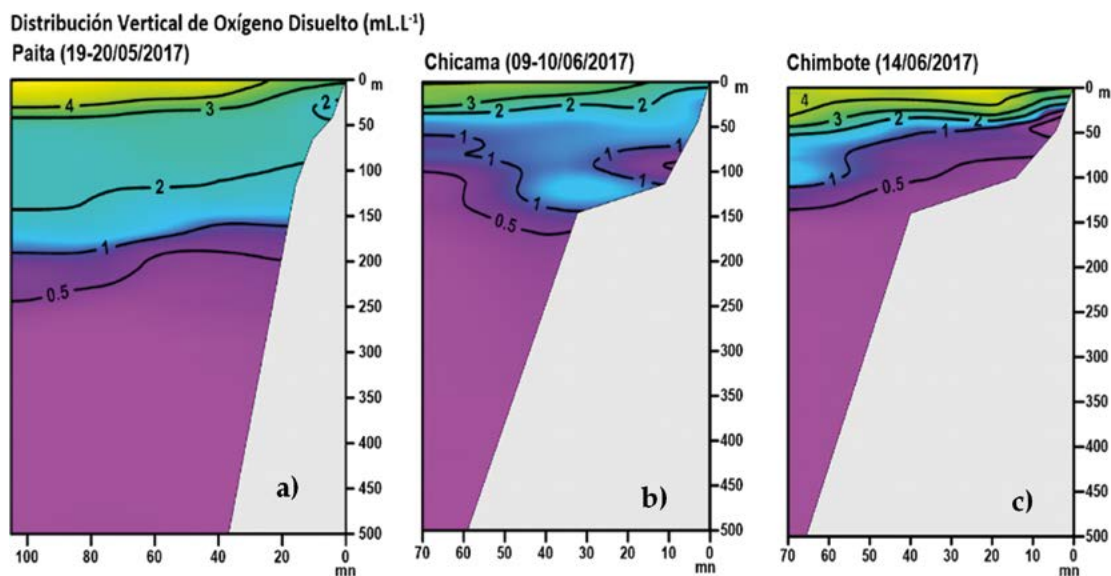


Figura 5.- Secciones Verticales de Oxígeno disuelto (mL.L⁻¹) frente a: a) Paita, b) Chicama y c) Chimbote. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y Otros Demersales 2017-0506

Figure 5. Vertical sections of dissolved oxygen (mL.L⁻¹) off: a) Paita, b) Chicama, and c) Chimbote. 2017-0506 Research Cruise targeting Hake and Other Demersal Resources

Tabla 2.- Comparación de Datos de Oxígeno Disuelto de la Sección Paita – Otoño/Invierno 2017. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y Otros Demersales 2017-0506

Table 2. Dissolved Oxygen data for comparison for Paita- Autumn/Winter 2017. 20174-0506 Research cruise targeting Hake and other demersal resources

Estación/ Station	Fecha/ Date	Localidad/ Locality	Distancia a costa/ Distance to coast (m)	Profundidad/ Depth (m)	CTD		
					Temperatura/ Temperature (°C)	Salinidad/ Salinity (ups)	Oxígeno/ Oxygen (mL/L ⁻¹)
5	19/5/2017	4°59,99'S, 82°5,56'W	60	75	16,90	35,1304	2,27
5	19/5/2017	4°59,99'S, 82°5,56'W	60	100	16,50	35,1035	2,09
5	19/5/2017	4°59,99'S, 82°5,56'W	60	150	15,69	35,0392	1,51
5	19/5/2017	4°59,99'S, 82°5,56'W	60	200	14,87	34,8879	0,38
5	19/5/2017	4°59,99'S, 82°5,56'W	60	300	12,97	35,187	0,02
67	23/6/2017	4°59,99'S, 82°5,63'W	60	75	17,09	35,187	1,90
67	23/6/2017	4°59,99'S, 82°5,63'W	60	100	15,97	35,087	1,79
67	23/6/2017	4°59,99'S, 82°5,63'W	60	150	15,38	35,038	1,52
67	23/6/2017	4°59,99'S, 82°5,63'W	60	200	14,75	35,25	0,90
67	23/6/2017	4°59,99'S, 82°5,63'W	60	300	11,50	34,834	0,02
5	23/7/2017	4°59,99'S, 82°5,18'W	60	75	16,71	35,1637	2,31
5	23/7/2017	4°59,99'S, 82°5,18'W	60	100	16,18	35,0891	2,09
5	23/7/2017	4°59,99'S, 82°5,18'W	60	150	15,43	35,0422	1,40
5	23/7/2017	4°59,99'S, 82°5,18'W	60	200	14,49	34,9917	0,64
5	23/7/2017	4°59,99'S, 82°5,18'W	60	300	11,49	34,8226	0,07

