

# CONDICIONES QUÍMICAS DEL MAR EN BAHÍA MIRAFLORES: VERANO Y PRIMAVERA DE 2013 Y 2014

## CHEMICAL SEA CONDITIONS IN MIRAFLORES BAY: SUMMER AND SPRING OF 2013 AND 2014

Georgina Flores<sup>1</sup>    Octavio Morón    Jorge Quispe    Tony Anculle

<https://doi.org/10.53554/boletin.v38i1.382>

### RESUMEN

FLORES, G., MORÓN, O., QUISPE, J. & ANCULLE, T. (2023). *Condiciones químicas del mar en bahía Miraflores: verano y primavera de 2013 y 2014*. Bol Inst Mar Perú, 38(1), 74-93.- Este estudio presenta resultados de las condiciones químicas del agua de mar en bahía Miraflores durante el verano y primavera de 2013 y 2014. Las muestras se obtuvieron en marzo y entre fines de septiembre e inicios de octubre, respectivamente. En cada salida se realizaron 32 estaciones distribuidas en perfiles perpendiculares a la costa, colectándose muestras de agua a nivel de superficie y fondo. La bahía Miraflores, ubicada en la zona central del Perú, por su configuración geográfica, tiene comportamientos diferentes en el norte y el sur. Mientras en el norte la formación de remolinos favorece mayor permanencia de las aguas y al ser zona somera las propiedades físico-químicas favorecen alta biomasa fitoplanctónica, en la zona sur se observa mayor efecto de recambio de aguas debido al ingreso de aguas de afloramiento costero, que se refleja en menor temperatura (< 16 °C), bajo contenido de oxígeno (< 4 mL/L) y de pH (<8,1). Se observó influencia antropogénica en los nutrientes, asociada a la descarga de aguas residuales domésticas procedentes del colector La Chira. Así, en la zona sur los fosfatos tendieron a incrementarse a nivel de superficie y de fondo, sobrepasando los valores normales, mientras que los nitratos tendieron a disminuir con concentraciones menores a 5 µM, especialmente en verano y primavera, asociadas al bajo oxígeno que favorece su consumo por procesos biogeoquímicos.

PALABRAS CLAVE: nutrientes inorgánicos, propiedades físico-químicas, bahía de Miraflores, Perú

### ABSTRACT

FLORES, G., MORÓN, O., QUISPE, J. & ANCULLE, T. (2023). *Chemical sea conditions in Miraflores Bay: summers and spring of 2013 and 2014*. Bol Inst Mar Perú, 38(1), 74-93.- This study presents findings on the chemical conditions of seawater in Miraflores Bay during the summer and spring of 2013 and 2014. Data were collected in March and between late September and early October, respectively. A total of 32 sampling stations were established along perpendicular profiles to the coast, with water samples collected at surface and bottom levels. Miraflores Bay, located in the central region of Peru, exhibits distinct characteristics in its northern and southern areas due to its geographical configuration. The formation of eddies in the northern region promotes water retention and creates physicochemical conditions favoring high phytoplankton biomass. Conversely, the southern region experiences greater water exchange influenced by coastal upwelling, resulting in lower temperature (< 16 °C), reduced oxygen content (< 4 mL/L), and lower pH (< 8.1). Anthropogenic impact from domestic wastewater discharge, particularly from the La Chira sewer outfall, is observed, leading to increased phosphate levels at the surface and bottom levels in the southern zone, exceeding normal values. In contrast, nitrates tend to decrease, with concentrations below 5 µM, particularly during the summer and spring seasons, indicating their consumption through biogeochemical processes facilitated by low oxygen levels.

KEYWORDS: inorganic nutrients, physicochemical properties, Miraflores Bay, Perú

## 1. INTRODUCCIÓN

La bahía de Miraflores está situada en la costa central del Perú, al sur de la bahía Callao, departamento de Lima, Perú. Su configuración geográfica es abierta al océano y semi protegida en sus extremos norte y sur, comprende una serie de playas siendo importante por ser un área recreacional para parte de la población de Lima (GUZMAN, 2007). La bahía es alimentada por las

## 1. INTRODUCTION

Miraflores Bay is located on the central coast of Peru, south of Callao Bay in the Lima Region, Peru. Its geographical configuration is characterized by an open connection to the ocean and partial protection at its northern and southern ends, comprising a series of beaches. The bay holds significant recreational value as a popular area for leisure activities among

<sup>1</sup> IMARPE, DGIOCC, gflores@imarpe.gob.pe

aguas costeras frías (acf) del afloramiento costero que ingresan por el sur y se proyectan hacia el norte próximo al borde costero donde es común la formación de remolinos antihorario. Esto genera mayor permanencia de las aguas en dicha zona y por ende mayor temperatura con respecto a la bahía Callao (Morón<sup>2</sup>, 1994).

La bahía es afectada por diversas fuentes de contaminación, las que generan marcadas alteraciones en los parámetros físico-químicos. Parte de las aguas del Colector La Chira (ubicado al sur de bahía Miraflores) ingresan a la bahía (MAJLUF, 2014), lo que influye en la concentración de nutrientes, materia orgánica y contaminantes, los cuales son transportados a través de las corrientes marinas hacia la zona norte, originando floraciones algales, las que se generan principalmente en las estaciones de verano y primavera (Flores *et al.*<sup>3</sup>, 2018), asimismo disminuye la concentración de la salinidad por la mezcla entre aguas costeras y aguas residuales.

Por otro lado, al sur de la bahía se encuentra el muelle artesanal de pescadores que sirve como embarque y desembarque a los pescadores artesanales para sus faenas de pesca, además de encontrarse embarcaciones fondeadas a orillas de la playa. También, alrededor de la línea costera se encuentran una serie de restaurantes, campos deportivos, entre otros, que contribuyen a mayor contaminación. Los estudios realizados para toda la bahía son muy escasos, habiendo trabajos muy puntuales (GUZMAN, 2007, Orozco<sup>4</sup> *et al.*, 2018) siendo importante, a fin de caracterizar adecuadamente su versatilidad, continuar con estudios estacionales a lo largo de la bahía sobre las variables químicas, físicas y biológicas. En este contexto, se presenta el siguiente estudio con el objetivo de comprender la variabilidad de las condiciones químicas asociadas a la disponibilidad de oxígeno disuelto, nutrientes, clorofila-*a* y pH, en base a información recolectada durante la primavera y verano de los años 2013 y 2014.

a considerable portion of Lima's population (GUZMAN, 2007). It receives the influence of cold coastal waters (ccw) from the coastal upwelling, which enter from the south and extend northward along the coastal edge, often leading to the formation of counterclockwise eddies. This hydrodynamic pattern contributes to prolonged water residence in the area, resulting in relatively higher temperatures compared to Callao Bay (Morón<sup>2</sup>, 1994).

The bay is subject to various sources of pollution, which cause significant alterations in the physicochemical parameters. A portion of the water from the La Chira sewer outfall (located south of Miraflores Bay) enters the bay (MAJLUF, 2014), influencing the concentration of nutrients, organic matter, and pollutants. These substances are transported by marine currents toward the northern region, resulting in algal blooms, primarily occurring during the summer and spring (Flores *et al.*<sup>3</sup>, 2018). Moreover, the mixing of coastal waters with wastewater leads to a decrease in salinity concentration.

Furthermore, located to the south of the bay is an artisanal fishermen's pier, serving as a hub for their fishing activities, while boats anchor along the shoreline. Along the coast, there are various establishments including restaurants and sports fields, contributing to increased pollution. Studies encompassing the entire bay are scarce, with only a few specific works (GUZMAN, 2007, Orozco<sup>4</sup> *et al.*, 2018). Therefore, it is crucial to continue conducting seasonal studies across the bay to adequately characterize its versatility, focusing on chemical, physical, and biological variables. In this context, our study aims to comprehend the variability of chemical conditions related to dissolved oxygen availability, nutrients, chlorophyll-*a*, and pH, based on data collected during the spring and summer of 2013 and 2014.

2 Morón, O. (1994). Condiciones Oceanográficas de la Bahía del Callao, 1994. Proyecto Corde-Callao. Área de Interacción Océano Recurso. Inf. Instituto del Mar del Perú-Callao.

3 Flores, G., Jacobo, N. y Diaz, K. (2018). Informe de las condiciones hidroquímicas en la bahía de Miraflores/Callao 06, 07 y 10 diciembre 2018. Inf. Interno Inst. Mar del Perú.

4 Orozco, R., Kina, M. y Flores, G. (2018). Análisis Comparativo de los Indicadores de Calidad Acuática en el Área Marina Costera de Chorrillos 2012 – 2013. Libro de Resúmenes del VI Congreso Ciencias del Mar del Perú.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La bahía de Miraflores se encuentra ubicada entre los grados 12°03' – 12°11'S y 77°15' – 77°01'W (Fig. 1), con un área de 27 km de línea costera desde Punta La Chira hasta La Punta y profundidad máxima de 20 m, llegando en la zona litoral a profundidades menores a 10 m. Se caracteriza en el norte por tener al frente a las islas San Lorenzo y El Frontón, que actúan como barreras naturales y asociado a las corrientes marinas dan lugar a la formación de remolinos en la bahía. En cambio, en el sur es mar abierto, favoreciendo el ingreso de las aguas costeras frías-acf por la influencia del afloramiento costero.

### Metodología

Se realizaron muestreos en primavera y verano durante el 2013 y 2014. La información fue obtenida del 12 al 15 de marzo, del 26 al 28 setiembre 2013, del 26 al 28 de marzo y del 1 al 3 de octubre 2014. En cada salida se realizaron 32 estaciones distribuidas en perfiles perpendiculares a la costa, colectándose muestras de agua a nivel de superficie y fondo.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### Study area

Miraflores Bay is located between 12°03' – 12°11'S and 77°15' – 77°01'W (Fig. 1), encompassing a 27 km stretch of coastline from Punta La Chira to La Punta. It has a maximum depth of 20 m, with shallower depths of less than 10 m in the nearshore area. The northern section is characterized by the presence of San Lorenzo and El Frontón islands, which serve as natural barriers and, in conjunction with marine currents, contribute to the formation of eddies within the bay. In contrast, the southern part is open to the sea, allowing the entry of cold coastal waters (ccw) influenced by coastal upwelling.

### Methodology

Sampling was conducted during the spring and summer of 2013 and 2014. Data were obtained from March 12 to 15 and September 26 to 28, 2013, as well as from March 26 to 28 and October 1 to 3, 2014. A total of 32 stations were sampled along perpendicular profiles to the coastline during each trip, with water samples collected at both surface and bottom levels.

