

CARACTERÍSTICAS Y DISTRIBUCIÓN DEL FITOPLANCTON EN LA BAHÍA PARACAS Y ÁREAS ADYACENTES (2013 - 2015)

PHYTOPLANKTON FEATURES AND DISTRIBUTION IN PARACAS BAY AND SURROUNDING AREAS (2013-2015)

Nelly Jacobo¹ Sonia Sánchez¹

<https://doi.org/10.53554/boletin.v38i1.379>

RESUMEN

JACOBO, N. & SÁNCHEZ, S. (2023). *Características y distribución del fitoplancton en la bahía de Paracas y áreas adyacentes (2013 - 2015)*. *Bol Inst Mar Perú*, 38(1), 5-20.- Se estudió la comunidad del fitoplancton y sus patrones de abundancia en la bahía de Paracas – Pisco (13°S) entre 2013 y 2015. Las muestras fueron recolectadas a dos niveles de profundidad en diferentes estaciones del año: otoño (abril, 2013), primavera (noviembre, 2014), verano e invierno (marzo y julio, 2015). Diatomeas y Fitoflagelados (ND) fueron los principales grupos dominantes en la bahía; seguidos por dinoflagelados, silicoflagelados y cocolitofóridos, estos dos últimos de menor importancia cuantitativa. Se observó un patrón estacional en la comunidad, siendo abundante en primavera y verano el grupo funcional con estrategia “R” compuesto por especies formadoras de cadenas con alta relación superficie-volumen. Se evidenció una comunidad en activo crecimiento con bajos índices de diversidad ($H' < 2,5 \text{ bits.cel}^{-1}$) especialmente en las campañas de primavera y verano. Los cambios en la estructura comunitaria estuvieron relacionados principalmente con la concentración de fosfatos y silicatos en diatomeas y con cambios en la relación N: P en dinoflagelados, grupo que presentó mayores abundancias ($41 \times 10^4 \text{ cel.L}^{-1}$) en verano (temperatura superficial del mar - TSM promedio $> 20,7 \text{ }^\circ\text{C}$).

PALABRAS CLAVE: fitoplancton, variación temporal, diversidad, bahía de Paracas, Perú

ABSTRACT

JACOBO, N. & SÁNCHEZ, S. (2023). *Phytoplankton features and distribution in Paracas Bay and surrounding areas (2013-2015)*. *Bol Inst Mar Perú*, 38(1), 5-20.- The study focused on investigating the phytoplankton community and its abundance patterns in Paracas Bay - Pisco (13°S) from 2013 to 2015. Samples were collected at two depth levels during different seasons: autumn (April 2013), spring (November 2014), summer, and winter (March and July 2015). Diatoms and Phytoflagellates (ND) emerged as the dominant groups in the bay, followed by dinoflagellates, silicoflagellates, and coccolithophores, although they were quantitatively less significant. A clear seasonal pattern was observed in the community, with a notable abundance of the functional group characterized by the “R” strategy, comprising chain-forming species with a high surface-to-volume ratio during spring and summer. Our study revealed an actively growing community with low diversity indices ($H' < 2.5 \text{ bits.cel}^{-1}$), particularly during the spring and summer campaigns. Changes in community structure primarily correlated with phosphate and silicate concentrations in diatoms, as well as alterations in the N:P ratio in dinoflagellates, which exhibited higher abundances ($41 \times 10^4 \text{ cel.L}^{-1}$) in summer (Mean SST $> 20.7 \text{ }^\circ\text{C}$).

KEYWORDS: phytoplankton, seasonal variation, diversity, Paracas Bay, Perú

1. INTRODUCCIÓN

El fitoplancton reúne microorganismos unicelulares, tanto procariotas como eucariotas cumpliendo el rol de productores primarios en sistemas acuáticos por su carácter fotosintético (SIEBURTH, SMETACEK & LENZ, 1978); también se definen por presentar características fisiológicas como alta tasa de crecimiento y reproducción, y cortos ciclos de vida, ofreciendo una rápida respuesta a los factores ambientales (tanto naturales como de origen antrópico) que les permite ser considerados buenos indicadores biológicos (BALECH, 1977; POURAFRASYABI & RAMEZANPOUR, 2014). Todo lo cual motiva el uso de especies

1. INTRODUCTION

Phytoplankton encompasses unicellular microorganisms, both prokaryotes and eukaryotes, that serve as primary producers in aquatic systems due to their photosynthetic capabilities (SIEBURTH, SMETACEK & LENZ, 1978). These organisms exhibit various physiological characteristics, such as high growth and reproductive rates, as well as short life cycles, enabling them to promptly respond to environmental factors, whether of natural or anthropogenic origin. Consequently, they are regarded as valuable biological indicators (BALECH, 1977; POURAFRASYABI & RAMEZANPOUR, 2014). Hence, the utiliza-

fitoplanctónicas como indicadores en sistemas costeros y oceánicos.

Existe un grupo de especies fitoplanctónicas productoras de Floraciones Algales Nocivas (FAN), que en su nivel más extremo pueden generar toxinas y ser transferidas al género humano a través de la ingesta de moluscos, llegando a causar incluso su muerte (HALLEGRAEFF, 2003). En bahía Paracas, los florecimientos habrían sido favorecidos por descargas de material orgánico provenientes de la zona industrial, doméstica y/o descargas del río Pisco, generando episodios anóxicos, esto último como indican CABELLO, TAM y JACINTO (2002), debido a oxidación de la materia orgánica proveniente del fitoplancton, provocando mortandades y varaciones de organismos marinos.

Carbajo² (2009) realizó estudios enfocados en las especies productoras de FAN en las bahías de Pisco y Paracas, determinando mayor incidencia en los meses de primavera; en el 2005 el mayor porcentaje de registros tuvo lugar en la bahía de Paracas, disminuyendo drásticamente en los siguientes años. SÁNCHEZ *et al.* (2019) indicaron dominancia de las diatomeas en invierno y primavera y, mayores concentraciones de los dinoflagelados en verano. CUELLAR-MARTÍNEZ *et al.* (2021) identificaron la alta descarga del río Pisco y la disminución en la velocidad del viento, como factores ambientales más beneficiosos para la presencia de *Alexandrium ostenfeldii* (especie potencialmente tóxica) en tanto que, la temperatura superficial del mar influyó en la magnitud de sus floraciones. SÁNCHEZ *et al.* (2021) reportaron por primera vez la floración de la Raphidophyceae *Fibrocapsa japonica* S.Toriumi & H.Takano frente al Callao (bahía Miraflores) y Pisco (bahía Paracas), la misma que está asociada a la muerte masiva de peces (DE BOER *et al.*, 2009).

En este marco, el presente estudio en la bahía Paracas y áreas adyacentes, contribuye a profundizar acerca de las características del fitoplancton en cuanto a su dinámica y variabilidad temporal, así como su relación con factores abióticos presentes en la zona.

tion of phytoplankton species as indicators is widely practiced in coastal and oceanic ecosystems.

Certain phytoplankton species have the ability to form Harmful Algal Blooms (HABs), which, under severe circumstances, can release toxins that pose a threat to humans through the consumption of mollusks, potentially leading to fatalities (HALLEGRAEFF, 2003). In Paracas Bay, these blooms may have been facilitated by discharges of organic matter from industrial and domestic sources, as well as from the Pisco River, resulting in episodes of anoxia due to the oxidation of organic matter derived from phytoplankton (CABELLO, TAM & JACINTO, 2002). This, in turn, has caused mass mortalities and strandings of marine organisms.

Carbajo² (2009) conducted studies focused on HAB-producing species in the Pisco and Paracas bays, revealing a higher incidence during spring. In 2005, the highest percentage of occurrences were observed in Paracas Bay, but experienced a drastic decrease in the subsequent years. SÁNCHEZ *et al.* (2019) indicated a dominance of diatoms in winter and spring, while dinoflagellates exhibited higher concentrations during summer. CUELLAR-MARTÍNEZ *et al.* (2021) identified the high discharge of the Pisco River and reduced wind velocity as the most beneficial environmental factors for the presence of *Alexandrium ostenfeldii* (a potentially toxic species), whereas sea surface temperature influenced the magnitude of its blooms. SÁNCHEZ *et al.* (2021) reported, for the first time, the bloom of Raphidophyceae *Fibrocapsa japonica* S.Toriumi & H.Takano off Callao (Miraflores Bay) and Pisco (Paracas Bay), which was associated with mass fish mortality (DE BOER *et al.*, 2009).

Therefore, our study in Paracas Bay and its surrounding areas aims to provide further insights into the dynamics and temporal variability of phytoplankton, as well as its correlation with the abiotic factors present in the region.

² Carbajo, L. (2009). Monitoreo de mareas rojas en bahía Paracas el periodo 2002- 2008. Foro: Impacto de las especies exóticas en el ecosistema marino y de aguas continentales, mayo 2009

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio abarcó desde el río Pisco hasta la bahía Paracas propiamente dicha, zona altamente productiva en términos pesqueros; cuya geomorfología al ser de carácter semicerrada presenta una barrera que la protege de la influencia y la dinámica física externa, principalmente de las corrientes marinas (VELAZCO & SOLÍS, 2000; CABELLO *et al.*, 2002). Son bien conocidos los patrones de mesoescala que influyen en la distribución de las FAN dentro de los sistemas de afloramiento, ello debido al predominio del estrés del viento y la estratificación en la columna de agua. Al evaluar el espectro de configuraciones de los diferentes sistemas de surgencias se ha establecido que las bahías abiertas con retención ciclónica, como bahía Paracas, son más susceptibles a las FAN de alta biomasa, ofreciendo un equilibrio necesario entre mezcla y estratificación, y entre dispersión advectiva y retención, facilitando así la introducción de poblaciones costeras e ingreso de nutrientes (PITCHER, FIGUEIRAS, HICKEY & MOITA, 2010).