Distribución superficial de Clorofila-a

El análisis de información satelital (MODIS AQUA) mostró núcleos mesotróficos de clorofila-a (>2,5 mg.m⁻³) entre Paita y Punta La Negra. Al sur de Salaverry, se registró una franja continua superior a 5,0 mg.m⁻³ y un núcleo productivo de 10,0 mg.m⁻³, a 10 mn frente a Chicama.

La isolínea de 1,0 mg.m⁻³, se visualizó desde 50 mn hasta 200 mn frente a Chicama, como indicativo de la influencia del afloramiento costero y la zona de alta productividad (Fig. 6).

Distribución de nutrientes

La distribución de fosfatos en la superficie del mar se caracterizó por presentar concentraciones pobres al norte de Talara (<1,0 μM, Fig. 7). Las isolíneas de 1,5 μM y 2,0 μM evidenciaron zonas de afloramiento costero, que igualmente, se reflejaron en concentraciones elevadas de silicatos (Fig. 8). Un núcleo de altas concentraciones de silicatos se presentó frente a Puerto Pizarro, aunque asociado a temperaturas de 25,0 a 27,0 °C.

The 1.0 mg.m⁻³ isoline was visualized from 50 nm to 200 nm off Chicama, reflecting the influence of the coastal upwelling and the high productivity zone (Fig. 6).

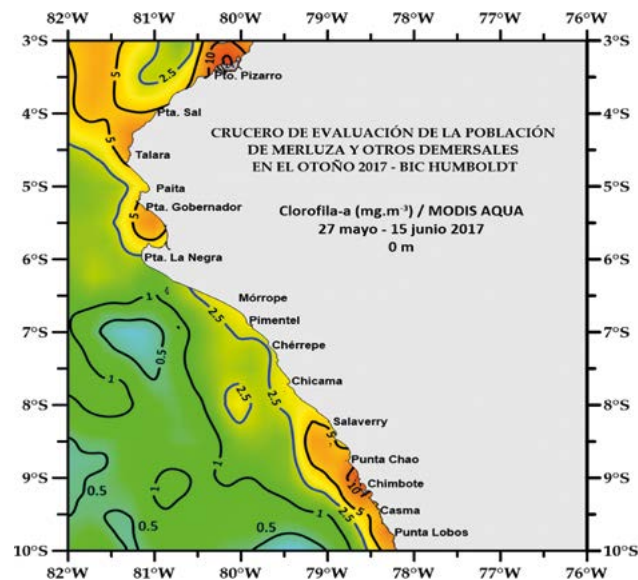


Figura 6.- Distribución de Clorofila-a (mg.m⁻³), información de MODIS AQUA. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y Otros Demersales 2017-0506

Figure 6. Chlorophyll-a distribution (mg.m⁻³), data from MODIS AQUA. 2017-0506 Research Cruise targeting Hake and Other Demersal Resources