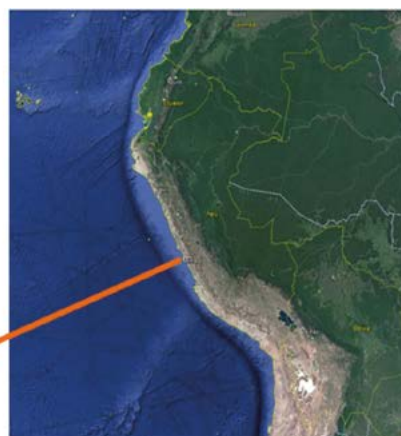
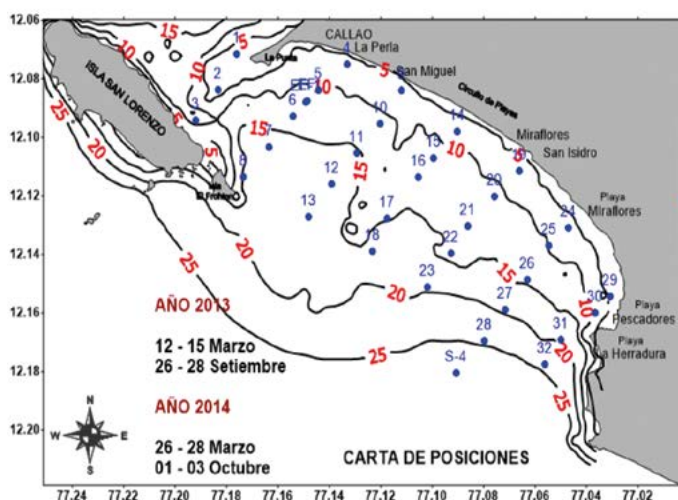


Figura 1.- Ubicación de estaciones de muestreo en Bahía Miraflores

Figure 1. Location of sampling stations in Miraflores Bay

La determinación de oxígeno disuelto se realizó con el método de Winkler modificado por CARRIT y CARPENTER (1966). Las muestras de agua para clorofila-*a* fueron filtradas empleando filtros Whatman GF/F de 2,5 cm y preservadas en refrigeración hasta su posterior análisis en el Laboratorio de Hidroquímica marina, empleando el método fluorométrico de YENTSCH y MENZEL (1963) y HOLM-HANSEN, LORENZEN, HOLMES y STRICKLAND (1965), y para el pH se utilizó un potenciómetro marca Hanna. La determinación de nutrientes (fosfatos, silicatos, nitratos y nitritos) se realizó de acuerdo a técnicas y modificaciones dadas por STRICKLAND y PARSONS (1972) y el manual de UNESCO (1983) utilizando el espectrofotómetro Lambda 45 marca Perkin Elmer. Para la determinación de la transparencia del agua de mar se utilizó el disco Secchi. En la elaboración de los gráficos se aplicó el programa Surfer v. 15.

### 3. RESULTADOS

A fin de caracterizar el contexto del muestreo, se presenta una serie mensual de anomalías térmicas para los años 2013 y 2014, obtenidos en la estación oceanográfica del IMARPE-Callao, ubicada en la bahía Callao, muy próxima a la bahía Miraflores. Durante el 2013, frente a la costa peruana y específicamente frente al Callao, predominaron condiciones frías relacionadas con un fuerte afloramiento costero, destacando entre marzo y abril anomalías térmicas negativas mayores a  $-2,2$  °C en la estación Callao (Fig. 2). En cambio, hacia el 2014 las anomalías se tornaron positivas alcanzando valores de hasta  $+3,0$  °C durante el otoño.

The dissolved oxygen determination was conducted using the modified Winkler method by CARRIT & CARPENTER (1966). Water samples for chlorophyll-*a* analysis were filtered through 2.5 cm Whatman GF/F filters and preserved under refrigeration until analyzed at the Marine Hydrochemistry Laboratory. The fluorometric method described by YENTSCH & MENZEL (1963) and HOLM-HANSEN, LORENZEN, HOLMES & STRICKLAND (1965) was employed for chlorophyll-*a* analysis. pH measurements were performed using a Hanna potentiometer. Nutrient analysis (phosphates, silicates, nitrates, and nitrites) followed the techniques and modifications outlined by STRICKLAND & PARSONS (1972) and the UNESCO (1983) manual using a Perkin Elmer Lambda 45 spectrophotometer. Water transparency was assessed using a Secchi disk. Graphs were created using Surfer v. 15 software.

### 3. RESULTS

To characterize the sampling context, we present a monthly series of thermal anomalies for the years 2013 and 2014, obtained from the IMARPE-Callao oceanographic station located near Miraflores Bay. In 2013, cold conditions prevailed off the Peruvian coast, particularly off Callao, due to strong coastal upwelling. Notably, from March to April, significant negative thermal anomalies exceeding  $-2.2$  °C were observed at the Callao station (Fig. 2). Conversely, in 2014, the anomalies turned positive, with values reaching up to  $+3.0$  °C in autumn.

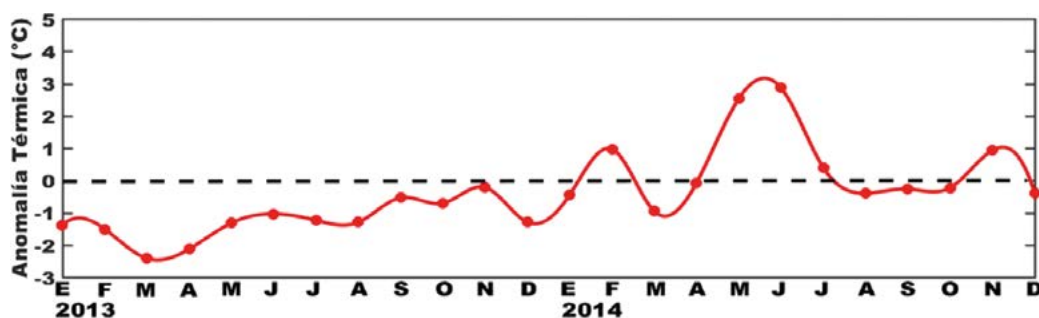


Figura 2.- Serie de tiempo de anomalías de temperatura superficial del agua de mar: 2013 - 2014 en la estación oceanográfica de IMARPE-Callao

Figure 2. Time series of sea surface temperature anomalies: 2013 - 2014. IMARPE-Callao oceanographic station

**VARIACIONES ESTACIONALES DE LAS VARIABLES QUÍMICAS**

**Condiciones de oxígeno disuelto**

Las condiciones frías que caracterizaron el 2013 (Fig. 2) se reflejaron en bajas concentraciones superficiales de oxígeno disuelto (OD), alcanzando valores en algunas zonas de 2,46 mL/L y promedio de 4,44 mL/L (Fig. 3a). Concentraciones menores a 5 mL/L se presentaron en el sur de la bahía y fueron incrementándose hacia el norte, debido a que las acf ingresan desde el sur y se proyectan hacia el noreste (Playa Mar Brava - Magdalena), donde, por la recirculación en la zona, las aguas se oxigenan e incrementan las concentraciones. A nivel de fondo el rango de variación en el verano 2013 osciló entre 0,00 y 1,55 mL/L, predominando condiciones de anoxia en la parte central de la bahía, incrementándose levemente en los extremos norte y sur (Fig. 3c).

Los valores más elevados de oxígeno disuelto del año se registraron en primavera alcanzando el máximo de 8,04 mL/L (con promedio 5,48 mL/L). Esta alta condición de oxígeno coincidió con la floración algal que se desarrolló, alcanzando valores máximos, frente a la isla San Lorenzo y playa Miraflores (E. Delgado, com. pers.). En la zona central de la bahía se hallaron valores de 5 mL/L (Fig. 3b). En el nivel de fondo se hallaron concentraciones > 1 mL/L con máximo de 6 mL/L (Fig. 3d).

**SEASONAL VARIATIONS OF CHEMICAL VARIABLES**

**Dissolved oxygen conditions**

The cold conditions observed in 2013 (Fig. 2) were associated with low surface concentrations of dissolved oxygen (DO), ranging from 2.46 mL/L in certain areas to an average of 4.44 mL/L (Fig. 3a). Areas with concentrations below 5 mL/L were primarily located in the southern region of the bay, gradually increasing towards the northeast due to the influx of cold coastal waters from the south (Magdalena - Playa Mar Brava). This recirculation pattern resulted in enhanced oxygenation and higher concentrations in the northern areas. At the bottom level, during the summer, oxygen levels varied between 0.00 to 1.55 mL/L, with prevailing anoxic conditions in the central part of the bay, slightly increasing at the northern and southern ends (Fig. 3c).

Spring recorded the highest dissolved oxygen (DO) values of the year, reaching a maximum of 8.04 mL/L (average: 5.48 mL/L). This peak oxygen condition coincided with the occurrence of an algal bloom, with maximum values observed near San Lorenzo Island and Miraflores Beach (E. Delgado, pers. comm.). In the central zone of the bay, DO concentrations of 5 mL/L were found (Fig. 3b). At the bottom level, concentrations above 1 mL/L were observed, with a maximum of 6 mL/L (Fig. 3d).

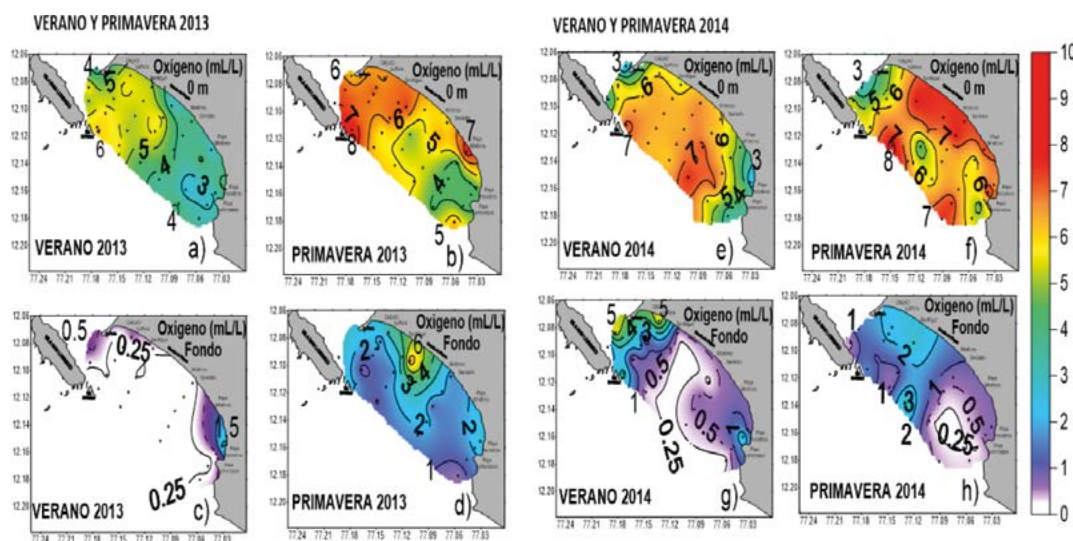


Figura 3.- Distribución de Oxígeno en superficie y fondo del mar. Verano y primavera 2013 - 2014. Bahía de Miraflores

Figure 3. Oxygen distribution at the sea surface and bottom. Summer and spring 2013 - 2014. Miraflores Bay

Para fines del verano 2014, predominaron altas concentraciones de oxígeno a nivel superficial con valores de hasta 7,60 mL/L (promedio 5,85 mL/L). Valores entre 6 y 7 mL/L cubrieron gran parte de la bahía, las concentraciones menores a 5 mL/L se localizaron en los extremos (2,10 mL/L) hacia La Punta y Chorrillos (Fig. 3e). En el nivel de fondo el rango osciló entre 0,20 y 5,75 mL/L con promedio de 1,32 mL/L. Valores de oxígeno < 0,5 mL/L se ubicaron en la parte central y al sur de la bahía, mientras al norte se presentaron condiciones de gran oxigenación (Fig. 3g).

En la primavera 2014, se mantuvieron las altas concentraciones de oxígeno en la superficie del mar alcanzando valores de hasta 8,35 mL/L y promedio 6,48 mL/L. Las concentraciones menores a 5 mL/L (Fig. 3f) se encontraron al norte de La Perla. En el nivel de fondo el rango comparado con el verano y, al igual que en el 2013, se incrementó, con mayores valores en la zona norte (3,12 mL/L), disminuyendo hacia el sur (< 0,5 mL/L) (Fig. 3h).

**Distribución de pH**

Los valores de pH se presentan en la figura 4. Durante el verano 2013 mostró valores entre 8,07 y 7,52. Como es conocido, este parámetro muestra un comportamiento bastante similar al oxígeno disuelto; se observaron valores más elevados entre Playa Los Cocos y Magdalena, y valores más bajos (7,6 - 7,8) se registraron entre Miraflores y playa La Herradura (Fig. 4a). En el fondo se detectó que el área estaba cubierta por aguas con valores de 7,6 a 7,8 (Fig. 4c).