2. MATERIALS AND METHODS

Study area

The study area encompassed the stretch from the Pisco River to Paracas Bay itself, which is a highly productive zone in terms of fisheries. Due to its semi-closed geomorphology, it features a barrier that shields it from external influences and physical dynamics, particularly marine currents (VELAZCO & SOLÍS, 2000; CABELLO *et al.*, 2002). The mesoscale patterns that influence the distribution of Harmful Algal Blooms (HABs) within upwelling systems are well-documented. This is primarily attributed to the prevailing wind stress and water column stratification. The analysis of different configurations in various upwelling systems has revealed that open bays with cyclonic retention, such as Paracas Bay, are more prone to experiencing high biomass Harmful Algal Blooms (HABs). They offer a necessary equilibrium between mixing and stratification, as well as advection and retention, facilitating the introduction of coastal populations and nutrient influx (PITCHER, FIGUEIRAS, HICKEY & MOITA, 2010).

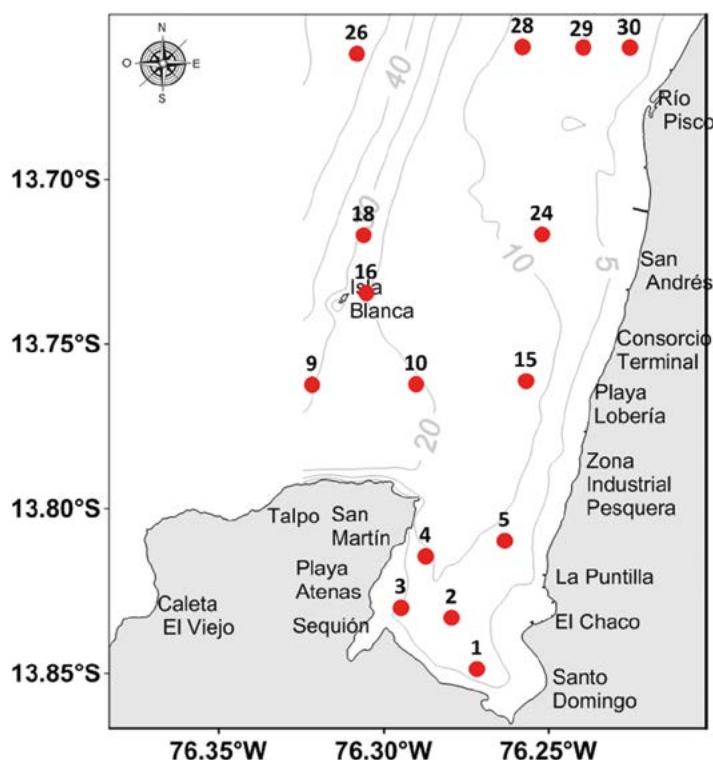


Figura 1.- Carta de posiciones de las estaciones de muestreo del fitoplancton en bahía Paracas y áreas adyacentes. Proyecto Borde Costero (2013 – 2015)

Figure 1. Position chart of phytoplankton sampling stations in Paracas Bay and surrounding areas. Coastal Edge Project (2013 - 2015)

Recolecta y periodo de estudio

Se recolectaron 109 muestras de agua a dos niveles de profundidad (superficie y a 1 m de fondo) utilizando la botella Niskin en estaciones programadas, entre los años 2013 (abril), 2014 (noviembre) y 2015 (marzo y julio) (Fig. 1). Simultáneamente se tomaron datos de temperatura superficial, transparencia, pH y se recolectaron muestras para análisis de nutrientes, clorofila-*a* y oxígeno disuelto.

Determinación y cuantificación del fitoplancton

Las muestras de agua recolectadas (100 mL) se fijaron con formalina neutralizada al 20% (IMARPE, 2017). En el laboratorio se dejaron sedimentar por 12 horas (25 mL) en cámaras de sedimentación (Utermöhl). La densidad del fitoplancton quedó expresada en células por litro ($N^{\circ} \times 10^4 \text{ cel.L}^{-1}$). Todos los organismos fueron determinados en lo posible hasta el nivel de especie, siendo agrupados los flagelados del nanoplancton (2-20 μm) como "Fitoflagelados ND (No determinados)".

Procesamiento de los datos

El índice de diversidad Shannon y Weaver (H') fue calculado con el objetivo de analizar la comunidad en cada punto de muestreo y meses de recolecta. Se construyó una matriz de similaridad mediante el índice de Bray-Curtis; para ello los valores de abundancia fueron transformados al Log ($x+1$) a fin de reducir la contribución de las especies dominantes en la matriz de similitud; este procedimiento también permitió realizar un análisis de ordenación no métrica y un análisis de clasificación jerárquica, así como el dendrograma construido haciendo uso del método UPGMA (SNEATH & SOKAL, 1973) a través del programa PRIMER 6.1.

Para determinar si hubo diferencias significativas en la comunidad entre los muestreos se aplicó el análisis ANOSIM a dos vías (programa estadístico PAST). Por otro lado, se calculó el coeficiente de correlación de Spearman entre las variables bióticas y abióticas. Finalmente, con la ayuda del PAST, previa normalización de los datos, se utilizó la técnica multivariada Análisis de Correspondencia Canónica (ACP) con la finalidad de identificar los parámetros que explicarían la variabilidad de la distribución del fitoplancton.

Collection and study period

A total of 109 water samples were collected at two depths (surface and 1 m in depth) using a Niskin bottle during scheduled sampling stations in 2013 (April), 2014 (November), and 2015 (March and July) (Fig. 1). Concurrently, surface temperature, transparency, pH measurements, and samples for nutrient analysis, chlorophyll-*a*, and dissolved oxygen were obtained.

Phytoplankton determination and quantification

The collected water samples (100 mL) were fixed with 20% neutralized formalin (IMARPE, 2017). In the laboratory, they were allowed to settle for 12 hours (25 mL) in sedimentation chambers (Utermöhl). The phytoplankton density was expressed in cells per liter ($N^{\circ} \times 10^4 \text{ cells.L}^{-1}$). Every effort was made to identify the organisms to the species level, while flagellates within the nanoplankton range (2-20 μm) were grouped as "Undetermined Phytoflagellates (ND)".

Data processing

The Shannon-Weaver diversity index (H') was calculated to examine the community at each sampling point and collection month. A similarity matrix was constructed using the Bray-Curtis index. Abundance values were transformed to Log ($x+1$) to minimize the influence of dominant species in the similarity matrix. This approach also facilitated non-metric ordination analysis, hierarchical cluster analysis, and the construction of a dendrogram using the UPGMA method (SNEATH & SOKAL, 1973) through the PRIMER 6.1 software.

In order to assess whether there were significant differences in the community across the sampling periods, a two-way analysis of similarity (ANOSIM) was applied using the statistical software PAST. Furthermore, the Spearman correlation coefficient was calculated to examine the relationship between biotic and abiotic variables. Lastly, to identify the parameter(s) that contributed to the variability in phytoplankton distribution, the data was normalized and subjected to Canonical Correspondence Analysis (CCA) using the PAST software.

3. RESULTADOS

Composición específica, Densidad y Biodiversidad

Se determinaron 179 especies del fitoplancton. El grupo de Diatomeas fue el más representativo con 103 especies, seguidas de Dinoflagelados (66 especies), Silicoflagelados (4 especies), Cocolitofóridos (3 especies), Fitoflagelados (2 especies) y 1 clorofícea.

Las diatomeas centrales como *Leptocylindrus danicus* Cleve evidenciaron frecuencias por encima del 70 %, seguida de otras centrales como *Chaetoceros* spp. (51 – 64 %) y *Coscinodiscus perforatus* Ehrenberg (61 %). Las diatomeas pennadas *Amphiprora* sp. C.G.Ehrenberg, *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin, *Entomoneis alata* (Ehrenberg) Ehrenberg y *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschkowsky presentaron frecuencias entre 71 y 93 %. Los dinoflagelados (tecados y atecados) fueron registrados con bajas frecuencias (≤ 58 %) destacando *Tripos furca* (Ehrenberg) F.Gómez. El silicoflagelado *Dictyocha fibula* Ehrenberg tuvo 84 % de frecuencia y los Fitoflagelados (ND) 98 %.

En términos de abundancias celulares, las especies que alcanzaron máximos registros fueron: *Bacteriastrium delicatulum* Cleve, *Chaetoceros affinis* Lauder, *Ch. compressus* Lauder, *Ch. debilis* Cleve, *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin, *L. danicus* Cleve, *Detonula pumila* (Castracane) Gran, *Prorocentrum cordatum* (Ostenfeld) J.D.Dodge y los Fitoflagelados (ND), evidenciando variabilidad estacional, dependiendo posiblemente de las condiciones ambientales para su alto desarrollo.