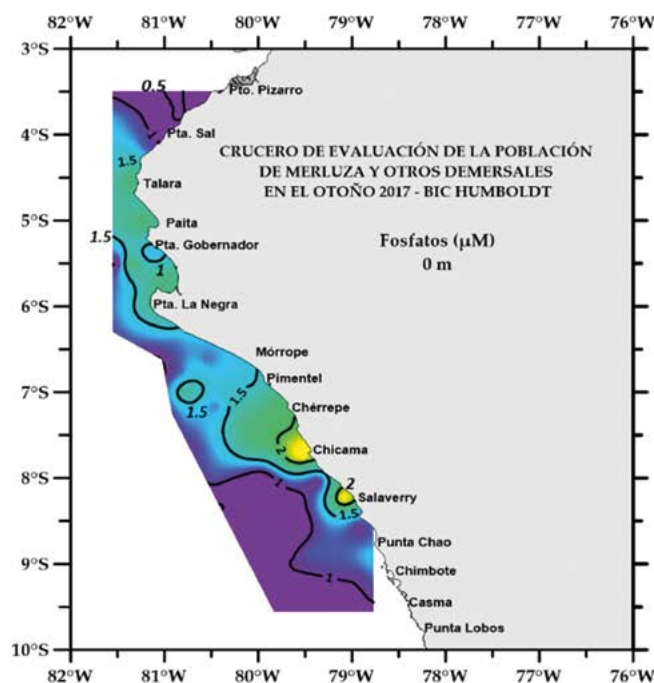


Figura 7.- Distribución superficial de Fosfatos (μM). Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y Otros Demersales 2017-0506

Figure 7. Surface distribution of Phosphates (μM). 2017-0506 Research Cruise targeting Hake and Other Demersal Resources

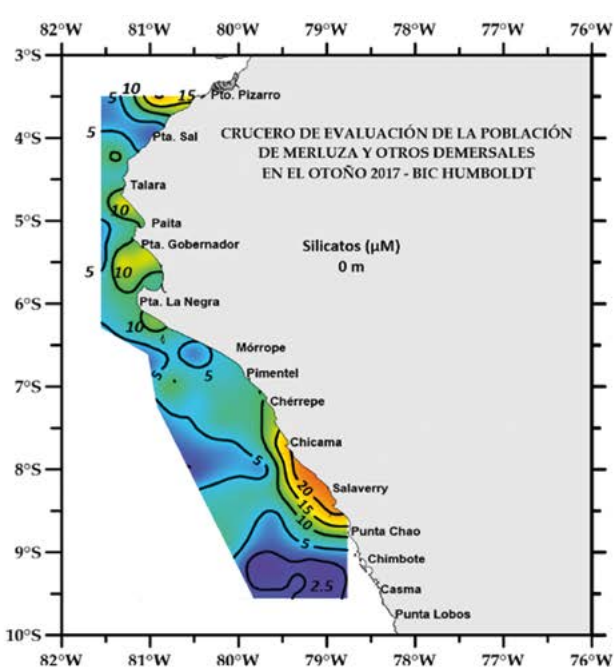


Figura 8.- Distribución superficial de Silicatos (μM). Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y Otros Demersales 2017-0506

Figure 8. Surface distribution of Silicates (μM). 2017-0506 Research Cruise targeting Hake and Other Demersal Resources

La distribución superficial de nitratos fue homogénea entre Talara y Chimbote, predominando concentraciones entre 10,0 y 15,0 μM , observándose núcleos de afloramiento costero, como entre Chérrepe y Punta Chao y otro núcleo de menor extensión frente a Punta La Negra. Al igual que en el caso de los fosfatos, bajas concentraciones de nitratos se observaron al norte, entre Punta Sal y Puerto Pizarro, registrando concentraciones por debajo de 5,0 μM (Fig. 9).

Los nitritos presentaron distribución regular con mayores concentraciones entre Punta La Negra y Punta Chao, asociadas con zonas de mayor intensidad de afloramiento costero, bajo oxígeno subsuperficial y reducción de nitratos, por desnitrificadores en entornos de bajo oxígeno disuelto por acción microbiana (KIM *et al.*, 2011; WITTORF *et al.*, 2016) (Fig. 10).