During late summer 2014, high concentrations of dissolved oxygen (DO) prevailed at the surface, reaching values of up to 7.60 mL/L (average: 5.85 mL/L). Concentrations ranging from 6 to 7 mL/L were widespread across the bay, while lower DO concentrations (< 5 mL/L) were observed at the edges, particularly near La Punta and Chorrillos (Fig. 3e). At the bottom level, DO fluctuated between 0.20 and 5.75 mL/L, with an average of 1.32 mL/L. Central and southern regions of the bay exhibited DO values below 0.5 mL/L, whereas the northern area displayed highly oxygenated conditions (Fig. 3g).

In the spring of 2014, high oxygen concentrations persisted at the sea surface, reaching values of up to 8.35 mL/L with an average of 6.48 mL/L. Lower concentrations below 5 mL/L (Fig. 3f) were observed north of La Perla. At the bottom level, the range increased compared to the summer and, similar to 2013, higher values were found in the northern zone (3.12 mL/L), gradually decreasing towards the south (< 0.5 mL/L) (Fig. 3h).

**pH DISTRIBUTION**

Figure 4 shows the pH values. During the summer of 2013, the pH ranged between 8.07 and 7.52. In accordance with the behavior of dissolved oxygen, higher values were observed between Playa Los Cocos and Magdalena, while lower values (7.6 - 7.8) were found between Miraflores and Playa La Herradura (Fig. 4a). At the bottom level, the entire area showed water with pH values ranging from 7.6 to 7.8 (Fig. 4c).

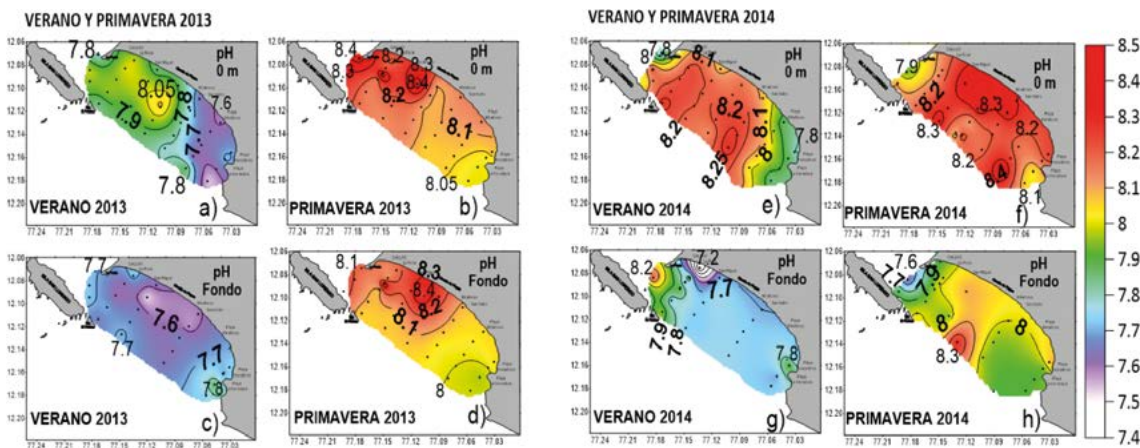


Figura 4.- Distribución de pH en superficie y fondo del mar. Verano y primavera 2013 - 2014. Bahía de Miraflores

Figure 4. Sea surface and bottom pH distribution. Summer and spring 2013 - 2014. Miraflores Bay

Para la primavera del 2013 toda la bahía presentó en sus aguas superficiales valores mayores a 8,00 coincidiendo con las altas concentraciones del oxígeno (Fig. 4b). En el fondo el rango fue de 7,97 a 8,44, registrándose los valores más bajos en la zona sur (Fig. 4d).

Para el verano y primavera del 2014 los valores fueron mayores que en el 2013. En verano se registró rango de 7,75 a 8,29 con promedio en 8,11; la distribución fue muy semejante al del oxígeno. Valores menores a 8,0 se encontraron en los extremos norte y sur de la bahía (Fig. 4e). En relación con las condiciones del fondo durante el verano 2014 al igual que lo observado en el 2013, se presentaron valores bajos, entre 7,6 y 8,20 con promedio de 7,76 y distribución muy semejante al de superficie, aunque menores valores. Se observó máximo de 8,2 y mínimo de 7,2 en el extremo norte (Fig. 4g) que estuvo en relación con altos valores de fosfatos de 3,5  $\mu\text{M}$  frente a La Perla.

En la primavera 2014, en la superficie del mar se registró el rango de 7,92 y 8,40, promedio 8,22 y, como en el verano se mantuvieron los valores menores en los extremos de la bahía (Fig. 4f). En el fondo, el rango varió entre 7,60 y 8,31 con promedio de 7,97, mayores que los observados en verano. Predominaron valores < 8,0 a excepción de un pequeño núcleo con valores entre 8,1 y 8,3 frente a Playa San Miguel (Fig. 4h).

#### **Clorofila-a**

En el verano 2013, la clorofila-a fluctuó entre 0,23 y 2,09  $\mu\text{g/L}$ , el valor más alto estuvo frente a isla El Frontón y el más bajo frente a playa Los Pescadores. La concentración de este parámetro se caracterizó por presentar dos áreas diferenciadas, una entre La Punta y norte de Miraflores con valores de 1 a 2  $\mu\text{g/L}$  y la otra al sur de Miraflores y La Herradura, con valores <0,5  $\mu\text{g/L}$  (Fig. 5a). Cerca al fondo mostró concentraciones más altas (0,41 - 5,04  $\mu\text{g/L}$ ) respecto a la superficie, manteniendo una condición de concentraciones mayores en el norte, que alcanzaron hasta 5  $\mu\text{g/L}$ , en relación con el sur, sugiriendo diferentes condiciones de productividad y sedimentación (Fig. 5c).

During the spring of 2013, the entire bay exhibited surface water pH values greater than 8.00, which corresponded to high oxygen concentrations (Fig. 4b). The pH range at the bottom was 7.97 to 8.44, with the lowest values recorded in the southern zone (Fig. 4d).

During the summer and spring of 2014, the pH values were higher compared to 2013. In summer, the pH ranged from 7.75 to 8.29 (average: 8.11), showing a distribution pattern similar to oxygen levels. Lower pH values (<8.0) were observed in the northern and southern edges of the bay (Fig. 4e). Likewise, the bottom conditions in summer 2014 displayed low pH values ranging from 7.6 to 8.20 (average: 7.76), with a distribution pattern resembling that of the surface but with lower values. The northern edge recorded a pH maximum of 8.2 and a minimum of 7.2 (Fig. 4g) which correlated with elevated phosphate levels of 3.5  $\mu\text{M}$  near La Perla.

In spring 2014, surface seawater pH ranged from 7.92 to 8.40 (average: 8.22), and similar to summer, lower values were observed at the bay's edges (Fig. 4f). At the bottom, the pH ranged from 7.60 to 8.31 (mean: 7.97), surpassing the summer measurements. Most values remained below 8.0, except for a small core near San Miguel Beach, where pH values ranged from 8.1 to 8.3 (Fig. 4h).

#### **Chlorophyll-a**

During the summer of 2013, chlorophyll-a concentrations ranged from 0.23 to 2.09  $\mu\text{g/L}$ , with the highest values observed near El Frontón Island and the lowest values near Los Pescadores Beach. Two distinct areas were identified: the northern region of Miraflores and La Punta exhibited concentrations of 1-2  $\mu\text{g/L}$ , while the southern region of Miraflores and La Herradura showed lower values below 0.5  $\mu\text{g/L}$  (Fig. 5a). Near the bottom, chlorophyll-a concentrations were generally higher (0.41-5.04  $\mu\text{g/L}$ ) compared to the surface, particularly in the northern area, where values reached up to 5  $\mu\text{g/L}$ . This variation suggests different levels of productivity and sedimentation between both areas (Fig. 5c).

En primavera 2013 el rango fue de 0,80 a 3,07 con promedio de 1,68  $\mu\text{g/L}$ . La distribución a nivel de superficie mostró concentraciones entre 1 y 3  $\mu\text{g/L}$  (Fig. 5b), los mismos que estuvieron en relación con los valores altos tanto de pH (> 8,1) como de concentraciones altas de oxígeno. A nivel de fondo, predominantemente varió entre 1 y 3,5  $\mu\text{g/L}$  con las concentraciones mayores a 2  $\mu\text{g/L}$  entre playa Miraflores y Callao (Fig. 5d).

Para el verano 2014, fluctuó entre 0,54 y 2,92  $\mu\text{g/L}$  presentando las mayores concentraciones frente a playa Pescadores y las más bajas frente a La Punta. Su distribución mostró tres áreas con valores menores a 1  $\mu\text{g/L}$  frente a La Punta, Miraflores-San Isidro y entre el sur de Playa Miraflores-Playa La Herradura. Las concentraciones de 2  $\mu\text{g/L}$  se localizaron en pequeños núcleos (Fig. 5e). A nivel de fondo la clorofila-*a* mostró concentraciones más altas (0,18 – 4,57  $\mu\text{g/L}$ ) respecto a la superficie: la isolínea de 1  $\mu\text{g/L}$  delimitó el área de mayores concentraciones que alcanzaron hasta 4  $\mu\text{g/L}$  en ambos extremos (Fig. 5g).

En la primavera 2014, varió entre 0,48 y 2,48  $\mu\text{g/L}$ . Hubo predominio de concentraciones > 1  $\mu\text{g/L}$  entre San Miguel y playa La Herradura; dos núcleos de 2  $\mu\text{g/L}$  se localizaron cerca de la línea costera (Miraflores – San Isidro) y el otro más alejado a la línea costera. Por otro lado, concentraciones < 1  $\mu\text{g/L}$  se hallaron al norte de la Perla (Fig. 5f). En fondo mostró un rango de 0,15 y 2,32. En gran parte del área predominaron concentraciones de 1 a 2  $\mu\text{g/L}$ , mientras que frente a playa Miraflores y La Herradura las concentraciones fueron menores a 0,5  $\mu\text{g/L}$  (Fig. 5h).

### Transparencia del agua de mar

Durante los períodos de muestreo 2013 y 2014, varió entre 0 y 4,5 m. Los valores encontrados fueron bajos (< 4,5 m) y esto se debe a la turbidez característica de las aguas de la bahía que está dada por la cantidad de materia suspendida (Fig. 6).

In the spring of 2013, the range varied from 0.80 to 3.07  $\mu\text{g/L}$ , with an average of 1.68  $\mu\text{g/L}$ . Surface distribution revealed concentrations between 1 and 3  $\mu\text{g/L}$  (Fig. 5b), which corresponded to elevated pH values (>8.1) and higher oxygen concentrations. At the bottom, chlorophyll-*a* concentrations predominantly ranged between 1 to 3.5  $\mu\text{g/L}$ , with concentrations exceeding 2  $\mu\text{g/L}$  observed between Miraflores Beach and Callao (Fig. 5d).

During the summer of 2014, chlorophyll-*a* concentrations ranged from 0.54 to 2.92  $\mu\text{g/L}$ , with the highest values observed near Pescadores Beach and the lowest near La Punta. The distribution showed three distinct areas with concentrations below 1  $\mu\text{g/L}$ : near La Punta, Miraflores-San Isidro, and between the southern part of Miraflores Beach and La Herradura. Concentrations of 2  $\mu\text{g/L}$  were found in small localized cores (Fig. 5e). At the seafloor, chlorophyll-*a* concentrations were generally higher (ranging from 0.18 to 4.57  $\mu\text{g/L}$ ) compared to the surface. The 1  $\mu\text{g/L}$  contour line defined the area of elevated concentrations, reaching up to 4  $\mu\text{g/L}$  at both ends (Fig. 5g).

