



Análisis del estado trófico y microfitoplancton de la zona costera de la provincia del Guayas, Ecuador

Analysis of the trophic state and microphytoplankton in the coastal zone of Guayas Province, Ecuador

Mónica Prado-España¹, Luis Troccoli-Ghinaglia^{1,2,3} y Jacqueline Cajas-Flores¹

000-0002-2017-8784

0000-0001-8684-6741

¹ Instituto Nacional de la Pesca. Letamendi 102 y la Ría. Guayaquil-Ecuador. mprado@institutopesca.gob.ec, jcajas@institutopesca.gob.ec

² Investigador Prometeo Senescyt-Ecuador. Edificio Público del Sector Social, Planta Baja. Av. Plaza Dañin. Guayaquil, Ecuador. luis.troccoli@gmail.com

³ Instituto de Investigaciones Científicas, Universidad de Oriente. Boca de Río, Isla de Margarita-Venezuela.

RESUMEN

En el golfo de Guayaquil se concentra la mayor actividad pesquera y acuícola del Ecuador; sin embargo, la carga de nutrientes provenientes de actividades antrópicas, afectaría la calidad del agua y diversidad de recursos pesqueros. Con el propósito de determinar el estado trófico de la zona costera y estuario interior, se recolectaron muestras de agua superficial, para medir temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes y microfitoplancton. Además, se establecieron relaciones entre las variables hidrográficas mediante un Análisis de Componentes Principales (ACP) y entre éstas con el microfitoplancton a través del Análisis de Redundancia (ADR). Las diferencias en estructura comunitaria se determinaron mediante el Escalamiento Multidimensional no Métrico (MDS) y Análisis de Similaridad (ANOSIM), y el estado trófico empleando el índice Karydis. Se detectaron diferencias significativas entre la zona costera y estuario interior, registrando este último mayor temperatura y concentración de nutrientes, menor salinidad, transparencia, concentración de oxígeno disuelto y el nivel trófico más elevado. Se identificaron 178 especies de microfitoplancton, de las cuales 78% fueron diatomeas, 18% dinoflagelados, 2% cianofitas y 2% silicoflagelados. Se detectaron diferencias significativas en equitatividad y diversidad, con menores registros en la zona estuarina. El ADR mostró una correlación positiva (0.54; $p < 0.05$) entre *Paralia sulcata*, *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassionema frauenfeldianum* con los nutrientes y negativa con salinidad. En el estuario interno se correlacionaron positivamente (0.64; $p < 0.05$) *Nitzschia longissima*, *Chaetoceros decipiens* y *Skeletonema costatum* con temperatura y en forma inversa con fosfato y nitrato. Se registraron diferencias en la estructura comunitaria entre zonas, predominando *S. costatum*, *T. frauenfeldianum* y *T. nitzschioides* en el estuario interior y *N. longissima*, *Guinardia striata* y *Leptocylindrus danicus* en la zona costera. Se determinó a toda la zona de estudio como mesotrófica, no obstante, en el estuario interior los valores del índice trófico fueron más elevados debido probablemente a que recibe de manera más directa los aportes provenientes de actividades antrópicas. Se recomienda efectuar estudios con muestreos a una distancia menor a 1.8 km de la costa, para conocer el estado trófico en un área más cercana a la costa y desarrollar planes de manejo para evitar amenazas de eutrofización.

PALABRAS CLAVES: Golfo de Guayaquil, Estuario, Mesotrófico, Diatomeas, Variables hidrográficas.

ABSTRACT

Most fishing and aquaculture activity in Ecuador is concentrated in the Gulf of Guayaquil. However, the nutrient loads from anthropic activities could affect the water quality and the diversity of fishery resources. Surface water samples were collected to determine the temperature, salinity, dissolved oxygen, nutrients, and the community structure of microphytoplankton to determine the trophic status of the coastal zone and the inner estuary. In addition, the relation between the hydrographic variables was established