La proporción de nitrógeno/fósforo (concentración de nitratos más nitritos/ concentración de orto-fosfatos) es típicamente 16 (razón de Redfield, REDFIELD, 1958) en el océano abierto, pero en el caso del mar peruano puede ser significativamente menor (GRACO *et al.*, 2007).

Nutrient distribution

There were low concentrations of phosphates at the sea surface north of Talara ($<1.0 \mu\text{M}$, Fig. 7). The 1.5 μM and 2.0 μM isolines, as well as the high silicate concentrations, evidenced coastal upwelling zones (Fig. 8). Off Puerto Pizarro, there was a nucleus of high silicate concentrations, associated with temperatures ranging from 25.0 to 27.0 $^{\circ}\text{C}$.

Nitrates were homogeneously distributed on the surface between Talara and Chimbote (concentrations between 10.0 and 15.0 μM) with coastal upwelling nuclei being observed between Chérrepe and Punta Chao and another smaller nucleus off Punta La Negra. Similar to phosphates, low nitrate concentrations ($>5.0 \mu\text{M}$) were observed to the north, between Punta Sal and Puerto Pizarro (Fig. 9).

Nitrites were evenly distributed with higher concentrations between Punta La Negra and Punta Chao, associated with more intense coastal upwelling, low subsurface oxygen, and nitrate reduction caused by denitrifiers in environments with low dissolved oxygen due to microbial action, (KIM *et al.*, 2011; WITTORF *et al.*, 2016) (Fig. 10).

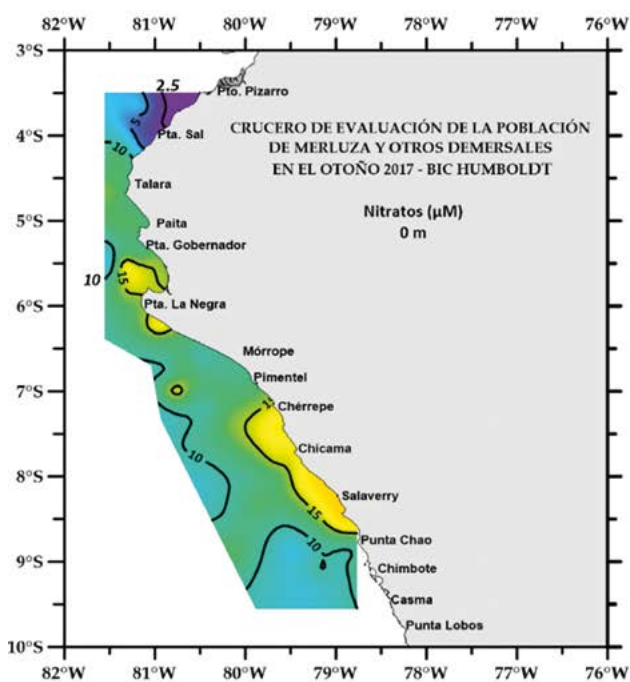


Figura 9.- Distribución superficial de Nitratos (μM). Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y Otros Demersales 2017-0506

Figure 9. Surface distribution of Nitrates (μM). 2017-0506 Research Cruise targeting Hake and Other Demersal Resources