En superficie, la abundancia total del fitoplancton mostró marcada variabilidad mensual durante el tiempo de estudio (Fig. 2), presentando mayores valores promedio en las campañas de noviembre 2014 (549×10^4 cel.L⁻¹) y marzo 2015 (240×10^4 cel.L⁻¹); en tanto que, menores valores fueron registrados para los otros meses: abril 2013 (91×10^4 cel.L⁻¹), julio 2015 (167×10^4 cel.L⁻¹).

3. RESULTS

Species Composition, Density, and Biodiversity

A total of 179 phytoplankton species were determined. Diatoms were the most abundant, comprising 103 species, followed by Dinoflagellates (66 species), Silicoflagellates (4 species), Cocolithophores (3 species), Phytoflagellates (2 species), and 1 Chlorophyceae.

Central diatoms such as *Leptocylindrus danicus* Cleve showed frequencies exceeding 70%, followed by other central diatoms like *Chaetoceros* spp. (51 – 64 %) and *Coscinodiscus perforatus* Ehrenberg (61 %). Pennate diatoms including *Amphiprora* sp. C.G.Ehrenberg, *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin, *Entomoneis alata* (Ehrenberg) Ehrenberg, and *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschkowsky exhibited frequencies ranging from 71 to 93%. Dinoflagellates (thecate and atecate) were recorded with low frequencies (≤ 58 %), with *Tripos furca* (Ehrenberg) F.Gómez standing out. The silicoflagellate *Dictyocha fibula* Ehrenberg had a frequency of 84%, while Phytoflagellates (ND) reached a frequency of 98%.

Regarding cellular abundances, the species that exhibited the highest records were *Bacteriastrium delicatulum* Cleve, *Chaetoceros affinis* Lauder, *Ch. compressus* Lauder, *Ch. debilis* Cleve, *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin, *L. danicus* Cleve, *Detonula pumila* (Castracane) Gran, *Prorocentrum cordatum* (Ostenfeld) J.D.Dodge, and Phytoflagellates (ND), demonstrating seasonal variability, likely influenced by environmental conditions conducive to their thriving.

In surface waters, the overall abundance of phytoplankton displayed pronounced monthly variability during the study period (Fig. 2), with higher average values recorded in the November 2014 (549×10^4 cells.L⁻¹) and March 2015 (240×10^4 cells.L⁻¹) sampling campaigns. On the other hand, lower values were observed in the remaining months: April 2013 (91×10^4 cells.L⁻¹) and July 2015 (167×10^4 cells.L⁻¹).

En las campañas de noviembre y marzo (altas densidades celulares) los mayores núcleos fueron registrados en la zona norte de la bahía (frente al río Pisco), mientras que, en los meses de abril y julio, se visualizaron sus máximas concentraciones dentro de la bahía propiamente dicha.

En abril del 2013 (otoño), el núcleo con mayor abundancia (91×10^4 cel.L⁻¹), estuvo asociado a la temperatura superficial del mar (TSM) que varió entre 18,4 y 21,9 °C, recibiendo mayores aportes del grupo de Fitoflagelados (ND), destacando además las diatomeas *C. closterium*, *L. danicus*, *L. cf. minimus* Gran, diatomeas pennadas (no determinadas) y el dinoflagelado *P. cordatum* (especie potencialmente tóxica), organismos que a excepción de *L. danicus* presentaron altas frecuencias (> 70 %).

En noviembre del 2014 (primavera) se observó un notable incremento en las densidades celulares fitoplanctónicas, registrándose el máximo de toda la temporada de estudio con 549×10^4 cel.L⁻¹ (Fig. 2), el cual estuvo asociado a TSM de 20,4 °C, destacando la abundancia de diatomeas del género *Chaetoceros* (*Ch. affinis*, *Ch. compressus*, *Ch. costatus* Pavillard, *Ch. debilis*, *Ch. didymus* Ehrenberg, *Ch. sociales* H.S.Lauder), *Detonula pumila*, *Rhizosolenia delicatula* Cleve y *L. danicus*, especies típicas de fases iniciales de la sucesión de esta comunidad; así como de Fitoflagelados (ND) y la diatomea central *B. delicatulum*, especie de aguas cálidas que aportó la mayor contribución para la estación más alejada de la sección ubicada frente al río Pisco. Los dinoflagelados cuantitativamente estuvieron pobremente representados por especies del género *Triplos* (*T. buceros* (Zacharias) F.Gómez, *T. furca* y *T. muelleri* Bory de Saint-Vincent), *Dinophysis acuminata* Claparède and Lachmann, *Prorocentrum gracile* F.Schütt, *Protoperidinium pellucidum* Bergh, que junto con el silicoflagelado *D. fibula*, a pesar de sus bajas densidades, presentaron frecuencias por encima del 50 %.

Para marzo (verano 2015) el foco con mayor abundancia alcanzó a 240×10^4 cel.L⁻¹, asociado a TSM de 24,1 °C; sobresaliendo especies como *Ch. affinis*, *Ch. compressus*, *Ch. debilis*, *C. closterium*, *R. delicatula* y *L. danicus*, especies acompañadas de *P. cordatum* y los Fitoflagelados (ND), la mayoría de especies con frecuencias mayores al 80 %.

During the November and March sampling campaigns (characterized by high cellular densities), the highest concentrations were observed in the northern zone of the bay (off the Pisco River), while in April and July, the maximum concentrations were found within the bay itself.

In April 2013 (autumn), the core with the highest abundance (91×10^4 cells.L⁻¹) was associated with the sea surface temperature (SST) ranging from 18.4 to 21.9 °C. This core received significant contributions from the Phytoflagellates (ND) group, with notable presence of diatoms such as *C. closterium*, *L. danicus*, *L. cf. minimus* Gran, undetermined pennate diatoms, and the potentially toxic dinoflagellate *P. cordatum*; these organisms exhibited high frequencies (>70%).

During November 2014 (spring), a noticeable increase in phytoplankton cellular densities was observed, reaching the highest value of the entire study period with 549×10^4 cells.L⁻¹ (Fig. 2). This peak was associated with a sea surface temperature (SST) of 20.4 °C. The abundance was predominantly attributed to diatoms of the genus *Chaetoceros* (*Ch. affinis*, *Ch. compressus*, *Ch. costatus* Pavillard, *Ch. debilis*, *Ch. didymus* Ehrenberg, *Ch. sociales* H.S.Lauder), *Detonula pumila*, *Rhizosolenia delicatula* Cleve, and *L. danicus*, which are characteristic species in the early stages of this community succession. Additionally, contributions were made by Phytoflagellates (ND) and the central diatom *B. delicatulum*, a warm-water species that made the highest contribution to the station farthest from the section located off the Pisco River. Dinoflagellates were quantitatively poorly represented, with species from the genus *Triplos* (*T. buceros* (Zacharias) F.Gómez, *T. furca*, and *T. muelleri* Bory de Saint-Vincent), *Dinophysis acuminata* Claparède and Lachmann, *Prorocentrum gracile* F.Schütt, *Protoperidinium pellucidum* Bergh. Despite their low densities, these dinoflagellates, along with the silicoflagellate *D. fibula*, exhibited frequencies above 50%.

In March (summer 2015), the focal point with the highest abundance reached 240×10^4 cells.L⁻¹, associated with a sea surface temperature (SST) of 24.1 °C. Species such as *Ch. affinis*, *Ch. compressus*, *Ch. debilis*, *C. closterium*, *R. delicatula*, and *L. danicus* predominated, along with *P. cordatum* and Phytoflagellates (ND), most of which exhibited frequencies exceeding 80%.

En la campaña de julio (invierno 2015) las densidades fitoplanctónicas disminuyeron en relación a marzo, alcanzando la concentración máxima de $167 \times 10^4 \text{ cel.L}^{-1}$, valor asociado a TSM de $20,4 \text{ }^\circ\text{C}$; alcanzaron mayor abundancia las diatomeas *Ch. didymus*, *L. danicus* y especies de fases intermedias como *Hemiaulus sinensis* Greville, Grupo *Pseudo-nitzschia seriata* Cleve H.Peragallo y el grupo de los Fitoflagelados (ND), organismos que además de presentar mayores concentraciones tuvieron también altas frecuencias ($\geq 75 \%$).

In the winter campaign (July 2015), phytoplankton densities decreased compared to March, reaching a maximum concentration of $167 \times 10^4 \text{ cells.L}^{-1}$, which was associated with a sea surface temperature (SST) of $20.4 \text{ }^\circ\text{C}$. Diatoms such as *Ch. didymus*, *L. danicus* and intermediate-phase species like *Hemiaulus sinensis* Greville, the *Pseudo-nitzschia seriata* group Cleve H.Peragallo, and the Phytoflagellates (ND) showed higher abundance. These organisms not only displayed higher concentrations but also exhibited high frequencies ($\geq 75\%$).