DOI: 10.25268/bimc.invemar.2017.46.2.729

Publicado por INVEMAR

Este es un manuscrito de acceso abierto bajo la licencia CC

Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual

Published by INVEMAR

This is an open Access article under the CC BY-NC-SA

through principal component analysis (PCA), and redundancy analysis (RDA) was used to analyze the effect of the environmental variables on the microphytoplankton communities. Differences in community structure were determined using multidimensional scaling analysis of similarities (MDS-Anosim), and the trophic status was established through the Karydis index. Significant differences were detected between the coastal zone and the inner estuary. Overall, the inner estuary showed a higher trophic level, with higher temperature and nutrient concentrations, and lower values for the salinity, transparency, and dissolved oxygen. Seventeen species of microphytoplankton were identified, of which 78% were diatoms, 18% dinoflagellates, 2% cyanophytes, and 2% silicoflagellates. Significant differences were detected in equitability and diversity, with fewer records in the estuarine area. The RDA showed a positive correlation (0.54; $p < 0.05$) between *Paralia sulcata*, *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassionema frauenfeldii* and nutrients and a negative correlation with salinity. In the inner estuary, *Nitzschia longissima*, *Chaetoceros decipiens*, and *Skeletonema costatum* were positively correlated (0.64; $p < 0.05$) with temperature and negatively correlated with phosphate and nitrate. Differences in the community structure existed between zones, with *S. costatum*, *T. frauenfeldii*, and *T. nitzschioides* dominating the inner estuary and *N. longissima*, *Guinardia striata*, and *Leptocylindrus danicus* dominating in the coastal zone. The study area was determined to be mesotrophic. However, in the inner estuary, the values of the trophic index were higher because this area probably receives more directly the contributions from anthropic activities. Surveys with samples less than a mile from the coast are recommended to determine the trophic status in an area closer to the coast and to develop management plans to avoid threats of eutrophication.

KEYWORDS: Gulf of Guayaquil, Estuary, Mesotrophic, Diatoms, Hydrographic variables.

INTRODUCCIÓN

El papel de los estuarios en cuanto a aportes de nutrientes a la zona costera, ha sido ampliamente estudiado debido a la importancia que representa en la transferencia de energía y en la producción pesquera (Alpine y Cloern, 1992; Dutto *et al.*, 2014; Nelson *et al.*, 2015). Esta carga de nutrientes, se genera principalmente por el incremento de las poblaciones humanas y sus actividades en las zonas costeras, el cual, cuando es excesivo puede conducir a la eutrofización afectando la calidad y uso de los recursos de estos ecosistemas (Nixon, 1995; Cloern y Jassby, 2010; Paerl *et al.*, 2014). Para determinar el estado trófico de los sistemas acuáticos, se han establecido índices que reflejen el nivel de deterioro de la calidad del agua, que contemplan factores como concentración de nutrientes, transparencia del agua, concentración de oxígeno disuelto entre otros y los efectos en la vida acuática como el fitoplancton, pastos marinos y macroalgas (Vollenweider, 1992; Birk *et al.*, 2012). Todos estos índices se aplican de acuerdo con la factibilidad de medición de diversos factores y, entre ellos, se ha utilizado el índice Karydis (1992), el cual se basa principalmente en la concentración de nutrientes y tiene especificidad para cada uno de ellos; además, se aplica a varios tipos de agua, es altamente sensible a los efectos de eutrofización y es fácil de aplicar. Inicialmente este índice fue establecido como modelo para aguas europeas, pero ha sido utilizado con éxito en América, como es el caso del Golfo de México (Herrera-Silveira *et al.*, 2004; Tapia-González *et al.*, 2008; Moreno *et al.*, 2010).

INTRODUCTION

The role of estuaries regarding nutrient inputs to the coastal zone has been extensively studied because of its importance to energy transfer and fish production (Alpine and Cloern, 1992; Dutto *et al.*, 2014; Nelson *et al.*, 2015). This nutrient load is generated mainly by the increase in human populations and their activities in the coastal zones, which, when excessive, can lead to eutrophication and affect the quality and use of the resources of these ecosystems (Nixon, 1995; Cloern and Jassby, 2010; Paerl *et al.*, 2014). To determine the trophic status of aquatic systems, indices have been established that reflect the level of deterioration of water quality, and these indices include factors such as nutrient concentration, water transparency, dissolved oxygen concentration, among others, and the effects of this deterioration on life such as phytoplankton, marine grasses, and macroalgae (Vollenweider, 1992; Birk *et al.*, 2012). All indices are applied according to the feasibility of measuring various factors, including the Karydis index (1992), which is based mainly on the concentration of nutrients and has specificity for each one of them. In addition, this index is applied to various types of water, it is highly sensitive to the effects of eutrophication, and it is easy to apply. Initially, this index was established as a model for European waters, but it has been used successfully in the Americas, such as in the Gulf of Mexico (Herrera-Silveira *et al.*, 2004; Tapia-González *et al.*, 2008; Moreno *et al.*, 2010).