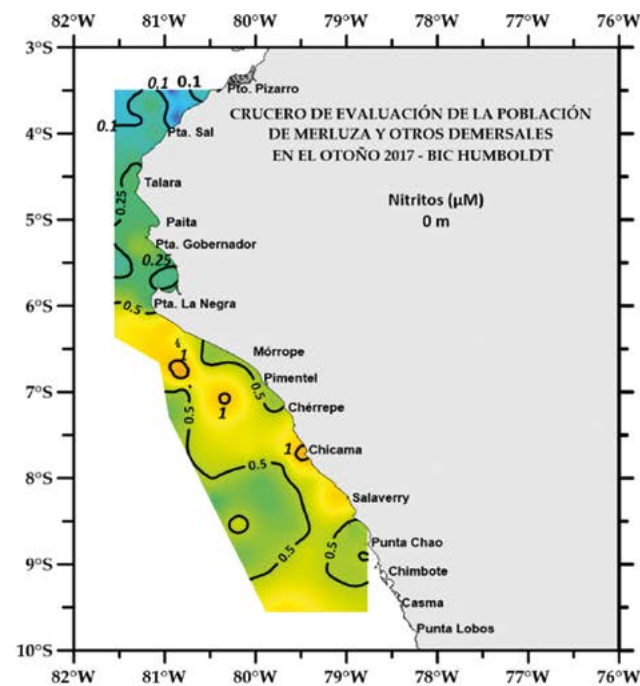


Figura 10.- Distribución superficial de Nitritos (μM). Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y Otros Demersales 2017-0506

Figure 10. Surface distribution of Nitrites (μM). 2017-0506 Research Cruise targeting Hake and Other Demersal Resources

Las zonas de mayor productividad (con clorofila-a *in situ* superior a 5,0 µg/L) presentaron valores de N/P entre 3,70 y 11,19. La máxima concentración *in situ* de clorofila-a fue 23,08 µg/L, detectada alrededor de Punta Gobernador (5°30'S), correspondió a un valor N/P de 4,81, lo cual sugiere una pérdida de nitratos. En la zona bajo la influencia de las aguas cálidas, se obtuvo un N/P de 3,7, aguas caracterizadas por baja disponibilidad de nitratos mientras el fósforo no aparece como elemento limitante (Tabla 3).

En condiciones de baja clorofila-a (< 2,0 µg/L), valores de oxígeno disuelto < 4,0 mL/L y altos nutrientes, condiciones que caracterizan a las aguas de afloramiento costero (CALIENES *et al.*, 1985), la proporción N/P alcanza en promedio valores de 8,04 (Tabla 4) y desviación estándar 0,85, validando el comportamiento no redfieldiano de hasta 50% más bajo.

In the open ocean, the nitrogen/phosphorus ratio (nitrate plus nitrite concentration/orthophosphate concentration) is typically 16 (Redfield ratio, REDFIELD, 1958), but it appears to be significantly lower in the Peruvian sea (GRACO *et al.*, 2007). The areas of highest productivity (with *in situ* chlorophyll-a >5.0 µg/L) had N/P values between 3.70 and 11.19. The maximum *in situ* chlorophyll-a concentration (23.08 µg/L) was detected around Punta Gobernador (5°30'S) and corresponded to a P/N value of 4.81, indicating a loss of nitrate. An N/P value of 3.7 was obtained in the area where warm waters occur. These waters are characterized by low nitrate availability, while phosphorus does not appear as a limiting element (Table 3).

In coastal upwelling waters, with low chlorophyll-a concentrations (< 2.0 µg/L), dissolved oxygen values < 4.0 mL/L, and high nutrients (CALIENES *et al.*, 1985), the N/P ratio reached average values of 8.04 (Table 4) and standard deviation 0.85, validating the non-redfieldian behavior, up to 50% lower than the N/P ratio of the coastal waters.

Tabla 3.- Datos fisicoquímicos en la superficie del mar, condicionados por concentraciones de Clorofila-a mesotróficas superiores a 5,0 µg/L. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y Otros Demersales 2017-0506. BIC Humboldt

Table 3. Physicochemical data of the sea surface, conditioned by mesotrophic Chlorophyll-a concentrations above 5.0 µg/L. 2017-0506 Research Cruise targeting Hake and Other Demersal Resources. R/V Humboldt