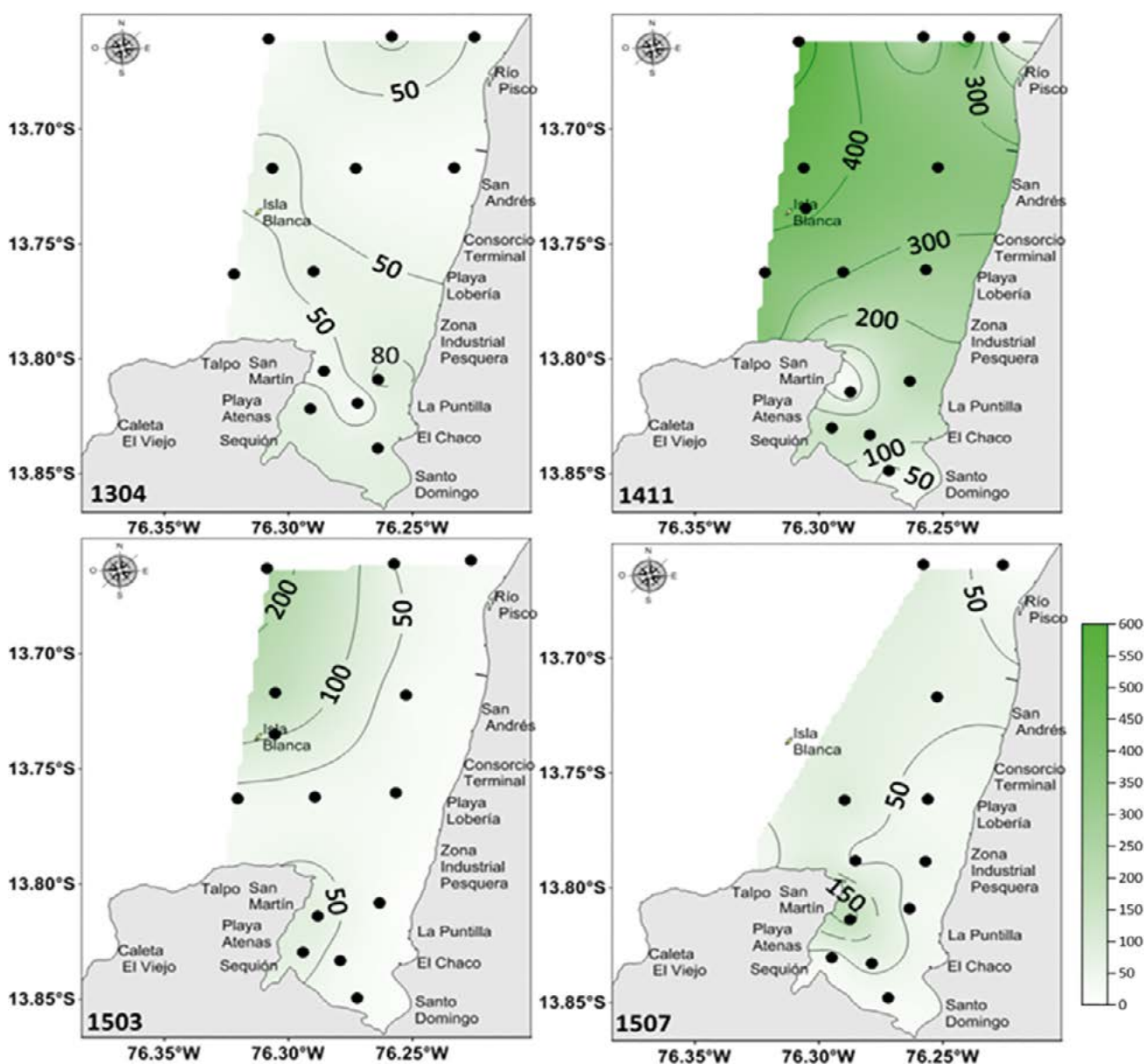


Figura 2.- Distribución superficial del fitoplancton $\text{N}^\circ \times 10^4 \text{ cel.L}^{-1}$. Estudio Integrado de los procesos físicos, químicos y biológicos en Ecosistemas de Borde Costero: bahía Paracas y áreas adyacentes (2013 – 2015)

Figure 2. Phytoplankton surface distribution $\text{N}^\circ \times 10^4 \text{ cells.L}^{-1}$. Integrated Study of Physical, Chemical, and Biological Processes in Coastal Edge Ecosystems: Paracas Bay and Surrounding Areas (2013 – 2015)

Análisis comunitarios

En general, los valores de diversidad presentaron un rango comprendido de 0,51 a 3,37 bits.cel⁻¹, cuyos extremos fueron determinados en noviembre (primavera 2014) y abril (otoño 2013), tanto en superficie como en fondo, respectivamente. La mayoría de resultados (89 %) presentó valores menores a 2,5 bits.cel⁻¹ (Fig. 3a).

El índice de equitabilidad (Fig. 3b) fue clasificado en tres rangos: < 0,4 (alta dominancia), 0,4 - 0,6 (promedio) y > 0,6 (alta equitabilidad). El 61 % de los resultados presentaron valores comprendidos en el rango de alta dominancia, con media de 0,29 es decir tendientes a "0", con una o pocas especies abundantes, valores observados en las 4 campañas. El 38 % de los resultados se ubicaron dentro del rango promedio (J' promedio= 0,47), correspondientes, en gran parte, a estaciones de fondo en abril (2013), noviembre (2014) y julio (2015), y algunas estaciones de superficie en marzo (2015). Finalmente, 1 % estuvo comprendido en el rango de alta equitabilidad, es decir de comunidades uniformes (abundancias relativas semejantes) procedente de la campaña de abril (2013).

A nivel superficial, el análisis de similaridad y el escalado multidimensional no métrico a un grado de stress de 0,2, evidenció marcada variación temporal comparando las campañas de estudio (Fig. 4). El componente estacional estuvo marcado por diferencia entre abundancias celulares por especie, así como por el número de especies. Las diferencias de concentraciones celulares de cada campaña fueron estadísticamente significativas

Community analysis

Overall, the diversity values displayed a range of 0.51 to 3.37 bits.cel⁻¹, with the highest and lowest values recorded in November (spring 2014) and April (autumn 2013), respectively, for both surface and bottom samples. The majority of the results (89%) fell below 2.5 bits.cel⁻¹ (Fig. 3a).

The evenness index (Fig. 3b) was classified into three ranges: <0.4 (high dominance), 0.4 - 0.6 (average), and >0.6 (high equitability). 61% of the results fell within the high dominance range, with a mean of 0.29, indicating a tendency towards "0" with one or a few abundant species. These values were consistently observed in all four sampling campaigns. 38% of the results were within the average range (mean J' = 0.47), primarily corresponding to bottom stations in April (2013), November (2014), and July (2015), as well as some surface stations in March (2015). Finally, 1% of the results fell within the high evenness range, representing uniform communities with similar relative abundances, observed specifically in the April 2013 campaign.

At the surface level, the analysis of similarity and non-metric multidimensional scaling with a stress value of 0.2 revealed significant temporal variation when comparing the study campaigns (Fig. 4). The seasonal component was characterized by differences in species-specific cellular abundances and the number of species. The differences in cellular concentrations between each campaign were statistically significant according to ANOVA,

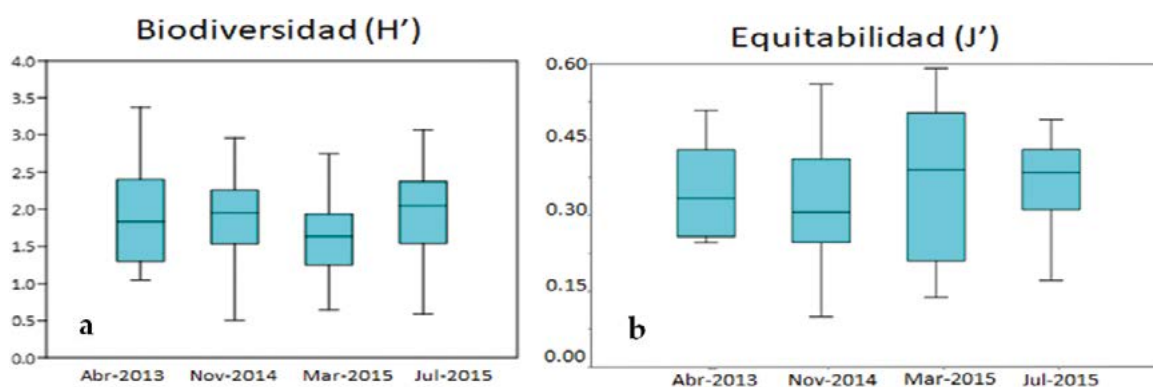


Figura 3.- Variación de los índices de biodiversidad (H') y equitabilidad (J'). Estudio integrado de los procesos físicos, químicos y biológicos en Ecosistemas de Borde Costero: bahía Paracas y áreas adyacentes (2013 - 2015)

Figure 3. Variation of biodiversity (H') and evenness (J') indices. Integrated Study of Physical, Chemical, and Biological Processes in Coastal Edge Ecosystems: Paracas Bay and Surrounding Areas (2013 - 2015)

según ANOVA, siendo mayores en marzo de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0,05$) cuando en la zona norte de la bahía, se registró mayor desarrollo de diatomeas, dinoflagelados, Fitoflagelados (ND) y de dinoflagelados productores de FAN (*Akashiwo sanguinea* [K.Hirasaka] Gert Hansen & Moestrup y *P. cordatum*), a diferencia de la zona sur, que presentó menores abundancias pero mayor diversidad (Fig. 5).

with March showing higher values based on the Tukey's test ($p < 0.05$). In the northern area of the bay, there was a greater abundance of diatoms, dinoflagellates, Phytoflagellates (ND), and HAB-producing dinoflagellates (*Akashiwo sanguinea* [K.Hirasaka] Gert Hansen & Moestrup and *P. cordatum*), unlike the southern area, which exhibited lower abundances but higher diversity (Fig. 5).