La medición del nivel trófico es importante para establecer el tipo de control y seguimiento en el manejo de ecosistemas en proyectos a corto y mediano plazo. Además, la tendencia actual sugiere que las investigaciones del estado trófico de la zona costera deben estar acompañados por el conocimiento de la estructura comunitaria del microfitoplancton, considerando que es la comunidad que mejor responde como indicadora de los cambios en la hidrografía costera (Hays *et al.*, 2005; Reynolds, 2006; Vinagre y Costa, 2014). Al respecto, Tsirstis y Karydis (1998) indicaron que la diversidad del fitoplancton reacciona a los cambios en el nivel trófico si se considera que ambientes contaminados favorecen el crecimiento de pocas especies oportunistas.

En Ecuador, 70 % de los cuerpos de agua continentales desembocan en la zona costera (Rendón *et al.*, 1983), destacándose el golfo de Guayaquil, donde se concentra la mayor parte de la actividad pesquera y acuícola del país (San Martín, 2009). Sin embargo, la carga de nutrientes que proviene de las aguas residuales sin tratamiento de origen agrícola, pecuario, doméstico, industrial y de acuicultura, le otorgaría características tróficas que podrían afectar la calidad del agua y la diversidad de recursos que en él se desarrollan. En ese sentido, los estudios sobre las características hidrográficas y biológicas de la zona costera de Ecuador, han evidenciado cambios espaciales y temporales en la estructura comunitaria del microfitoplancton en el golfo de Guayaquil, donde se ha determinado dominancia de diatomeas halotolerantes como *Paralia sulcata* y *Skeletonema costatum*, y de especies oceánicas como *Rhizosolenia imbricata*, *Eucampia cornuta*, *Pseudonitzschia seriata* y *Guinardia striata* en la zona costera (Prado *et al.*, 2015).

En lo que respecta a estudios sobre la estructura comunitaria y su relación con las condiciones hidrográficas, éstos se han orientado principalmente a la influencia de las masas de agua de las corrientes que dominan en la costa ecuatoriana como son las corrientes de Panamá en época lluviosa y Humboldt en el período seco, utilizando la temperatura como indicador, determinando dominio absoluto de diatomeas en ambos períodos (Jiménez, 1983; Gualancañay *et al.*, 2003; Coello *et al.*, 2010; Prado y Cajas, 2010a, 2010b). A partir de estudios sobre el plancton y las condiciones hidrográficas realizados a 1.8 km de la costa de la provincia del Guayas, se plantea la determinación de la condición trófica en el estuario interior del golfo de Guayaquil y zona costera adyacente, en relación con la estructura comunitaria del microfitoplancton.

The measurement of the trophic level is important for establishing the type of control and monitoring used in the management of ecosystems in short- and medium-term projects. In addition, the current trend suggests that investigations of the trophic status of the coastal zone should be accompanied by knowledge of the community structure of microphytoplankton because it is the community that best responds as an indicator of changes in coastal hydrography (Hays *et al.*, 2005; Reynolds, 2006; Vinagre and Costa, 2014). Therefore, Tsirstis and Karydis (1998) indicated that phytoplankton diversity reacts to changes in the trophic level if polluted environments favor the growth of a few opportunistic species.