Estación	Fecha	Latitud		Longitud		Data <i>in situ</i>	Winkler	CTD		Nutrientes				Tasa N/P (Nitrato+Nitrito) /Fosfato
		°	minuto	°	minuto	Clorofila-a (µg.L ⁻¹)	Oxígeno disuelto (mL.L ⁻¹)	Temperatura (°C)	Salinidad (ups)	Fosfato (µM)	Silicato (µM)	Nitrato (µM)	Nitrito (µM)	
2	27/5/2017	3	30,10	80	41,14	8,09	6,02	26,00	29,873	0,63	17,02	2,21	0,12	4,22
22	28/5/2017	4	9,83	81	11,57	5,25	3,83	22,04	34,801	1,12	4,87	4,62	0,11	10,40
C-18	04/6/2017	5	27,47	81	2,83	10,94	3,95	18,31	34,745	1,46	16,87	14,87	0,32	4,81
77	04/6/2017	5	29,83	81	26,64	23,08	6,79	19,33	35,057	0,90	2,31	4,23	0,10	11,19
91	05/6/2017	6	22,60	80	53,94	13,02	4,63	18,29	34,937	1,24	8,54	13,19	0,68	9,65
C-45	10/6/2017	7	59,46	79	38,99	11,05	5,71	18,77	35,053	1,33	2,57	12,33	0,51	

Tabla 4.- Datos Fisicoquímicos en la superficie del mar condicionados por concentraciones de Oxígeno Disuelto típicas de afloramiento < 4,0 mL/L y fosfatos > 1,5 µM. Crucero de Evaluación de la Población de Merluza y Otros Demersales 2017-0506. BIC Humboldt

Table 4. Physicochemical data of the sea surface conditioned by typical upwelling Dissolved Oxygen concentrations < 4.0 mL/L and phosphates > 1.5 µM. 2017-0506 Research Cruise targeting Hake and Other Demersal Resources. R/V Humboldt

Estación /Station	Fecha/ Date	Latitud		Longitud		Data <i>in situ</i>	Winkler	CTD		Nutrientes/Nutrients				Tasa N/P (Nitrato+Nitrito) /Fosfato
		°	minuto	°	minuto	Clorofila-a (µg.L ⁻¹)	Oxígeno Disuelto (mL.L ⁻¹)	Temperatura (°C)	Salinidad (ups)	Fosfato (µM)	Silicato (µM)	Nitrato (µM)	Nitrito (µM)	
C-6	29/5/2017	4	14,94	81	22,46	1,75	3,03	20,67	34,931	1,61	14,54	15,45	0,21	9,73
35	29/5/2017	4	22,44	81	19,24	1,42	3,49	18,39	35,053	1,78	6,13	13,38	0,27	7,67
50	30/5/2017	4	59,91	81	27,60	1,86	3,88	18,11	35,060	1,77	4,30	13,89	0,25	7,99
83	05/6/2017	6	0,05	81	11,31	0,88	3,31	17,52	35,095	1,77	8,89	13,45	0,28	7,76
153	09/6/2017	7	44,30	79	31,24	0,55	2,86	17,50	35,027	2,37	18,99	15,28	1,13	6,92
154	09/6/2017	7	49,41	79	39,90	0,66	3,46	17,99	35,037	2,01	7,81	16,08	0,53	8,26
C-49	11/6/2017	8	14,47	79	6,55	1,97	3,25	17,93	34,951	2,38	22,68	17,93	0,95	7,93

4. CONCLUSIONES

Se encontraron celdas de afloramiento costero, dentro de las 40 mn, frente a Talara, Paita, Punta La Negra, una extensa región entre Mórrope y Salaverry y frente a Chicama, identificándose por contenidos de oxígeno $< 4,0 \text{ mL.L}^{-1}$, corroborado por nutrientes superiores a la media.

El límite superior de la ZMO ($0,5 \text{ mL.L}^{-1}$) mostró un gradiente latitudinal, siendo más profundo (295 m) en Puerto Pizarro (norte del Perú) y más somero en Chimbote, alcanzando 25 m en la zona costera. Dicho límite se profundizó de 195 m (mayo) a 295 m (junio) a 60 mn de Paita, debido al arribo de una Onda Kelvin cálida.