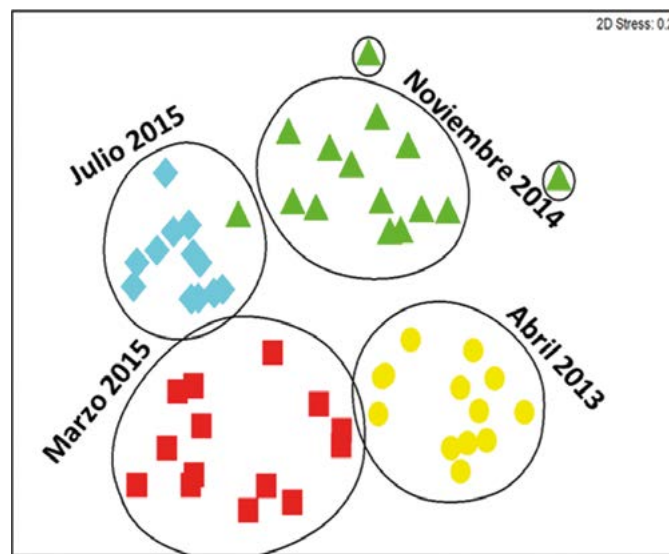


Figura 4.- Escalado multidimensional no métrico por estaciones/ meses de colecta. Estudio integrado de los procesos físicos, químicos y biológicos en Ecosistemas de Borde Costero: bahía de Paracas y áreas adyacentes (2013 – 2015)

Figure 4. Non-metric multidimensional scaling by stations/months of collection. Integrated Study of Physical, Chemical, and Biological Processes in Coastal Edge Ecosystems: Paracas Bay and Surrounding Areas (2013 – 2015)

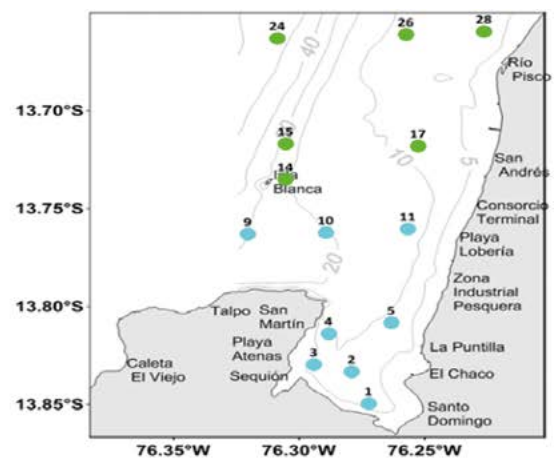
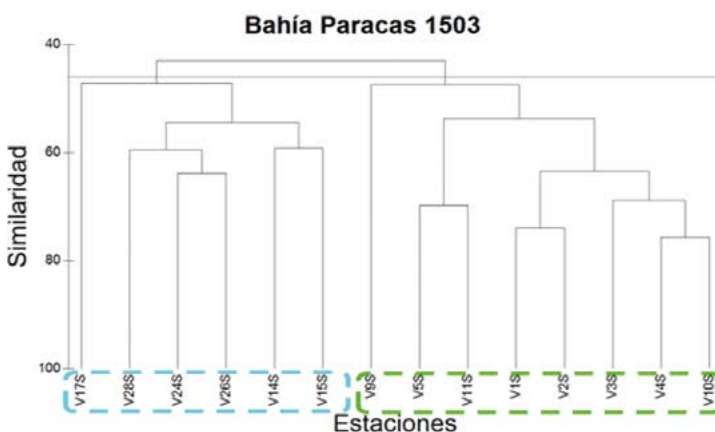


Figura 5.- Análisis de Similaridad entre estaciones de la campaña de marzo 2015. Estudio integrado de procesos físicos, químicos y biológicos en Ecosistemas de Borde Costero: bahía de Paracas y áreas adyacentes (2013 – 2015)

Figure 5. Analysis of Similarity between stations of the March 2015 campaign. Integrated Study of Physical, Chemical, and Biological Processes in Coastal Edge Ecosystems: Paracas Bay and Surrounding Areas (2013 – 2015)

Relación con los parámetros ambientales

El análisis de correspondencia canónica realizado entre las variables ambientales y las especies más abundantes (Fig. 6) logró definir un escenario en la campaña de noviembre cuando las mayores abundancias de las diatomeas (*B. delicatulum*, *L. danicus*, *C. closterium*, *Chaetoceros affinis*, *Ch. compressus* y *Ch. debilis*) estuvieron asociadas a aguas con concentraciones bajas de silicatos y altos valores de pH. Como no se observó un grado de correlación significativa entre las concentraciones halinas y los datos biológicos, se dividió la bahía en tres zonas (zona norte: frente al río Pisco, zona centro y zona sur (bahía propiamente dicha) (Fig. 7), producto del cual se obtuvo una correlación significativa ($r=0,6$) entre la concentración salina y los dinoflagelados en la zona norte. Las especies productoras de FAN (*A. sanguinea*, *P. micans* Ehrenberg y *P. cordatum*) estuvieron relacionados con altas concentraciones de silicatos y valores altos de temperatura en las campañas de marzo y abril; mientras que, para el mes de julio las diatomeas pennadas como *Pseudo-nitzschia pungens* (Grunow ex Cleve) G.R.Hasle, y las diatomeas centrales (*Th. rotula* Meunier y *Coscinodiscus angustelineatus* Schmidt) estuvieron correlacionadas con altas concentraciones de nitratos, nitritos y la presencia de ACF.

Relationship with environmental parameters

The canonical correspondence analysis conducted between environmental variables and the most abundant species (Fig. 6) successfully revealed a pattern during the November campaign. It was observed that the higher abundances of diatoms (*B. delicatulum*, *L. danicus*, *C. closterium*, *Chaetoceros affinis*, *Ch. compressus*, and *Ch. debilis*) were associated with waters characterized by low silicate concentrations and high pH values. Since no significant correlation was found between salinity levels and biological data, the bay was divided into three zones (north zone: off the Pisco River, central zone, and south zone—main bay area) (Fig. 7). Therefore, a significant correlation ($r=0.6$) was established between salinity concentration and dinoflagellates in the northern zone. HAB-forming species (*A. sanguinea*, *P. micans* Ehrenberg and *P. cordatum*) showed associations with high silicate concentrations and elevated temperature values during the March and April campaigns. In July, on the other hand, pennate diatoms such as *Pseudo-nitzschia pungens* (Grunow ex Cleve) G.R.Hasle, and central diatoms (*Th. rotula* Meunier and *Coscinodiscus angustelineatus* Schmidt) exhibited correlations with high nitrate and nitrite concentrations, along with the occurrence of CCW.

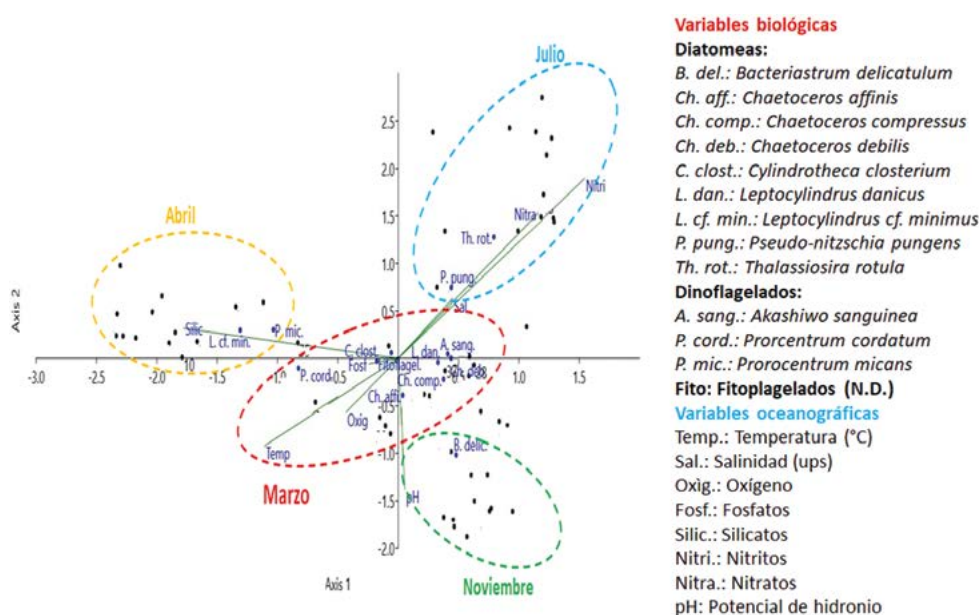


Figura 6.- Análisis de Correspondencia Canónica entre fitoplancton y variables abióticas. Estudio integrado de los procesos físicos, químicos y biológicos en Ecosistemas de Borde Costero: Bahía Paracas y áreas adyacentes (2013-2015)

Figure 6. Canonical Correspondence Analysis between phytoplankton and abiotic variables. Integrated Study of Physical, Chemical, and Biological Processes in Coastal Edge Ecosystems: Paracas Bay and Surrounding Areas (2013 – 2015)

4. DISCUSIÓN

Las máximas abundancias de fitoplancton fueron registradas en noviembre (primavera), en especial en las estaciones ubicadas fuera de la bahía; TAYLOR & FERRARI (2011) mencionaron que la variación estacional en el desarrollo de esta comunidad se halla diferenciada por el máximo incremento celular del fitoplancton conocido como floración primaveral. Fueron las diatomeas R-estrategas (REYNOLDS, 2006) las especies dominantes en la bahía, para esta época, situación similar a la registrada en la bahía de Miraflores (JACOBO, SÁNCHEZ, BERNALES, CHANG & FLORES, 2021).