In the spring of 2014, chlorophyll-*a* exhibited a range of 0.48 to 2.48  $\mu\text{g/L}$ . Concentrations exceeding 1  $\mu\text{g/L}$  were predominantly observed between San Miguel and La Herradura Beach, with two distinct cores of 2  $\mu\text{g/L}$  located near the coastal line (Miraflores - San Isidro), and an additional core further offshore. Conversely, concentrations below 1  $\mu\text{g/L}$  were found north of La Perla (Fig. 5f). At the bottom, chlorophyll-*a* displayed a range of 0.15 to 2.32  $\mu\text{g/L}$ . Throughout the area, concentrations ranging from 1 to 2  $\mu\text{g/L}$  predominated, while near Miraflores and La Herradura Beach, concentrations remained below 0.5  $\mu\text{g/L}$  (Fig. 5h).

### Seawater transparency

Throughout the sampling periods in 2013 and 2014, the seawater transparency varied between 0 and 4.5 m. The recorded values were predominantly low (< 4.5 m), indicating the presence of turbidity in the bay waters, attributed to the abundance of suspended particles (Fig. 6).





el Circuito de Playas y La Perla, por otro lado, frente a San Isidro y playa Miraflores se hallaron valores menores de  $1 \mu\text{M}$  (Fig. 7b). En fondo se encontraron dos áreas con concentraciones mayores hasta  $4 \mu\text{M}$  al norte de Circuito de playas, mientras que al sur de Miraflores predominaron valores entre  $1,5$  y  $2 \mu\text{M}$  (Fig. 7d).

Por su parte, en el verano 2014, los fosfatos presentaron concentraciones dentro de los rangos normales, aunque con el mismo patrón de mayores concentraciones en la parte sur ( $2,5 \mu\text{M}$ ) disminuyendo hacia la parte norte ( $< 1,5 \mu\text{M}$ , Fig. 7e). En el fondo tuvieron distribución dentro de los rangos normales, a excepción de la zona costera donde se observaron tres núcleos con valores mayores a  $3,5 \mu\text{M}$ , frente a San Miguel, Miraflores-San Isidro y Playa Miraflores-Playa Pescadores (Fig. 7g).

En la primavera 2014, los fosfatos en la superficie se mantuvieron con valores entre  $0,29 \mu\text{M}$  en el extremo sur de isla El Frontón y un máximo ( $2,60 \mu\text{M}$ ) frente a playa La Herradura. Su distribución mostró concentraciones menores a  $1 \mu\text{M}$  en una franja entre La Perla y Circuito de playas el cual estuvo asociado a los altos contenidos de oxígeno ( $6 - 8 \text{ mL/L}$ ) y pH ( $8,2 - 8,3$ ), sin embargo, por fuera de estas áreas la distribución se encontró dentro de los rangos normales (Fig. 7f). A nivel de fondo tuvieron distribución con valores altos, aunque menores a los del verano con máximo en el norte (Fig. 7h).

and La Perla, whereas lower values ( $< 1 \mu\text{M}$ ) were observed off San Isidro and Miraflores beach (Fig. 7b). The bottom level exhibited two distinct areas with concentrations reaching up to  $4 \mu\text{M}$  in the northern region of the Beach Circuit, while concentrations ranging from  $1.5$  to  $2 \mu\text{M}$  prevailed south of Miraflores (Fig. 7d).

In summer 2014, phosphate concentrations exhibited values within the normal ranges, displaying a similar pattern of higher concentrations in the southern region ( $2.5 \mu\text{M}$ ) and decreasing towards the northern region ( $< 1.5 \mu\text{M}$ , Fig. 7e). At the bottom level, phosphate distribution remained within the expected ranges, except for the coastal area where three distinct zones displayed higher values exceeding  $3.5 \mu\text{M}$ , namely off San Miguel, Miraflores-San Isidro, and Miraflores Beach-Pescadores Beach (Fig. 7g).

In spring 2014, surface phosphate concentrations ranged from  $0.29 \mu\text{M}$  in the southernmost tip of El Frontón Island to a maximum of  $2.60 \mu\text{M}$  off La Herradura Beach. The distribution pattern revealed concentrations below  $1 \mu\text{M}$  in a specific zone between La Perla and the Beach Circuit, which correlated with high oxygen levels ( $6-8 \text{ mL/L}$ ) and pH values ( $8.2-8.3$ ). However, outside of these areas, the phosphate distribution remained within normal ranges (Fig. 7f). At the bottom, phosphate concentrations exhibited higher values, although lower than those observed in summer, with the maximum concentration located in the northern region (Fig. 7h).

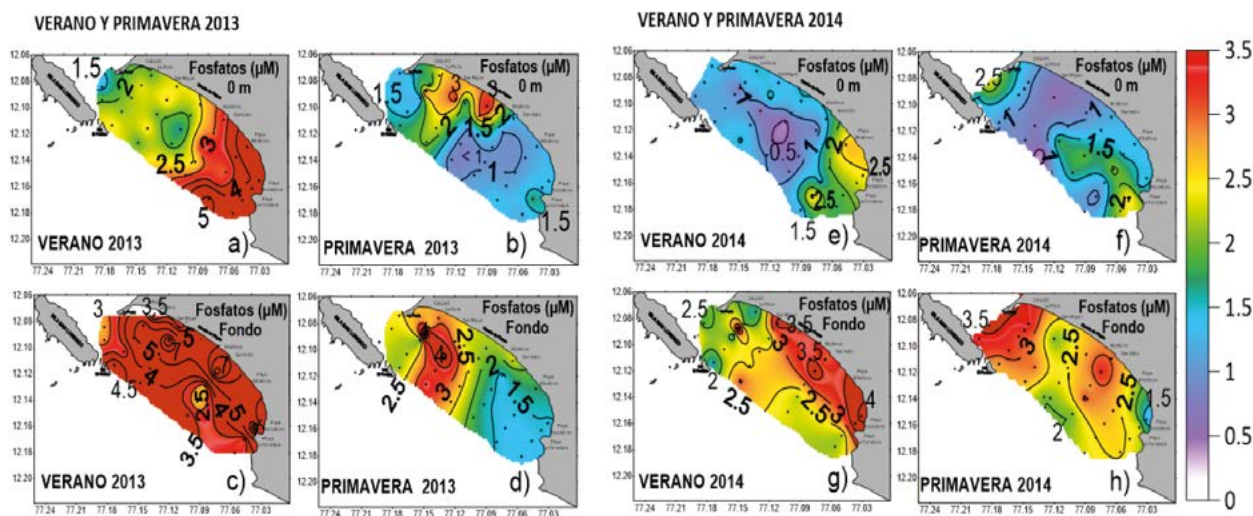


Figura 7.- Distribución de fosfatos en superficie y fondo del mar. Verano y primavera 2013 - 2014. Bahía Miraflores

Figure 7. Surface and bottom phosphate distribution. Summer and spring, 2013 - 2014. Miraflores Bay

En relación a los **silicatos**, en el verano **2013** presentó valores entre 8,02 y 31,03  $\mu\text{M}$ . Las mayores concentraciones se encontraron a lo largo de toda la costa, con valores de 25  $\mu\text{M}$  frente al sur de La Punta, La Perla, Circuito de playas y 30  $\mu\text{M}$  frente a Playa Pescadores (Fig. 8a). En el fondo, los valores fueron mayores a los de superficie, de hasta 40  $\mu\text{M}$ . Núcleos mayores a 30  $\mu\text{M}$  se observaron frente a La Punta, isla El Frontón, San Miguel, Miraflores – Playa Miraflores (Fig. 8c). Por su parte, en la primavera, menores concentraciones de silicatos se observaron en superficie (Fig. 8b) y en el fondo variaron entre 2,73 y 19,55  $\mu\text{M}$  (Fig. 8d).

En el verano **2014**, se presentaron bajas concentraciones con un patrón muy semejante al oxígeno y pH en gran parte de la bahía, predominando valores < 5  $\mu\text{M}$  (Fig. 8e). En el fondo presentaron una capa homogénea entre el Circuito de playas y Playa Miraflores, mientras que al sur de la bahía (playas Pescadores y La Herradura) se encontraron concentraciones entre 15 y 20  $\mu\text{M}$ , sin embargo, hacia el norte de San Miguel disminuyeron hasta 5  $\mu\text{M}$  (Fig. 8g).

En la primavera 2014, los silicatos variaron entre 0,85 y 17,71  $\mu\text{M}$ . Su distribución mostró amplia capa con valores menores a 5  $\mu\text{M}$ , aunque en los extremos de la bahía los valores fueron mayores a 5  $\mu\text{M}$  (Fig. 8f). A nivel de fondo, tuvieron distribución dentro de rangos normales (Fig. 8h).

Regarding **silicates**, during the summer of **2013**, concentrations ranged from 8.02 to 31.03  $\mu\text{M}$ . Higher concentrations were observed along the entire coastal area, with values of 25  $\mu\text{M}$  near the southern region of La Punta, La Perla, the Beach Circuit, and 30  $\mu\text{M}$  near Pescadores Beach (Fig. 8a). At the bottom, concentrations exceeded those at the surface, reaching up to 40  $\mu\text{M}$ . Notable peaks above 30  $\mu\text{M}$  were identified off La Punta, El Frontón Island, San Miguel, and Miraflores – Playa Miraflores (Fig. 8c). Conversely, during the spring, lower silicate concentrations were observed at the surface (Fig. 8b), while at the bottom, they ranged from 2.73 to 19.55  $\mu\text{M}$  (Fig. 8d).

During the summer of **2014**, the bay exhibited low silicate concentrations, following a similar pattern as oxygen and pH. Predominantly, values were below 5  $\mu\text{M}$  throughout most of the bay (Fig. 8e). The bottom displayed a uniform layer between the Beach Circuit and Playa Miraflores, whereas concentrations ranging from 15 to 20  $\mu\text{M}$  were observed in the southern part of the bay (Pescadores and La Herradura beaches). Towards the north of San Miguel, concentrations decreased to 5  $\mu\text{M}$  (Fig. 8g).

In spring 2014, silicate concentrations ranged from 0.85 to 17.71  $\mu\text{M}$ . The distribution exhibited a wide layer with values below 5  $\mu\text{M}$ , while higher concentrations above 5  $\mu\text{M}$  were observed at the bay's edges (Fig. 8f). At the bottom, silicate concentrations were within normal ranges (Fig. 8h).