En la superficie del mar se presentaron concentraciones de clorofila-a en promedio mayores a $2,5 \mu\text{g.L}^{-1}$, con un núcleo frente a Paita $> 5,0 \mu\text{g.L}^{-1}$ y valor máximo de clorofila-a de $23,08 \mu\text{g.L}^{-1}$ frente a Chimbote que estuvo asociado con la proporción de Nitrógeno/ Fósforo (N/P) de 4,81, comportamiento no redfieldiano (16).

4. CONCLUSIONS

We found coastal upwelling cells located within 40 nm off Talara, Paita, Punta La Negra, an extensive region between Mórrope and Salaverry, as well as off Chicama. These cells were identified by oxygen contents below 4.0 mL.L^{-1} , which was evidenced by above-average nutrients.

The upper limit of the OMZ (0.5 mL.L^{-1}) showed a latitudinal gradient, being deeper (295 m) in Puerto Pizarro (northern Peru) and shallower in Chimbote, reaching 25 m in the coastal area. This limit deepened from 195 m in May to 295 m in June, at 60 nm off Paita, because of the arrival of a warm Kelvin wave.

Chlorophyll-*a* concentrations at the sea surface averaged greater than $2.5 \mu\text{g.L}^{-1}$, with a nucleus greater than $5.0 \mu\text{g.L}^{-1}$ off Paita and a maximum chlorophyll-*a* value of $23.08 \mu\text{g.L}^{-1}$ off Chimbote. This was associated with a Nitrogen/Phosphorus (N/P) ratio of 4.81, which was indicative of a non-redfieldian behavior (16).

5. REFERENCIAS /REFERENCES

- CALIENES, R., GUILLEN, O., LOSTANAU, 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.
- ENFEN. (2017). Informe Técnico Extraordinario N°001-2017/ENFEN EL NIÑO COSTERO 2017. Julio 2017. <http://enfen.gob.pe/download/informe-tecnico-el-nino-costero-2017/>
- ENFEN. (2017). Informe Técnico ENFEN Año 3 N°06. Diagnóstico Climático y Previsión de El Niño-Oscilación del Sur en el Perú, junio 2017. <http://enfen.gob.pe/download/informe-tecnico-2017-6/>
- GRACO, M., LEDESMA, J., FLORES, G., GIRÓN, M. (2007). Nutrientes, oxígeno y procesos biogeoquímicos en el sistema de surgencias de la corriente de Humboldt frente a Perú. *Rev. peru. biol.*, 14(1), 117- 128.
- KIM, O.-S., IMHOFF, J. F., WITZEL, K.-P., JUNIER, P. (2011). Distribution of denitrifying bacterial communities in the stratified water column and sediment–water interface in two freshwater lakes and the Baltic Sea. *Aquat. Ecol.*, 45, 99–112. doi: 10.1007/s10452-010-9335-9337
- KNAP, A., MICHAELS, A., CLOSE, A., H. DUCKLOW, H., DICKSON, A. (eds.). (1996). Protocols for the Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS) Core Measurements. JGOFS Report, 19, vi+170 pp. Reprint of the IOC Manuals and Guides No. 29, UNESCO 1994.
- REDFIELD, A. C. (1958). The biological control of chemical factors in the environment. *Am. Sci.*, 64, 205–221.
- STRICKLAND, J., PARSON, T. (1972). Practical Handbook of Seawater Analysis. Fisheries Board of Canada Ottawa, Bulletin 167.
- WITTORF, L., BONILLA-ROSSO, G., JONES, C. M., BÄCKMAN, O., HULTH, S., HALLIN, S. (2016). Habitat partitioning of marine benthic denitrifier communities in response to oxygen availability. *Environ. Microbiol. Rep.*, 8, 486–492. doi: 10.1111/1758-2229.12393