Especies como *Chaetoceros* spp., *Ch. closterium*, *Leptocylindrus* spp., *Skeletonema costatum* y *Thalassiothrix nitzschioides* fueron registradas como frecuentes. *Th. nitzschioides* fue registrada como dominante y *S. costatum* como frecuente en estudios realizados por SÁNCHEZ, TARAZONA, FLORES, MALDONADO Y CARBAJAL (1988), Antonietti³ (1989) y OCHOA Y TARAZONA (2003) para la bahía Independencia. Esto permite establecer una constancia de estas especies en la comunidad del fitoplancton en zonas de bahía, como lo reportado por JACOBO *et al.* (2021).

4. DISCUSSION

The highest phytoplankton abundances were recorded in November (spring), particularly at stations located outside the bay. According to TAYLOR & FERRARI (2011), the seasonal variation in the development of this community is characterized by a distinct peak in phytoplankton cell growth known as the spring bloom. During this time, the dominant species in the bay were R-strategist diatoms (REYNOLDS, 2006), which aligns with findings from Miraflores Bay (JACOBO, SÁNCHEZ, BERNALES, CHANG & FLORES, 2021).

Species such as *Chaetoceros* spp., *Ch. closterium*, *Leptocylindrus* spp., *Skeletonema costatum*, and *Thalassiothrix nitzschioides* were recorded as frequent. *Th. nitzschioides* was identified as the dominant species, while *S. costatum* was frequently observed in studies conducted by SÁNCHEZ, TARAZONA, FLORES, MALDONADO, AND CARBAJAL (1988), Antonietti³ (1989), and OCHOA & TARAZONA (2003) in Independencia Bay. This confirms the presence of these species in the phytoplankton community in bay areas, as reported by JACOBO *et al.* (2021).

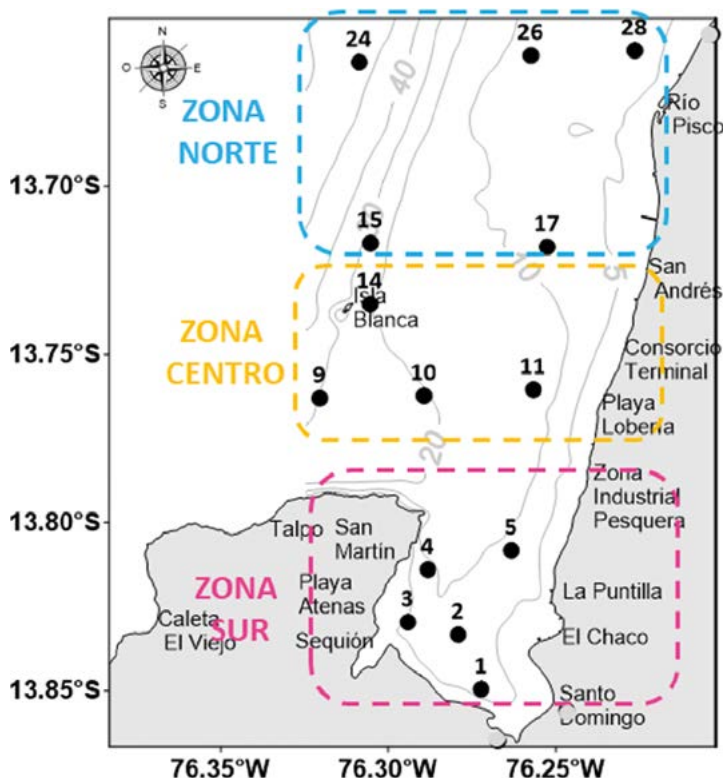


Figura 7.- División del área de estudio en tres zonas (norte, centro y sur). Estudio integrado de los procesos físicos, químicos y biológicos en Ecosistemas de Borde Costero: bahía Paracas y áreas adyacentes (2013 - 2015)

Figure 7. Division of the study area into three zones (north, center, and south). Integrated Study of Physical, Chemical, and Biological Processes in Coastal Edge Ecosystems: Paracas Bay and Surrounding Areas (2013 - 2015)

3 Antonietti, E. (1989). El fitoplancton en dos bahías del litoral peruano en abril 1987. Mem. Simp. Internacional de los Recursos Vivos y las Pesquerías en el Pacífico Sudeste. Viña del Mar. Com. Permanente del Pacífico Sur. Rev. Pacífico Sur. Número Especial.

En marzo, si bien se registró mayor desarrollo de dinoflagelados, el grupo importante, en términos de abundancia, fueron diatomeas (Fig. 8a, b), en ese sentido HARRISON *et al.* (1991) demostraron para zonas templadas que un gran desarrollo de las diatomeas *Chaetoceros* spp., y *S. costatum* está relacionado con altas descargas de los ríos. Al respecto, CUELLAR-MARTINEZ *et al.* (2021) y SÁNCHEZ *et al.* (2019) han señalado altas descargas del río Pisco en verano e incluso otoño para la zona de estudio, situación que habría favorecido el desarrollo de esas especies. Otro grupo importante, en términos de abundancia, fueron los Fitoflagelados (ND), determinados frecuentemente en toda la zona de estudio (Fig. 8a), registro similar al presentado por JACOBO *et al.* (2021) en la bahía de Miraflores. Este grupo está constituido por especies tipificadas como "C" estrategias (REYNOLDS, 2006), dominantes en aguas estratificadas con elevada concentración de nutrientes y alta disponibilidad de luz (ALVES DE SOUZA, GONZÁLEZ & IRIARTE, 2008).

GLIBERT *et al.* (2016), indicaron que, si bien es importante evaluar la concentración de nutrientes, es más interesante analizar la variación de la relación N/P, ya que los cambios en esta relación influyen directamente en los cambios de la comunidad fitoplanctónica. Asimismo, una mayor concentración de amonio tiende a favorecer el mayor desarrollo de especies flageladas (grupo que presenta mayor número de especies productoras de toxinas), mientras que, altas concentraciones de nitratos tienden a beneficiar el crecimiento de las diatomeas. Así mismo, se sabe que en condiciones de hipoxia en columna de agua y sedimentos anóxicos los flujos de amonio y fosfatos se incrementan, aportando condiciones favorables para los florecimientos fitoplanctónicas (FLORES, 2016). En nuestro estudio, las concentraciones de nutrientes durante marzo presentaron condiciones normales a excepción de los nitratos, que mostraron valores reducidos. Acorde con lo mencionado por GLIBERT *et al.* (2016), estas condiciones habrían contribuido al mayor desarrollo de los dinoflagelados en la zona norte, donde se registraron sus mayores abundancias.

Existen también factores físicos como la estratificación de la zona de estudio, que ocurre desde fines de verano hasta otoño en zonas de bahía

In March, while there was a higher occurrence of dinoflagellate development, the most abundant group was diatoms (Fig. 8a, b). In that regard, HARRISON *et al.* (1991) demonstrated that in temperate regions, a significant proliferation of diatoms such as *Chaetoceros* spp., and *S. costatum* is associated with high river discharge. Similarly, CUELLAR-MARTINEZ *et al.* (2021) and SÁNCHEZ *et al.* (2019) have reported substantial river discharge from the Pisco River during summer and even autumn in the study area, a condition that likely contributed to the growth of these species. Another notable group, in terms of abundance, was the Phytoflagellates (ND), frequently identified throughout the study area (Fig. 8a), which aligns with the findings presented by JACOBO *et al.* (2021) for Miraflores Bay. This group consists of species classified as "C" strategists (REYNOLDS, 2006), which are dominant in stratified waters characterized by high nutrient concentrations and ample light availability (ALVES DE SOUZA, GONZÁLEZ & IRIARTE, 2008).

GLIBERT *et al.* (2016) highlighted the importance of evaluating nutrient concentrations, but emphasized that analyzing variations in the N/P ratio is even more worthwhile as it directly influences changes in the phytoplankton community. Moreover, a higher concentration of ammonium tends to favor the proliferation of flagellate species (which have a greater number of toxin-producing species), whereas elevated nitrate levels promote diatom growth. Additionally, it is known that in conditions of water column hypoxia and anoxic sediments, the fluxes of ammonium and phosphates increase, creating favorable conditions for phytoplankton blooms (FLORES, 2016). In our study, nutrient concentrations during March exhibited normal conditions, except for nitrates, which displayed reduced values. In line with the findings mentioned by GLIBERT *et al.* (2016), these conditions likely contributed to the increased development of dinoflagellates in the northern zone, where their highest abundances were recorded.