In Ecuador, 70% of the inland water bodies flow into the coastal zone (Rendón *et al.*, 1983), with most of the country's fishing and aquaculture activity concentrated in the Gulf of Guayaquil (San Martín, 2009). However, the nutrient load that comes from untreated wastewater of agricultural, livestock, domestic, industrial, and aquacultural origins gives water bodies their trophic characteristics, which affect the water quality and the diversity of the resources from which it develops. In this sense, studies on the hydrographic and biological characteristics of the coastal zone of Ecuador show spatial and temporal changes in the community structure of microphytoplankton in the Gulf of Guayaquil, where the dominance of halotolerant diatoms such as *Paralia sulcata* and *Skeletonema costatum*, and oceanic species, such as *Rhizosolenia imbricata*, *Eucampia cornuta*, *Pseudonitzschia seriata* and *Guinardia striata*, have been found in the coastal zone (Prado *et al.*, 2015).

Regarding community structure and its relation to hydrographic conditions, studies have focused mainly on the influence of the water masses of the currents that dominate the Ecuadorian coast, such as the currents of Panama during the rainy season and Humboldt in the dry period, using temperature as an indicator and determining the absolute dominance of diatoms in both periods (Jiménez, 1983; Gualancañay *et al.*, 2003, Coello *et al.*, 2010; Prado and Cajas, 2010a, 2010b). Based on the studies on plankton and hydrographic conditions, carried out 1.8 km off the coast of the province of Guayas, the goal of this study is the determination of the trophic condition in the interior estuary of the Gulf of Guayaquil and adjacent coastal zone relative to the structure of the microphytoplankton.

ÁREA DE ESTUDIO

Ecuador es un país que presenta únicamente dos estaciones: la época lluviosa de enero a mayo y la época seca de julio a noviembre, mientras que diciembre y junio, son considerados meses de transición. La provincia del Guayas está ubicada al suroeste del Ecuador y recibe la influencia de varias corrientes marinas, especialmente la fría de Humboldt en la época seca y la cálida de El Niño en la época lluviosa, produciendo un clima de tipo tropical sabana y tropical monzón con temperaturas promedio de 25°C y precipitaciones anuales entre 500 a 1000 mm (Twilley *et al.*, 2001).

En la zona costera de esta provincia está ubicado el golfo de Guayaquil (3° S, 80° W), en el cual se han establecido un estuario exterior y uno interior; el primero tiene su límite en la plataforma a lo largo del meridiano 81° W hasta el interior de la isla Puná (80° 15' W) en las bocas de los canales El Morro y Jambelí. La profundidad del golfo de Guayaquil en la plataforma continental va desde 180 m en el borde occidental hasta menos de 20 m en la parte interior (Montaño-Armijos y Sanfeliu-Montolio, 2008).

El estuario interior es conocido como el estuario del río Guayas; al noroeste se encuentra el estero Salado, al que llegan las aguas residuales de la ciudad de Guayaquil y al sureste, el estero Churute que tiene los aportes de los ríos Taura y Churute. En el golfo de Guayaquil descargan 24 cuencas hidrográficas, siendo la más importante el río Guayas que se forma de la confluencia del Daule y Babahoyo (Twilley *et al.*, 2001; Montaño-Armijos y Sanfeliu-Montolio, 2008).

El área de estudio corresponde a la zona de actividad pesquera frente a la provincia de Guayas y noroeste de la isla Puná, a 1.8 km de distancia del margen continental donde se ubicaron 16 estaciones, de las cuales ocho se establecieron en el área costera (estaciones 1-7 y 16) y ocho en el interior del golfo de Guayaquil (estaciones 8 a 15) (Figura 1).

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo y Análisis

Se realizaron recolectas superficiales entre las 08:00 y 11:00 horas, a bordo de un bote a motor fuera de borda, a 1.8 km aproximada de la costa de junio a noviembre de 2012. En cada muestreo se realizaron mediciones de temperatura y salinidad con un CTD Seabird, modelo Seacat S19. Simultáneamente, en cada estación se recolectó una muestra de agua, utilizando una botella Niskin de 5 L de capacidad, de la que se tomó 500 mL para la determinación

STUDY AREA

Ecuador is a country with only two seasons: a rainy season from January to May and a dry season from July to November, whereas December and June are considered transitional months. The province of Guayas is in Southwest Ecuador and is influenced by several marine currents, especially the cold Humboldt current in the dry season and the warm El Niño current in the rainy season, producing a tropical savanna and tropical monsoon climate with average temperatures of 25°C and annual precipitation between 500 and 1000 mm (Twilley *et al.*, 2001).