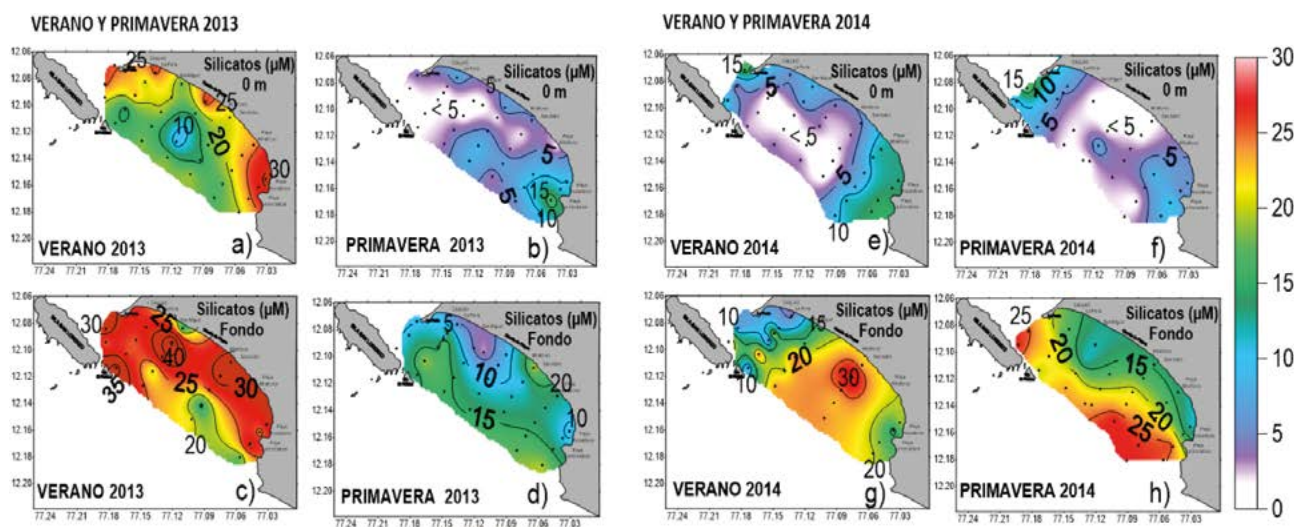


Figura 8.- Distribución de silicatos en superficie y fondo del mar. Verano y primavera 2013- 2014. Bahía de Miraflores

Figure 8. Surface and bottom silicate distribution. Summer and spring, 2013- 2014. Miraflores Bay

En el verano **2013**, los **nitratos** en la superficie del mar presentaron predominio de concentraciones menores a 3  $\mu\text{M}$ , disminuyendo hacia la zona norte (Fig. 9a). En el fondo, las concentraciones también fueron bajas (< 5  $\mu\text{M}$ ), mientras la clorofila-*a* y los fosfatos fueron altos. Un déficit de nitratos (< 1  $\mu\text{M}$ ) se localizó entre playa Miraflores y La Punta (Fig. 9c). En la primavera 2013, a nivel de superficie y fondo la distribución tuvo el mismo patrón manteniéndose los bajos valores de nitratos (< 5  $\mu\text{M}$ ) en gran parte de la bahía (Fig. 9b, d).

En el verano **2014** los nitratos se mantuvieron bajos; en superficie variaron de 0,19 a 4,51  $\mu\text{M}$  (Fig. 9e) mientras en el fondo los valores fueron menores a 1  $\mu\text{M}$  entre playa Miraflores, La Punta y frente a isla San Lorenzo. Entre este punto y Playa La Herradura se observó incremento, alcanzando concentraciones de hasta de 9,73  $\mu\text{M}$  (Fig. 9g). Por su parte, en la primavera 2014, el rango fue de 0,04 y 6,22  $\mu\text{M}$  con promedio de 2,71  $\mu\text{M}$ , manteniendo la condición en la bahía de bajos nitratos (Fig. 9f). A nivel de fondo los nitratos presentaron valores mayores, indicando el ingreso de aguas ricas en nitratos (> 10,0  $\mu\text{M}$ , Fig. 9h).

En el verano **2013**, los **nitritos** en superficie fueron de 0,15 a 0,74  $\mu\text{M}$  (Fig. 10a). A nivel de fondo se observó una capa homogénea entre playa Miraflores y La Punta, concentraciones 1 a 2,5  $\mu\text{M}$  se localizaron frente a La Herradura (Fig. 10c). Para primavera en superficie, los nitritos presentaron concentraciones entre 0 y 0,75  $\mu\text{M}$  y en el fondo de 0,25 a 1  $\mu\text{M}$  (Fig. 10b, d).

En el verano **2014**, los nitritos mostraron una capa homogénea en gran parte de la bahía, presentando valores menores a 0,25  $\mu\text{M}$  e inclusive de 0,0  $\mu\text{M}$ ; solo en los extremos sur y norte de la bahía se encontraron concentraciones entre 0,25 y 0,75  $\mu\text{M}$  (Fig. 10e). En el nivel de fondo los valores fueron más altos respecto a la superficie (Fig. 10g). En la primavera 2014, los nitritos tuvieron características muy semejantes al verano, con valores menores a 0,25  $\mu\text{M}$  asociados a concentraciones menores de 5  $\mu\text{M}$  de nitratos (Fig. 10f). En el fondo predominaron valores entre 0,25 y 0,5  $\mu\text{M}$  (Fig. 10h).

During the summer of **2013**, **nitrate** concentrations in the surface of the sea were predominantly below 3  $\mu\text{M}$ , decreasing towards the northern zone (Fig. 9a). At the bottom, concentrations remained low (< 5  $\mu\text{M}$ ), while chlorophyll-*a* and phosphate levels were high. Notably, a nitrate deficit (< 1  $\mu\text{M}$ ) was identified between Miraflores and La Punta beaches (Fig. 9c). In spring 2013, both surface and bottom distributions followed the same pattern, with prevalent low nitrate values (< 5  $\mu\text{M}$ ) observed across the majority of the bay (Fig. 9b, d).

During the summer of **2014**, nitrate concentrations remained consistently low. Surface levels ranged from 0.19 to 4.51  $\mu\text{M}$  (Fig. 9e) while the bottom values were below 1  $\mu\text{M}$  in areas such as Miraflores Beach, La Punta, and off San Lorenzo Island. Nonetheless, an increase in nitrate concentrations was observed between this point and La Herradura Beach, reaching up to 9.73  $\mu\text{M}$  (Fig. 9g). In contrast, the spring of 2014 exhibited a nitrate range of 0.04 to 6.22  $\mu\text{M}$ , with an average of 2.71  $\mu\text{M}$ , indicating the persistently low nitrate condition in the bay (Fig. 9f). Notably, higher nitrate values were detected at the bottom, suggesting the influence of nitrate-rich waters (> 10.0  $\mu\text{M}$  Fig. 9h).

During the summer of **2013**, **nitrite** concentrations in the surface waters ranged from 0.15 to 0.74  $\mu\text{M}$  (Fig. 10a). The bottom waters exhibited a homogeneous layer extending from Miraflores Beach to La Punta, with concentrations ranging from 1 to 2.5  $\mu\text{M}$  off La Herradura (Fig. 10c). In spring, surface nitrite concentrations varied between 0 and 0.75  $\mu\text{M}$ , while bottom waters showed a range of 0.25 to 1  $\mu\text{M}$  (Fig. 10b, d).

During the summer of **2014**, nitrite concentrations in the surface waters displayed a uniform layer across most of the bay, with values below 0.25  $\mu\text{M}$  and even reaching 0.0  $\mu\text{M}$ . Only the southern and northern edges of the bay showed concentrations between 0.25 and 0.75  $\mu\text{M}$  (Fig. 10e). Bottom waters exhibited higher values compared to the surface (Fig. 10g). In the spring of 2014, nitrite levels exhibited similar characteristics to the summer, with values below 0.25  $\mu\text{M}$  associated with nitrate concentrations below 5  $\mu\text{M}$  (Fig. 10f). Bottom waters predominantly displayed values between 0.25 and 0.5  $\mu\text{M}$  (Fig. 10h).

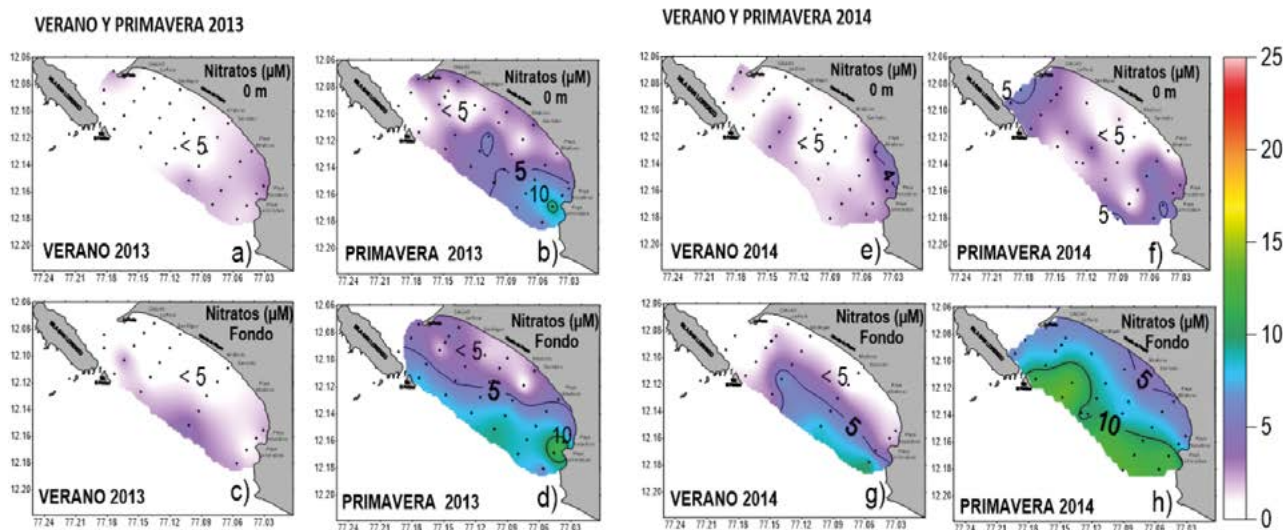


Figura 9.- Distribución de nitratos en superficie y fondo del mar durante verano y primavera del 2013 - 2014. Bahía Miraflores

Figure 9. Nitrate distribution at the sea surface and bottom during summer and spring 2013 - 2014. Miraflores Bay

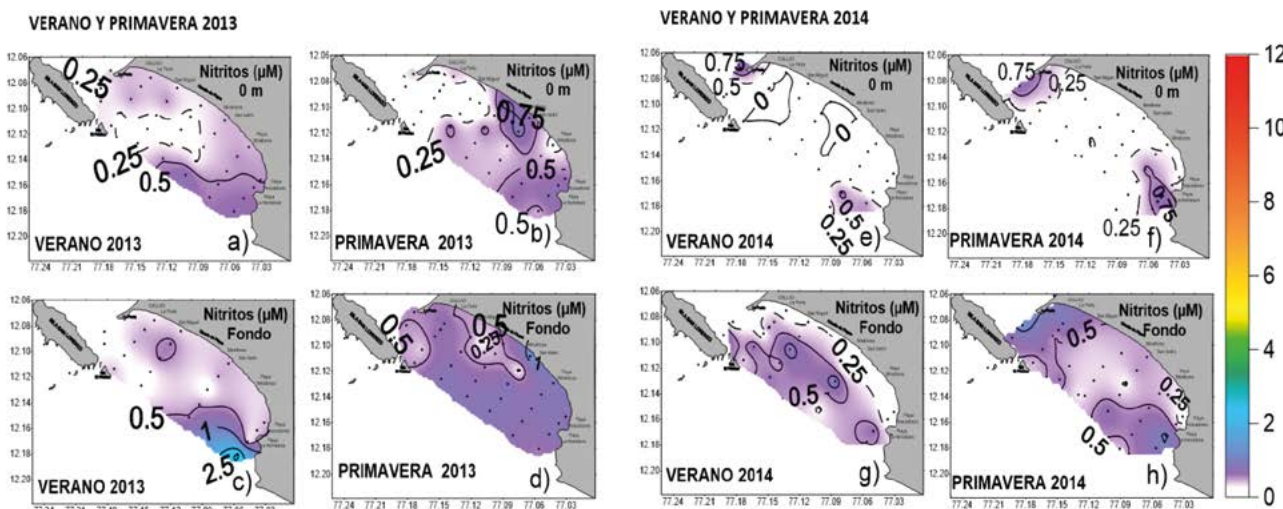


Figura 10.- Distribución de nitritos en superficie y fondo del mar. Verano y primavera el 2013 - 2014. Bahía de Miraflores

Figure 10. Nitrite distribution at the sea surface and bottom. Summer and spring of 2013 - 2014. Miraflores Bay

### Relaciones N/P

La relación N/P, durante el verano 2013, a nivel de superficie y de fondo predominaron valores menores a 0,5 en gran parte del área de estudio a excepción de pequeñas áreas con valores de 1,5 en superficie frente a isla San Lorenzo y de 1,0 sobre el fondo al oeste de playa La Herradura (Figs. 11a, c). Para la primavera de 2013, las condiciones cambiaron, los valores se incrementaron en superficie ligeramente y en el fondo alcanzaron valores de hasta 14 frente a la isla San Lorenzo, acercándose a la proporción de Redfield (Figs. 11b, d).