Physical factors also come into play, such as the stratification of the study area, which occurs from late summer to autumn in bay zones (SÁNCHEZ *et al.*, 2019; PITCHER *et al.*, 2021).

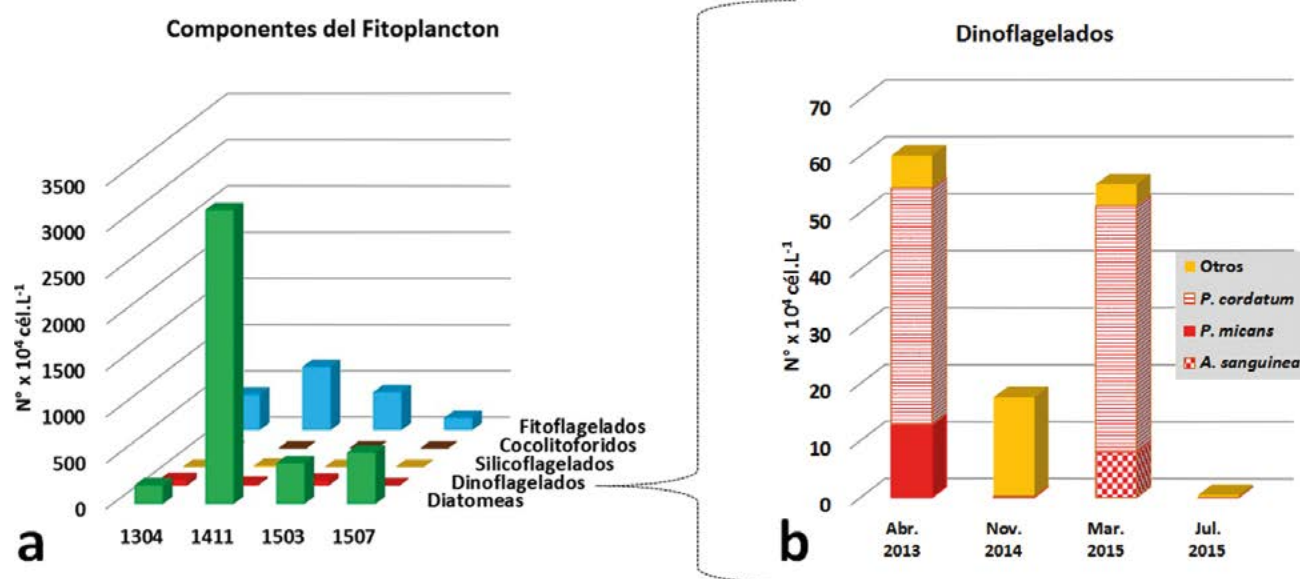


Figura 8.- Abundancia total (a) de los componentes del Fitoplancton y (b) de los Dinoflagelados (N° x 10⁴ cél.L⁻¹) por campaña. Estudio integrado de los procesos físicos, químicos y biológicos en Ecosistemas de Borde Costero: bahía Paracas y áreas adyacentes (2013-2015)

Figure 8. Total abundance (a) of phytoplankton components and (b) of Dinoflagellates (N° x 10⁴ cells.L⁻¹) by campaign. Integrated Study of Physical, Chemical, and Biological Processes in Coastal Edge Ecosystems: Paracas Bay and Surrounding Areas (2013 – 2015)

(SÁNCHEZ *et al.*, 2019; PITCHER *et al.*, 2021), que en conjunto con la presencia de vientos débiles en el verano (Correa⁴ *et al.*, 2014) y valores óptimos de temperatura estarían favoreciendo la ampliación en la distribución del fitoplancton desde la zona de retención (SÁNCHEZ *et al.*, 2017), en especial de las especies productoras de FAN.

Conforme el análisis de Correspondencias Canónicas (Fig. 5), la temperatura, la salinidad y las concentraciones de nutrientes fueron principalmente los factores que modularon la variabilidad de la comunidad fitoplanctónica en la bahía, siendo las diatomeas el grupo dominante en noviembre (primavera) asociadas a aguas con baja concentración de silicatos (relacionado al consumo) y altos valores de pH, asociados a altas tasas de fotosíntesis. *B. delicatulum* y *Chaetoceros* spp. se hallaron negativamente correlacionadas a concentraciones de silicatos y fosfatos, posiblemente reflejando el consumo biológico (Tabla 1). Otras diatomeas como *C. closterium* y *P. pungens* estuvieron mejor correlacionadas con la TSM y la concentración de nitratos. En marzo, el dinoflagelado *P. cordatum* estuvo correlacionado directa y significativamente con la TSM y con

Along with the presence of weak winds during the summer (Correa⁴ *et al.*, 2014) and optimal temperature conditions, these factors contribute to the expansion of phytoplankton distribution from the retention zone (SÁNCHEZ *et al.*, 2017), particularly for HAB-forming species.

According to the Canonical Correspondence Analysis (Fig. 5), temperature, salinity, and nutrient concentrations were identified as the primary factors influencing the variability of the phytoplankton community in the bay. Diatoms emerged as the dominant group in November (spring), thriving in waters characterized by low silicate levels (indicating consumption) and elevated pH values, which are associated with high photosynthesis rates. *B. delicatulum* and *Chaetoceros* spp. displayed a negative correlation with silicate and phosphate concentrations, suggesting a biological consumption pattern (Table 1). On the other hand, diatoms like *C. closterium* and *P. pungens* showed stronger associations with Sea Surface Temperature (SST) and nitrate concentration. In March, the dinoflagellate *P. cordatum* exhibited a direct and significant correlation with SST and silicate concentration,

4 Correa, D., Pizarro, L., Vásquez, L. (2014). Comparación del ciclo diurno del viento en Pisco, a partir de los vientos costeros horarios. En: IV Congreso de Ciencias Del Mar Del Perú.

Tabla 1.- Matriz de correlaciones de Spearman entre las variables ambientales y densidades celulares de las especies más abundantes del fitoplancton. Bahía Paracas (2013-2015)

Table 1. Spearman correlation matrix between environmental variables and cell densities of the most abundant phytoplankton species. Paracas Bay (2013-2015)

<i>RHO de Spearman</i>	T (°C)	O ₂	PO ₄	SiO ₄	NO ₃	NO ₂	Transp.
DIATOMEAS							
<i>B. delicatulum</i>	0,116	0,501**	-0,473**	-0,606**	-0,040	-0,156	0,034
<i>Chaetoceros</i> spp.	-0,188	0,128	-0,417**	-0,484**	0,225	0,360**	0,250
<i>C. closterium</i>	0,439**	0,230	-0,165	0,015	-0,231	-0,465**	-0,310*
<i>P. pungens</i>	-0,363**	-0,075	-0,083	-0,213	0,526**	0,538**	0,307*
DINOFLAGELADOS							
<i>P. cordatum</i>	0,547**	0,116	0,060	0,462**	-0,268	-0,465**	-0,253
FITOFLAGELADOS							
Fitoflagelados (N.D.)	0,394**	0,103	-0,017	-0,056	-0,350*	-0,296*	-0,223

*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

la concentración de silicatos e inversamente con los nitritos y la salinidad (zona norte), posiblemente debido a las altas descargas del río Pisco, evidenciándose una zona de transición con convergencia de masas de agua con propiedades físicas particulares y fuertes gradientes de temperatura y salinidad. Se estableció una zona al norte con altas temperaturas y bajas salinidades y una zona sur con características geomorfológicas muy diferenciadas al encontrarse protegida de los oleajes y vientos, condición que favorece el establecimiento y retención de dinoflagelados productores de Floraciones Algaes Nocivas (FAN) principalmente en épocas de verano y primavera (SÁNCHEZ *et al.*, 2017).

5. CONCLUSIONES

Las condiciones y variaciones de los factores no abióticos registrados entre los años 2013 y 2015 influyeron sobre los cambios y conformación del fitoplancton. Fueron las diatomeas y los Fitoflagelados (ND) los grupos dominantes en todo el periodo de estudio, alcanzando su mayor desarrollo los dinoflagelados en marzo (verano) y abril (otoño). El fitoplancton presentó un cambio estacional muy diferenciado, en especial, en las estaciones de primavera (noviembre) con una comunidad dominada por especies de estrategia "R", con altas tasas reproductivas, dispuestas en cadenas y asociadas a la presencia de aguas costeras frías (influencia del afloramiento); y en verano con mayor desarrollo de dinoflagelados

while displaying an inverse relationship with nitrites and salinity in the northern zone. This behavior can likely be attributed to high discharge from the Pisco River, creating a transitional zone characterized by the convergence of water masses with distinct physical properties and notable temperature and salinity gradients. Notably, a northern zone with elevated temperatures and lower salinities contrasted with a southern zone featuring distinct geomorphological attributes and protection against waves and winds, facilitating the establishment and retention of HAB-forming dinoflagellates, primarily in summer and spring (SÁNCHEZ *et al.*, 2017).