In the coastal zone of this province is the Gulf of Guayaquil (3°S, 80°W), in which an outer and an inner estuary have been established; the former has its limit in the platform along the meridian 81°W to the interior of the island Puná (80°15'W) in the mouths of the El Morro and Jambelí channels. The depth of the Gulf of Guayaquil on the continental shelf ranges from 180 m on the western edge to less than 20 m on the interior (Montaño-Armijos and Sanfeliu-Montolio, 2008).

The inland estuary is known as the Guayas River Estuary; to the northwest is the Salado Estuary, which receives sewage from the city of Guayaquil; and to the southeast lies the Churute Estuary, which receives the Taura and Churute rivers. A total of 24 hydrographic basins discharge into the Gulf of Guayaquil, with the Guayas River, which is formed by the confluence of Daule and Babahoyo (Twilley *et al.*, 2001; Montaño-Armijos and Sanfeliu-Montolio, 2008), being the most important.

The study area corresponds to the area of fishing activity along the coast of Guayas Province and northwest of Puná Island, 1.8 km away from the continental margin and where 16 stations were located, of which eight were in the coastal area (stations 1-7 and 16) and eight were in the interior of the Gulf of Guayaquil (stations 8 to 15) (Figure 1).

MATERIALS AND METHODS

Sampling and analysis

Surface surveys were carried out between 8:00 and 11:00 AM on board an outboard motorboat, 1.8 km from the coast from June to November 2012. In each sample, temperature and salinity were measured with a Seabird CTD, model Seacat S19. Simultaneously, a sample of water was collected at each station using a 5-L Niskin bottle, from which 500 mL was taken for the determination of nitrite, nitrate, phosphate, and silicate,