### N/P ratio

During the summer of 2013, the N/P ratio exhibited predominantly low values below 0.5 at both the surface and bottom levels across most of the study area. However, small areas showed high values, reaching 1.5 at the surface near San Lorenzo Island and 1.0 at the bottom west of La Herradura Beach (Figs. 11a, c). In the spring of 2013, a shift in conditions was observed, with slightly increased surface values and up to 14 at the bottom near San Lorenzo Island, approaching the Redfield ratio (Figs. 11b, d).

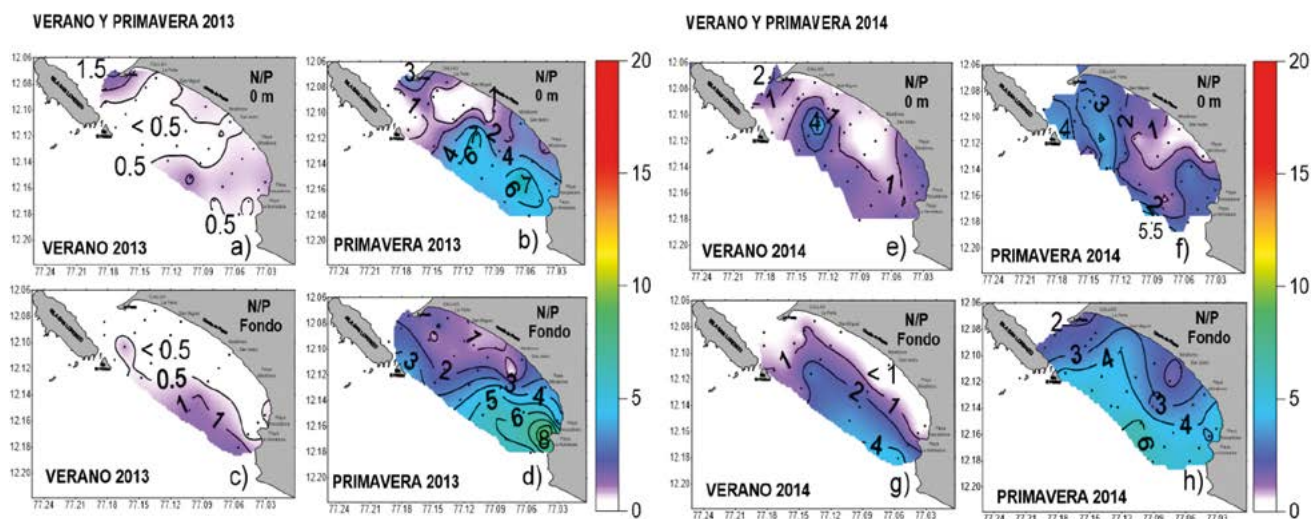


Figura 11.- Relación de N/P a nivel de superficie y fondo del mar. Verano y primavera, 2013 - 2014. Bahía de Miraflores

Figure 11. Sea surface and bottom level N/P ratio. Summer and spring, 2013 - 2014. Miraflores Bay

Respecto al verano del **2014**, a nivel de superficie y fondo se encontró una franja con valores menores a 1 (Figs. 11e, g), incrementándose en la zona sur a valores de 4,0. En la primavera 2014, mientras en la superficie se presentaron valores  $<4,0$ , en el fondo se determinaron valores de hasta 6,0 (Figs. 11f, h).

#### 4. DISCUSIÓN

Las condiciones de las aguas de las bahías a lo largo de la costa peruana generalmente están afectadas por el aporte antropogénico del entorno costero asociado a descargas de ríos, colectores, industrias que se encuentran instaladas cerca de la línea costera presentando a su vez características propias de cada zona, tales como su orientación en la costa, si son cerradas o abiertas, entre otros. Todo esto contribuye en mayor o menor medida con su salubridad y los efectos para los recursos, la biodiversidad y la población. En el caso de la bahía de Miraflores, ubicada en la zona central de Perú y bajo la influencia de la ciudad de Lima. Los estudios previos para caracterizar sus aguas han sido muy puntuales, realizados en el sur de la bahía (Chorrillos) (Orozco<sup>4</sup> *et al.*, 2018), en el centro (GUZMAN, 2007) y en el norte Carpayo-Mar Brava (KAMEYA *et al.*, 1995).

La bahía de Miraflores se caracteriza por carecer de aporte de aguas de río e industria (fábricas) en la línea costera. Sin embargo, al sur de la bahía se ha reconocido la influencia del colector La Chira (Chorrillos), muelle artesanal Los Pescadores y en la época veraniega la afluencia de bañistas

Regarding the summer of **2014**, a range of values below 1 was observed at both the surface and bottom levels (Figs. 11e, g), with an increase to 4.0 in the southern zone. During the spring of 2014, values below 4.0 were observed at the surface, while the bottom recorded values of up to 6.0 (Figs. 11f, h).

#### 4. DISCUSSION

The water conditions of the bays along the Peruvian coast are generally influenced by anthropogenic activities in the coastal environment, such as river discharges, sewage systems, and nearby industries. These factors, combined with specific characteristics of each bay, including their orientation and openness, contribute to their overall water quality and subsequent impacts on resources, biodiversity, and the local population. In the case of Miraflores Bay, located in central Peru and under the influence of Lima city, previous studies have focused on specific areas within the bay, including the southern part in Chorrillos (Orozco<sup>4</sup> *et al.*, 2018), the central region (GUZMAN, 2007), and the northern region around Carpayo-Mar Brava (KAMEYA *et al.*, 1995).

Miraflores Bay is characterized by the absence of river water and industrial discharge along the coastline. However, the southern part of the bay shows the influence of the La Chira sewer outfall (Chorrillos), the artisanal fishermen's pier, and the seasonal influx of bathers and tourists. The

y turistas. El colector La Chira (Chorrillos) construido en 1963, tiene gran influencia en la contaminación marina en la bahía, siendo considerado el más grande de Lima y Callao ya que emite 8 m<sup>3</sup>/s de aguas servidas (MAJLUF, 2014) al mar provenientes de Lima afectando a Chorrillos, Barranco y Miraflores y al mismo tiempo a la población. Por otro lado, en mayo 2008 se clausuró el colector grande, colector Costanero San Miguel que por años recibió los desagües de los limeños con un fuerte impacto en la calidad de las aguas.

En el norte de la bahía Miraflores, cuyas aguas no son muy profundas -de 5 a 12 m-, estudios previos han reconocido la ocurrencia de constantes floraciones algales en verano con mayor incidencia que en primavera. Cuando se producen estas floraciones suele mostrar un frente en el cual se observan dos coloraciones diferentes del agua de mar presentando coloración marrón oscuro, verde oscuro, verde blanquecino dependiendo de la predominancia de las especies fitoplanctónicas (Flores<sup>3</sup> *et al.*, 2018). Los resultados en los veranos 2013 y 2014 indicaron dos condiciones diferentes. En el verano 2013 al norte de playa Pescadores se presentaron bajas concentraciones de oxígeno (< 4 mL/L), encontrándose pobreza de clorofila-*a* (< 0,5 µg/L) y altos fosfatos (> 3,5 µM), e indicios del aporte de efluentes antropogénico en valores de Salinidad <34,8. Esta disminución en las concentraciones de oxígeno, salinidad y clorofila-*a* y el incremento de fosfatos refleja el impacto que causa la carga orgánica de residuos líquidos provenientes de las diversas actividades en esa área, generando en el fondo condiciones de anoxia y alto consumo de nitrógeno. La distribución de las variables químicas es compleja en las bahías debido a la transformación por procesos biogeoquímicos. Con respecto a los nutrientes en la superficie del mar, las altas concentraciones de fosfatos (5 µM) sobrepasando los valores normales (3,5 µM) que a su vez alcanzan hasta 7 µM a nivel de fondo, indican condiciones de contaminación. Por su parte, los nitratos fueron menores a 5 µM a nivel superficial y en el fondo indicando predominio de procesos de pérdida de N asociados a alta carga orgánica y anoxia lo cual se refleja en una condición no Redfiliana, con un N/P < 5.

Por su parte en el verano 2014, las concentraciones mayores a 6 mL/L de oxígeno, pH mayor a 8,1 y menores concentraciones de fosfatos (< 1 µM), silicatos y nitratos (< 5 µM) reflejan el consumo

La Chira sewer outfall, established in 1963, significantly contributes to marine pollution in the bay and is considered the largest in Lima and Callao, releasing 8 m<sup>3</sup>/s of wastewater (MAJLUF, 2014) into the sea from Lima, impacting Chorrillos, Barranco, Miraflores, and the local population. Conversely, in May 2008, the large sewer outfall, the Costanero San Miguel sewer, was closed, which had been receiving the city's sewage for years, causing a significant impact on water quality.

Previous studies have identified the occurrence of frequent algal blooms in the northern region of Miraflores Bay, characterized by shallow waters ranging from 5 to 12 m. These blooms occur more frequently in the summer compared to the spring and exhibit a distinct water coloration front, displaying dark brown, dark green, or whitish-green hues, depending on the prevalent phytoplankton species (Flores<sup>3</sup> *et al.*, 2018). The summers of 2013 and 2014 revealed two distinct conditions. In the summer of 2013, low oxygen concentrations (< 4 mL/L), depleted chlorophyll-*a* levels (< 0.5 µg/L), high phosphate levels (> 3.5 µM), and indications of anthropogenic effluent input (salinity < 34.8) were observed north of Pescadores Beach. These reduced oxygen, salinity, and chlorophyll-*a* levels, along with increased phosphates, reflect the impact of organic waste discharge from various activities in the area, leading to bottom-water anoxia and nitrogen depletion. The chemical distribution in the bays is complex due to biogeochemical processes. Surface nutrient analysis indicated high phosphate concentrations (5 µM), exceeding the normal values (3.5 µM), reaching up to 7 µM in the bottom waters, indicate pollution, while nitrates remained below 5 µM, indicative of nitrogen loss processes associated with organic load and anoxia, resulting in a non-Redfield condition with an N/P ratio < 5.

During the summer of 2014, elevated oxygen concentrations (> 6 mL/L), pH levels above 8.1, and lower levels of phosphates (< 1 µM), silicates, and nitrates (< 5 µM) indicated nutrient uptake by phytoplankton species. This was accompanied by a higher prevalence of dinoflagellates responsible for

de estos nutrientes por especies fitoplanctónicas, registrándose mayor predominancia de dinoflagelados productores de floraciones algales y diatomeas pequeñas, propias de áreas de afloramiento (JACOBO, SÁNCHEZ, BERNALES, CHANG & FLORES, 2021). Las condiciones de nutrientes no indican un aporte antrópico como el observado en el 2013. Respecto a la clorofila-*a* en superficie del mar, esta fue un poco más alta (0,54 - 2,90  $\mu\text{g/L}$ ) respecto al 2013 en donde alcanzó entre 0,23 - 2,09  $\mu\text{g/L}$ .