5. CONCLUSIONS

The conditions and variations of the non-abiotic factors recorded between 2013 and 2015 exerted influence on the changes and composition of the phytoplankton. Throughout the entire study period, diatoms and Phytoflagellates (ND) predominated, with dinoflagellates reaching their peak abundance in March (summer) and April (autumn). The phytoplankton displayed a distinct seasonal shift, particularly evident in spring (November), characterized by a community primarily comprised of species following an "R" strategy, featuring high reproductive rates and forming chains. This community was closely associated with the presence of cold coastal waters, influenced by upwelling. In the summer, there was a notable proliferation of dinoflagellates (which can produce HABs) directly influenced

(productores de FAN), influenciados directamente por las altas descargas del río Pisco, produciendo alteraciones en la distribución de temperatura, salinidad, densidad potencial, disponibilidad de nutrientes y estratificación en la bahía.

Agradecimientos

Esta investigación fue desarrollada y forma parte de los resultados del proyecto: "Estudio Integrado de los Procesos Físicos, Químicos y Biológicos en Ecosistemas de Borde Costero". Agradecemos a los integrantes del Laboratorio de Fitoplancton y Producción Primaria, por su apoyo y sugerencias en el desarrollo del presente trabajo. También a las otras componentes del proyecto como son AFIOQ y AFIOF, y al Laboratorio Costero de Paracas (Ing. Alberto Lorenzo) por la información brindada.

by the significant discharge from the Pisco River. This discharge resulted in modifications to the distribution of temperature, salinity, potential density, nutrient availability, and stratification within the bay.

Acknowledgments

This research was conducted and is part of the results of the project: "Integrated Study of Physical, Chemical, and Biological Processes in Coastal Edge Ecosystems". We would like to express our gratitude to the members of the Phytoplankton and Primary Production Laboratory for their support and suggestions during the development of this work. We also extend our thanks to the other components of the project, such as AFIOQ and AFIOF, and to the Coastal Laboratory of Paracas (Engr. Alberto Lorenzo) for the provided information.

6. REFERENCIAS

- ALVES DE SOUZA, C., GONZÁLEZ, M. T. & IRIARTE, J. L. (2008). Functional groups in marine phytoplankton assemblages dominated by diatoms in fiords of southern Chile. *Journal of Plankton Research*, 30(11), 1233-1243.
- BALECH, E. (1977). *Introducción al fitoplancton marino*. Universitaria, Buenos Aires, 194 pp.
- CABELLO, R., TAM, J. y JACINTO, M.E. (2002). Procesos naturales y antropogénicos asociados al evento de mortalidad de conchas de abanico ocurrido en la bahía de Paracas (Pisco, Perú) en junio del 2000. *Revista peruana de Ciencias Biológicas*, 2, 94-110.
- CUELLAR-MARTINEZ, T., HUANCA OCHOA, A. R., SÁNCHEZ, S., AGUIRRE, A., CORREA, D., EGOAVIL, K. A., LUJÁN, H. F., IPANAQUÉ, J. M., COLAS, F., TAM, J. & GUTIÉRREZ, D. (2021). Paralytic shellfish toxins in Peruvian scallops associated with blooms of *Alexandrium ostenfeldii* (Paulsen) Balech & Tangen in Paracas Bay, Peru. *Mar Pollut Bull.* 173(Pt A): 112988. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112988>
- DE BOER, M. K., TYL, M. R., FU, M., KULK, G., LIEBEZEIT, G., TOMAS, C. R. & VAN RIJSSEL, M. (2009). Hemolytic activity within the species *Fibrocapsa japonica* (Raphidophyceae). *Harmful Algae*, 8(5), 699-705. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2009.02.001>
- FLORES, R. E. E. (2016). *Impacto de la dinámica oceanográfica en la variación de azufre inorgánico en sedimentos de la bahía de Paracas*. [Tesis para optar el grado académico de Magíster en Ciencias del Mar]. Universidad Peruana Cayetano Heredia. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/3063>
- GLIBERT, P. M., WILKERSON, F. P., DUGDALE, R. C., RAVEN, J. A., DUPONT, C. L., LEAVITT, P. R., PARKER, A. E., BURKHOLDER, J. M. & KANA, T.M. (2016). Pluses and minuses of ammonium and nitrate uptake and assimilation by phytoplankton and implications for productivity and community composition, with emphasis on nitrogen-enriched conditions. *Limnol. Oceanogr.*, 61(1), 165-197. <https://doi.org/10.1002/lno.10203>
- HALLEGRAEFF, G. M. (2003). Harmful algal blooms: a global overview, *Manual on Harmful Marine Microalgae*. (pp. 25-49). UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000131711>
- HARRISON, W. P., CLIFFORD, P. J., COCHLAN, W. P., YIN, K., ST. JOHN, M. A., THOMPSON, P. A., SIBBALD, M. J. & ALBRIGHT, L. J. (1991). Nutrient and Plankton Dynamics in the Fraser River Plume, Strait of Georgia, British Columbia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 70, 291-304. <http://www.jstor.org/stable/24816828>
- IMARPE. (2017). *Compendio de procedimientos técnicos para la investigación científica en el IMARPE: Dirección General de Investigaciones Oceanográficas y Cambio Climático - Dirección General de Investigaciones en Acuicultura*. <https://hdl.handle.net/20.500.12958/3178>
- JACOBO, N., SÁNCHEZ, S., BERNALES, A., CHANG, F. & FLORES, G. (2021). Variabilidad estacional del fitoplancton y su asociación con parámetros físico-químicos, bahía de Miraflores (12°S). *Inf Inst Mar Perú*, 48(2), 173-185. <https://biblioimarpe.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/3571>
- OCHOA, N. y TARAZONA, J. (2003). Variabilidad temporal de pequeña escala en el fitoplancton de Bahía Independencia, Pisco, Perú. *Revista Peruana de Biología*, 10(1), 59-66. <https://doi.org/10.15381/rpb.v10i1.2480>
- PITCHER, G. C., FIGUEIRAS, F. G., HICKEY, B. M. & MOITA, M. T. (2010). The physical oceanography of upwelling systems and the development of harmful algal blooms. *Prog Oceanogr.*, 85(1-2), 5-32. <https://doi.org/10.1016/j.pcean.2010.02.002>

- PITCHER, G. C., AGUIRRE-VELARDE, A., BREITBURG, D., CARDICH, J., CARSTENSEN, J., CONLEY, D. J., DEWITTE, B., ENGEL, A., ESPINOZA-MORRIBERÓN, D., FLORES, G., GARÇON, V., GRACO, M., GRÈGOIRE, M., GUTIÉRREZ, D., HERNÁNDEZ-AYON, J. M., HUANG, H. H. M., 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>
- POURAFRASYABI, M. & RAMEZANPOUR, Z. (2014). Phytoplankton as bio-indicator of water quality in Sefid Rud River – Iran (South Caspian Sea). *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 12(1),31-40. https://cjes.guilan.ac.ir/article_1131_d09ffa82dce58c6530cc746135e6acaa.pdf
- REYNOLDS, C. S. (2006). The Ecology of Phytoplankton. Cambridge University Press. http://www.jlakes.org/ch/book/Ecology-of-phytoplankton_2006.pdf
- SÁNCHEZ, S., TARAZONA, J., FLORES, R., MALDONADO, M. & CARBAJAL, G. (1988). Características del fitoplancton de invierno en Bahía Independencia, Perú. *Bol Inst Mar Perú, Vol. Extraordinario*, 59-66. <https://biblioimarpe.imarpe.gob.pe/handle/20.50012958/1085>
- SÁNCHEZ, S., BERNALES, A., DELGADO, E., CHANG, F., JACOBO, N. & QUISPE, J. (2017). Variability and Biogeographical Distribution of Harmful Algal Blooms in Bays of High Productivity Off Peruvian Coast (2012-2015). *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, 7(6), 1-5. <https://doi.org/10.4172/2161-0525.1000530>
- SÁNCHEZ, S., JACOBO, N., BERNALES, A., FRANCO, A., QUISPE, J. & FLORES, G. (2019). Seasonal Variability in the Distribution of Phytoplankton in Paracas Bay/ Peru, as a Response to Environmental Conditions. *Journal of Environmental Science and Engineering A*, 7, 371-380. DOI: 10.17265/2162-5263/2019.01.002
- SÁNCHEZ, S., JACOBO, N., DELGADO, E., FRANCO, A., ROMERO, L., BERNALES, A. & LORENZO, A. (2021). First report of a *Fibrocapsa japonica* Toriumi & Tanako bloom in the northern Humboldt current ecosystem. *Harmful Algae News*, (68), 9-10. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379305>
- SIEBURTH, J., SMETACEK, V. & LENZ, J. (1978). Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnology and Oceanography*, 23(6), 1256-1263. <https://doi.org/10.4319/lo.1978.23.6.1256>
- SNEATH, P. H. A. & SOKAL, R. R. (1973). *Numerical taxonomy: The Principles and Practice of Numerical Classification*. W. H. Freeman.
- TAYLOR J. R. & FERRARI, R. (2011). Shutdown of Turbulent Convection as a New Criterion for the Onset of Spring Phytoplankton Blooms. *Limnol. Oceanogr.*, 56(6), 2293-2307. <https://doi.org/10.4319/lo.2011.56.6.2293>
- VELAZCO, F. & SOLÍS, J. (2000). Estudio Sedimentológico de la Bahía de Paracas. *Inf. Prog. Inst Mar Perú*, (133), 3-22. <https://repositorio.imarpe.gob.pe/handle/20.500.12958/1165>