Los períodos de primavera del 2013 y 2014 presentan el impacto de los procesos fitoplanctónicos. En la primavera 2013, al norte de la bahía los parámetros químicos como el oxígeno (6-8 mL/L) y pH (8,1-8,4) mostraron altos contenidos que estuvieron asociados a las altas abundancias relativas de diatomeas pequeñas dispuestas en cadenas con alta tasa productiva como el género *Chaetoceros* (JACOBO *et al.*, 2021). Predominaron valores de clorofila-*a* de 1 a 3  $\mu\text{g/L}$ , con máximo de 3,5  $\mu\text{g/L}$  de clorofila-*a* en el fondo. La transparencia del agua de mar mostró poca visibilidad entre 0 y 3 m. Los nutrientes como los silicatos y nitratos presentaron valores menores a 5  $\mu\text{M}$  reflejando el consumo por las especies fitoplanctónicas. En cambio, al sur de la bahía, las variables químicas reflejaron el impacto del ambiente costero, el afloramiento y el ingreso de las acf. Una condición similar se dio en primavera del 2014, con altos valores de oxígeno (> 5 mL/L) y pH (8,1 y 8,3) y bajas concentraciones de fosfatos, silicatos y nitratos, encontrándose en esta oportunidad altas abundancias de diatomeas de primera y segunda etapa de la sucesión fitoplanctónica y algunos dinoflagelados (Jacobo, com. pers). El agotamiento de los nutrientes en superficie estuvo asociado también a la sobresaturación de oxígeno (> 110 %) y a un pH más básico (> 8,2).

El análisis de la relación de N/P y el valor de referencia de Redfield de 16 nos indican la condición de nitrógeno inorgánico disuelto y fósforo en agua de mar y los procesos que pueden afectar esta razón asociado a las condiciones de oxígeno, carga orgánica y procesos antropogénicos (LIBES, 2009). Una comparación para las bahías de Miraflores, Paracas y Samanco (Fig. 12) nos muestra, en todos los casos, significativas desviaciones de esta razón con valores menores a 5. Previamente, se han reportado trabajos que indican que el sistema de afloramiento peruano presenta valores de N/P me-

algal blooms and small diatoms typically found in upwelling areas (JACOBO, SÁNCHEZ, BERNALES, CHANG & FLORES, 2021). Unlike in 2013, the nutrient conditions did not suggest significant anthropogenic input. In terms of chlorophyll-*a*, surface concentrations were slightly higher (0.54 - 2.90  $\mu\text{g/L}$ ) compared to 2013, where they ranged from 0.23 to 2.09  $\mu\text{g/L}$ .

During the spring periods of 2013 and 2014, the impact of phytoplankton processes was evident. In spring 2013, the northern part of the bay exhibited high levels of oxygen (6-8 mL/L) and pH (8.1-8.4), which were associated with the abundance of small diatoms, particularly the productive genus *Chaetoceros* (JACOBO *et al.*, 2021). Chlorophyll-*a* concentrations ranged from 1 to 3  $\mu\text{g/L}$ , reaching a maximum of 3.5  $\mu\text{g/L}$  in the bottom. Seawater transparency was limited, with visibility ranging from 0 to 3 m. Nutrient levels, such as silicates and nitrates, were below 5  $\mu\text{M}$ , indicating consumption by phytoplankton. In contrast, the southern part of the bay reflected the impact of the coastal environment, upwelling, and the influx of ccw. Similar conditions were observed in spring 2014, with high oxygen (> 5 mL/L) and pH (8.1-8.3) values, and low concentrations of phosphates, silicates, and nitrates. This time, there were significant abundances of early-stage diatoms in the phytoplankton succession, along with some dinoflagellates (Jacobo, pers. comm.). Nutrient depletion in the surface layer was accompanied by oxygen supersaturation (> 110%) and a more basic pH (> 8.2).

The analysis of the N/P ratio and its reference value of 16, according to the Redfield ratio, provides insights into the dissolved inorganic nitrogen and phosphorus condition in seawater and the processes affecting this ratio, such as oxygen levels, organic load, and anthropogenic influences (LIBES, 2009). A comparison of Miraflores, Paracas, and Samanco bays (Fig. 12) reveals significant deviations from this ratio, with values consistently below 5. Previous studies have shown that the Peruvian upwelling system exhibits N/P values lower than 16, ranging from 12.6 in the coastal area off Callao



nor a 16, en el rango de 12,6 para la zona costera frente a Callao (HAMERSLEY *et al.*, 2007). Estos bajos valores de N/P reflejan por un lado el alto consumo de nitrógeno resultado del déficit de oxígeno y la condición de alta carga orgánica, la liberación de fosfatos desde los sedimentos anóxicos (PITCHER *et al.*, 2021), así como el exceso de fosfatos que puede resultar del aporte antropogénico. En efecto, en el caso de las bahías los valores están influenciados por la descarga de los ríos, industria, floraciones algales etc., indistintamente de la estación del año. Por otro lado, se ha observado en estudios anteriores que debido a los procesos físicos y de advección, las bahías pueden recuperarse rápidamente, dado el recambio de agua, cuando son afectadas por agentes externos (QUISPE *et al.*, 2022).

Comparando el verano 2013 con el 2014, en la relación N/P, el verano 2013 estuvo enmarcado en un déficit de nitrógeno inorgánico (Nitratos + Nitritos) y un exceso en fosfatos, resultando en valores menores a 1,5 de N/P (Fig. 11); mientras que, en el verano 2014 el valor máximo de N/P fue 4. Esta diferencia entre ambos veranos es consistente con las concentraciones más bajas de oxígeno de fondo en el verano 2013. Para las primaveras 2013 y 2014 los valores promedio de N/P fueron mayores que los de verano, coincidiendo con la mejor oxigenación del fondo. Aunque los fosfatos en superficie estuvieron dentro de los rangos normales, los nitratos continuaron siendo bajos en gran parte del área de estudio y los nitritos disminuyeron.

Al comparar los valores de N/P a nivel de superficie y fondo de los muestreos realizados durante el 2013 y 2014, se obtienen correlaciones bajas y no significativas en 2013, a excepción de julio que sí fue significativo (Fig. 13 a-d). La máxima correlación se obtuvo en octubre del 2014 (Fig. 13f), la cual fue directa y muy significativa ( $p=0$ ). La ausencia de correlación significativa, evidencia la importancia de la deficiencia del oxígeno de origen natural o antrópica en la biogeoquímica del N y del P en el fondo de la bahía.

El diagrama de cajas de los valores de N/P señala la gran variabilidad y el desvío significativo de la razón de Redfield, indicando alto déficit de nitrógeno y exceso de fosfatos, aunque para algunos períodos muestra una proporción N/P más aproximada a lo normal (Fig. 13g). Esto indica lo dinámico y variable de la bahía y su capacidad de recuperación.

(HAMERSLEY *et al.*, 2007). These lower N/P values reflect high nitrogen consumption resulting from oxygen depletion, high organic load, release of phosphates from anoxic sediments (PITCHER *et al.*, 2021), and potential excess phosphates from anthropogenic inputs. In the case of the bays, values are influenced by factors such as river discharge, industrial activities, algal blooms, regardless of the season. Conversely, previous research has indicated that bays can quickly recover from external impacts due to physical processes and advection, facilitated by water exchange (QUISPE *et al.*, 2022).

When comparing the summers of 2013 and 2014, the N/P ratio revealed distinct patterns. In the summer of 2013, there was an imbalance with lower inorganic nitrogen (nitrates + nitrites) and elevated phosphates, resulting in N/P values below 1.5 (Fig. 11). Conversely, the summer of 2014 exhibited a maximum N/P value of 4. This disparity corresponds to the lower bottom oxygen concentrations observed in 2013. In the spring seasons of both years, the average N/P values were higher than in summer, aligning with improved bottom oxygenation. While surface phosphates remained within normal ranges, nitrates remained low in most of the study area, accompanied by a decline in nitrites.

When comparing the N/P values at the surface and bottom levels from the 2013 and 2014 samplings, weak and non-significant correlations were observed in 2013, except for July, which showed a significant correlation (Fig. 13 a-d). The highest correlation was found in October 2014 (Fig. 13f), which was strong and highly significant ( $p=0$ ). The lack of significant correlation highlights the influence of oxygen deficiency, whether natural or anthropogenic, on the nitrogen (N) and phosphorus (P) biogeochemistry in the bay's bottom.

The box plot analysis of the N/P values demonstrates substantial variability and a significant deviation from the Redfield ratio, indicating a pronounced nitrogen deficit and phosphates excess. Nevertheless, some periods exhibit a N/P ratio closer to normal levels (Fig. 13g). These findings underscore the dynamic and variable nature of the bay and its inherent capacity for recovery.

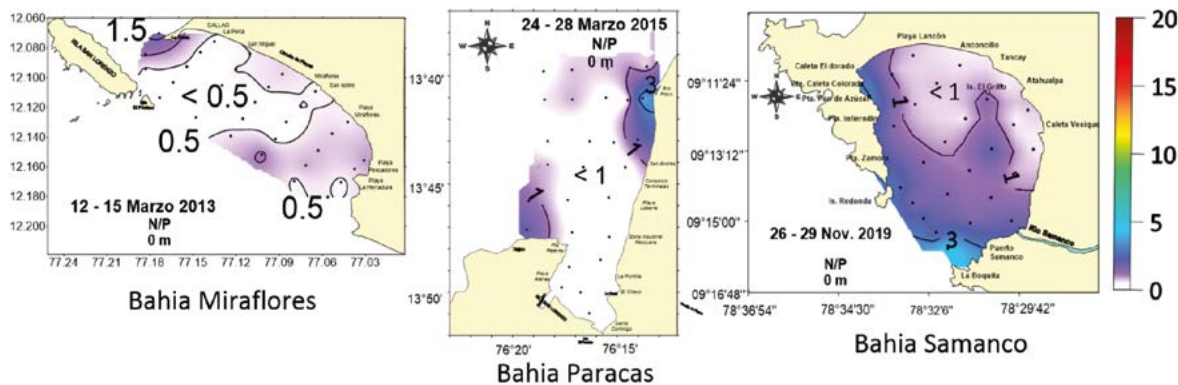


Figura 12.- Relación de N/P a nivel de superficie. Bahías Miraflores, Paracas y Samanco, en verano y primavera

Figure 12. N/P ratio at surface level, Miraflores, Paracas and Samanco bays, in summer and spring

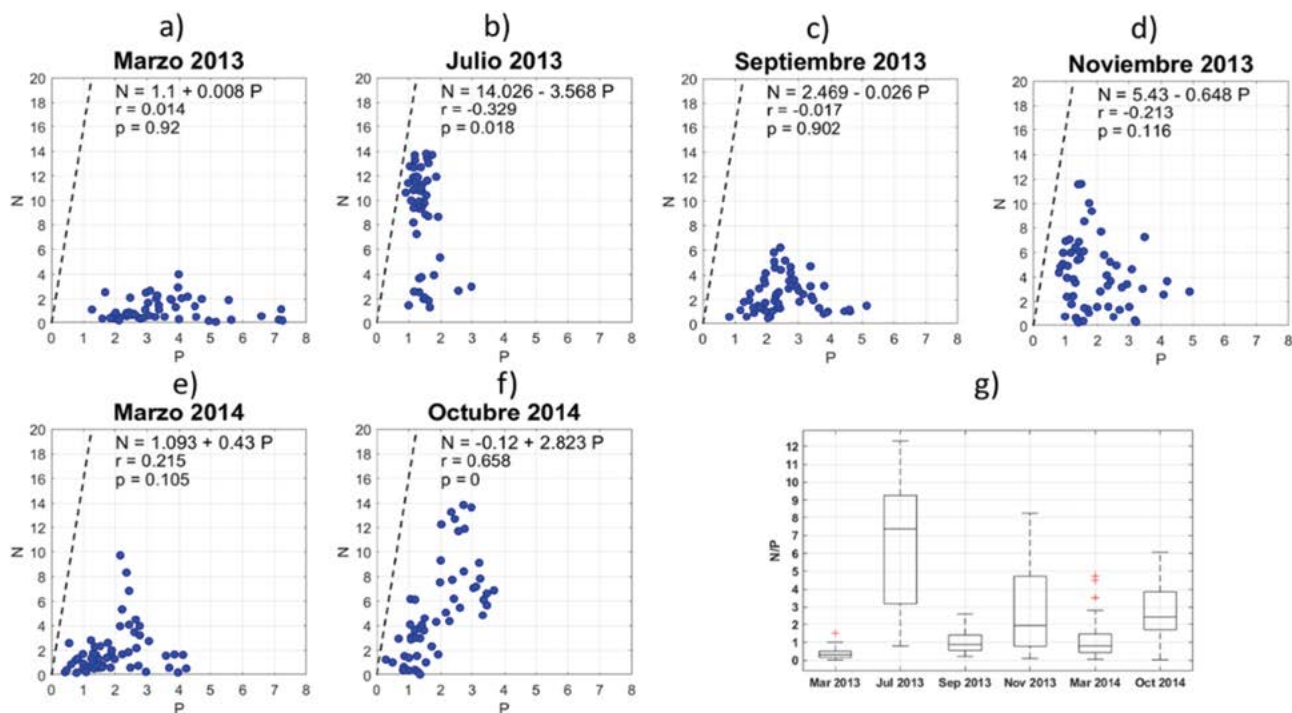


Figura 13.- a) – f) Diagramas de concentración de fosfatos (µM) vs. nitratos (µM) en superficie y fondo, 2013 - 2014, g) Diagrama de caja de N/P para cada mes

Figure 13. a) – f) Plots of phosphate concentration (µM) vs nitrate (µM) at surface and bottom, 2013 - 2014, g) Box plot of N/P for each month

Los proyectos para la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y la regulación del Emisor Submarino en La Chira, cuyos estudios se iniciaron en julio 2013, una vez concretados, permitirán, la regeneración ambiental de la bahía, así como que Lima tenga playas limpias, saludables y libres de contaminación.

### 5. CONCLUSIONES

La distribución de las variables químicas en bahías, es compleja por los efectos locales de

The implementation of the Wastewater Treatment Plant (WWTP) and the regulation of the Submarine Outfall at La Chira, which have been under study since July 2013, will contribute to the environmental restoration of the bay. These initiatives will result in clean and pollution-free beaches, promoting a healthier coastal ecosystem in Lima.

### 5. CONCLUSIONS

The distribution of chemical variables in bays is complex due to the local effects of physical

la dinámica física, la intensa transformación de elementos asociado a procesos químicos y biológicos y el impacto antropogénico. En este contexto se deben analizar los resultados.

En bahía Miraflores, durante este estudio, las mayores concentraciones de oxígeno, pH y clorofila-*a* en la superficie del mar, se registraron en la primavera 2014, con mayor actividad biológica que la observada en el año 2013 y verano 2014.

El aporte antropogénico y la alta actividad biológica son factores que afectan a las variables químicas favoreciendo anoxia y altos contenidos de nutrientes como fosfatos y silicatos como es el caso del verano 2013 en el nivel de superficie y fondo. En cambio, cuando hay alta actividad biológica, se presenta mayor producción superficial de oxígeno y consumo de algunos nutrientes (nitratos y silicatos) como en el verano y primavera 2014.

Los nitratos muestran gran déficit que se refleja en concentraciones menores a 5  $\mu\text{M}$  en verano y primavera 2013 y 2014, que a nivel superficial se debió al consumo por especies fitoplanctónicas (diatomeas, dinoflagelados) y en el fondo, a los procesos de óxido-reducción por la respiración de la materia orgánica, en especial en verano y primavera 2014.

Valores de fosfatos de 1,5 -5,0  $\mu\text{M}$  se registraron en el verano 2013 a nivel de superficie mientras que en el fondo fue de 3,0 y 7  $\mu\text{M}$ , a diferencia de lo observado en el 2014. Estas concentraciones superan los valores reportados en el área. En tal sentido debe cuantificarse el efecto de aguas provenientes del colector La Chira, que a través de las corrientes marinas son transportadas hasta la bahía, alterando las concentraciones de fosfatos ante el incremento generado por agentes externos como fertilizantes, eliminados del suelo por el agua, excretas humanas, animales, detergentes y productos de limpieza entre otros.

Las relaciones N/P en bahías son complejas y los valores registrados están por debajo de la razón de Redfield ( $< 5$ ), lo que puede estar relacionado a un elevado consumo o pérdida de los compuestos de nitrógeno por productores primarios o por procesos de óxido reducción

dynamics, intense element transformation associated with chemical and biological processes, and anthropogenic impact. In this context, the results must be analyzed.

During our study, Miraflores Bay exhibited higher concentrations of oxygen, pH, and chlorophyll-*a* in the surface waters during the spring of 2014, indicating greater biological activity compared to the levels observed in 2013 and summer 2014.

Anthropogenic inputs and high biological activity are factors that affect the chemical variables, leading to anoxia and high nutrient contents such as phosphates and silicates, as observed in the surface and bottom waters during the summer of 2013. Conversely, during periods of high biological activity, there is increased surface oxygen production and consumption of certain nutrients (nitrates and silicates), as seen in the summer and spring of 2014.

During the summer and spring of 2013 and 2014, nitrates exhibited a substantial deficit, with concentrations below 5  $\mu\text{M}$ . At the surface level, this was attributed to the uptake by phytoplankton species (diatoms, dinoflagellates), while at the bottom level, it was linked to redox processes resulting from organic matter respiration, particularly evident in the summer and spring of 2014.

Phosphate concentrations ranging from 1.5 to 5.0  $\mu\text{M}$  were recorded at the surface during the summer of 2013, while at the bottom, concentrations ranged from 3.0 to 7  $\mu\text{M}$ , contrasting with the observations in 2014. These values surpass the reported levels in the area. Thus, it is crucial to quantify the impact of water influx from the La Chira sewer outfall, which, carried by marine currents, affects phosphate concentrations due to the rise in external factors like fertilizers leaching from soil, human and animal excreta, detergents, and cleaning products.

The N/P ratios in bays are complex, with values falling below the Redfield ratio ( $< 5$ ), potentially indicating substantial nitrogen compound uptake or loss by primary producers, oxidation-

o al aporte de fósforo asociado a procesos de condiciones predominantemente anóxicas de los sedimentos, tanto por causa natural como antropogénica.

### Agradecimientos

Los autores quieren expresar un agradecimiento al Dr. Dimitri Gutiérrez por la revisión y sugerencias al presente manuscrito, así mismo, al Proyecto “Estudio Integrado de los Procesos Físicos, Químicos y Biológicos en el Ecosistema de Borde Costero” que es donde se generó la información para la presente publicación.

reduction processes, and phosphorus input associated with predominantly anoxic sediment conditions, arising from both natural and anthropogenic factors.

### Acknowledgments

The authors would like to express their gratitude to Dr. Dimitri Gutiérrez for reviewing and providing suggestions on the manuscript. They also acknowledge the Project “Integrated Study of Physical, Chemical, and Biological Processes in the Coastal Edge Ecosystem” for generating the data used in this publication.

## 6. REFERENCIAS

- CARRIT, D. & CARPENTER, J. (1966). Comparison and evaluation of currently employed modifications of Winkler method for determination dissolved oxygen in sea water. *Journal of Marine Research*, 24(3). 286-318. [https://elischolar.library.yale.edu/journal\\_of\\_marine\\_research/1077](https://elischolar.library.yale.edu/journal_of_marine_research/1077)
- GUZMÁN, E. (2007). Aplicación del modelo de transporte de sedimentos Unibest CL 6.0 a la bahía de Miraflores. *Dirección de Hidrografía y Navegación*. <https://docplayer.es/54215781-Aplicacion-del-modelo-de-transporte-de-sedimentos-unibest-cl-6-0-a-la-bahia-de-miraflores-resumen.html>
- HAMERSLEY, R., LAVIK, G., WOEBKEN, D., RATTRAY, J. E., LAM, P., HOPMANS, E., SINNINGHE, J., KRÜGER, S., GRACO, M., GUTIÉRREZ, D. & KUYPERS, M. (2007). Anaerobic ammonium in the Peruvian oxygen minimum zone. *Limnology and Oceanography*, 52(3), 923-933. <https://doi.org/10.4319/llo.2007.52.3.0923>
- HOLM-HANSEN, A., LORENZEN, C., HOLMES, R. & STRICKLAND, J. (1965). Fluorometric determination of chlorophyll. *ICES Journal of Marine Science*, 30(1), 3-15. <https://doi.org/10.1093/icesjms/30.1.3>
- JACOBO, N., SÁNCHEZ, S., BERNALES, A., CHANG, F. & FLORES, G. (2021). Variabilidad estacional del fitoplancton y su asociación con parámetros físicos-químicos, bahía de Miraflores (12°S). *Inf Inst Mar Perú*, 48(2), 173-185. <https://biblioimarpe.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/3571>
- KAMEYA, A., ELLIOTT W., MORON, O., SARAVIA, B., DELGADO, E., GIRÓN, M. & CÁRCAMO, E. (1995). I Prospección Bio-Oceanográfica y Pesca en el Callao (Playas Carpayo, Arenilla, Cocos y Mar Brava). *Inf Prog. Inst Mar Perú*, (11), 1-29. <https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/1367>
- LIBES, S. M. (2009). *Introduction to Marine Biogeochemistry*. Elsevier.
- MAJLUF, P. (2014). Identificación de ecosistemas y servicios ecosistemáticos dentro del ámbito de la “Costa Verde” con proceso de selección N° 002-2014-MML-APCV-GA/AA. Fundación Cayetano Heredia. [http://www.apcvperu.gob.pe/files/estudios/Ecosistemas\\_2.pdf](http://www.apcvperu.gob.pe/files/estudios/Ecosistemas_2.pdf)
- PITCHER, G. C., AGUIRRE-VELARDE, A., BREITBURG, D., CARDICH, J., CARSTENSEN, J., CONLEY, D. J., DEWITTE, B., ENGEL, A., ESPINOZA-MORRIBERON, D., FLORES, G., GARÇON, V., GRACO, M., GRÉGOIRE M., GUTIÉRREZ, D., HERNÁNDEZ-AYON, J. M., HUAI-HSUAN, M. H, ISENSEE, K., JACINTO, M. E., LEVIN, L., ...ZHU, Z.Y. (2021). System controls of coastal and open ocean oxygen depletion. *Progress in Oceanography*, 197, 1-79. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2021.102613>
- QUISPE J., VÁSQUEZ L., GARCÍA, W., MORÓN O., PIZARRO L., FLORES G., SÁNCHEZ S. & FLORES R. (2022). Hidrografía y estratificación en la bahía de Miraflores. Marzo-setiembre 2014. *Inf Inst Mar Perú*. 49(1), 122-136. <https://biblioimarpe.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/4044>
- STRICKLAND, J. & PARSONS T. (1972). *Practical Handbook of Seawater Analysis*. Fisheries Research Board of Canada, (167), 1-311. <http://dx.doi.org/10.25607/OBP-1791>
- UNESCO. (1983). Chemical methods for use in environmental monitoring. *Manual and Guides*, (12), 1-53. <http://hdl.handle.net/11329/87>
- YENTSCH, C. & MENZEL, D. (1963). A method for determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. *Deep Sea Research*, 10(3), 221-231. [https://doi.org/10.1016/0011-7471\(63\)90358-9](https://doi.org/10.1016/0011-7471(63)90358-9)