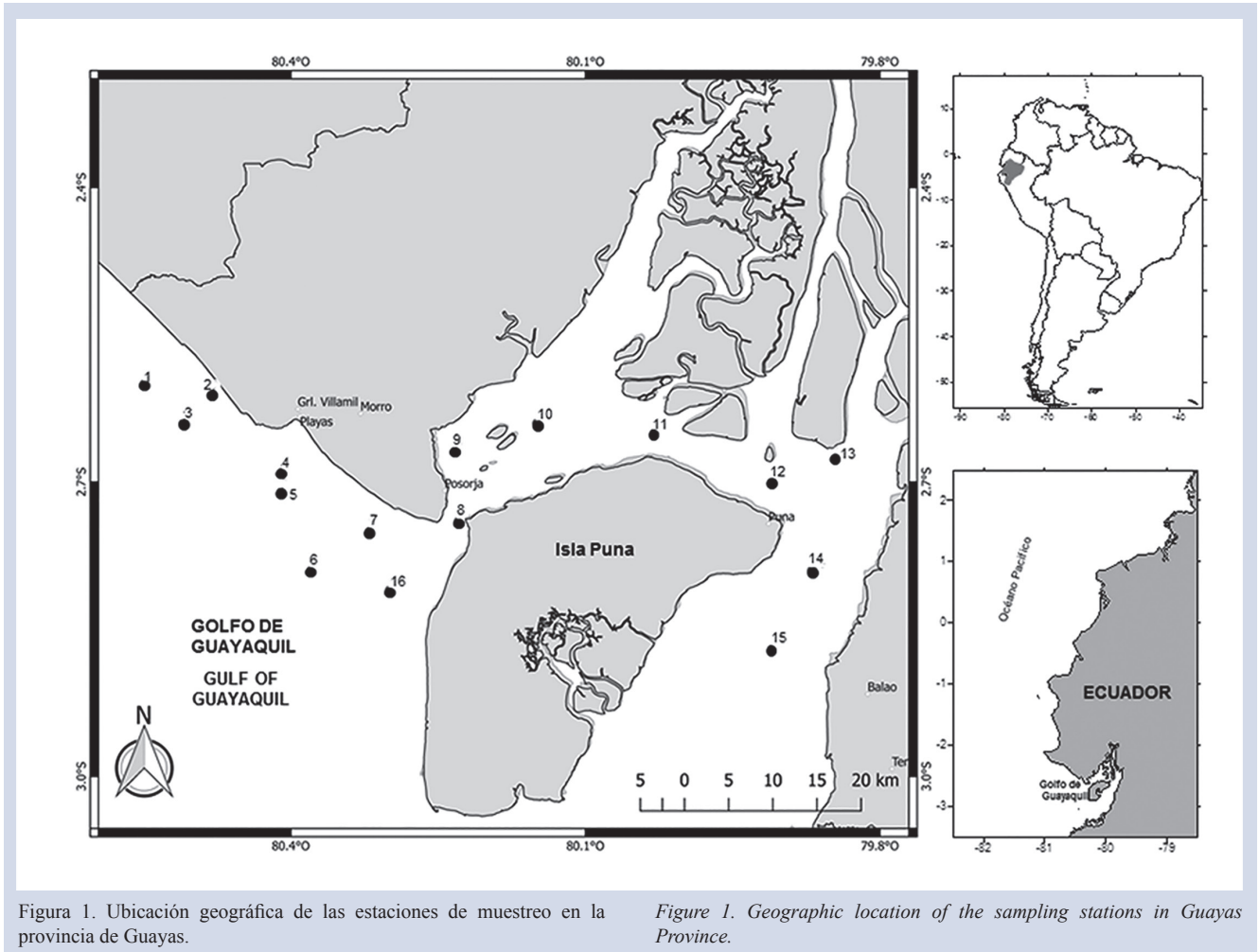


Figura 1. Ubicación geográfica de las estaciones de muestreo en la provincia de Guayas.

Figure 1. Geographic location of the sampling stations in Guayas Province.

de nitrito, nitrato, fosfato y silicato de acuerdo con la metodología de Parsons *et al.* (1984) y 240 mL para el análisis de microfitoplancton, conservado con solución de lugol, para su posterior análisis en el laboratorio.

La identificación de las especies de microfitoplancton se realizó siguiendo las claves de Cupp (1943), Cleve (1951), Schiller (1971), Jiménez (1983), Tomas (1997) y Bérnard-Therriault *et al.* (1999); en tanto que para la estimación de su abundancia se utilizó el método Utermöhl referido en Edler y Elbrächter (2010), para lo cual se empleó un microscopio invertido motorizado Leica DMI8 con software Leica Application Suite (LAS) y cámaras de sedimentación de 10 mL en las cuales se dejé reposar las muestras por 24 h. Con los datos cuantitativos se procedió al cálculo de abundancia total, abundancia relativa de grupos funcionales, índices de equitatividad, riqueza y diversidad de Shannon y Wiener utilizando el logaritmo base 2 (Tsirstsisis y Karydis, 1998; Krebs, 1999).

according to the methodology of Parsons *et al.* (1984), and 240 mL was taken for the microphytoplankton analysis and preserved with Lugol solution for later analysis in the laboratory.

The identification of the microphytoplankton species was carried out following the codes of Cupp (1943), Cleve (1951), Schiller (1971), Jiménez (1983), Tomas (1997), and Bérnard-Therriault *et al.* (1999), whereas species abundance was estimated using the Utermöhl method referred to in Edler and Elbrächter (2010). In this method, a motorized inverted Leica DMI8 microscope with Leica Application Suite (LAS) software and 10 mL sedimentation chambers were used, with the samples being allowed to stand in the chambers for 24 h. Next, the quantitative data were used to calculate, using the logarithm base 2, the total abundance, relative abundance of functional groups, indices of equitability, richness, and the Shannon and Wiener index (Tsirstsisis and Karydis, 1998; Krebs, 1999).

Para caracterizar el estado trófico por zonas, en base a cada nutriente, se utilizó el Índice multivariado de Karydis (1992) mediante la fórmula

$$IT = \frac{C}{C - \log X_i} + \log A$$

Donde IT es el índice trófico para un nutriente específico, C es la sumatoria de la concentración del nutriente por estación, X_i es la concentración mensual promedio del nutriente por estación y A es el número de estaciones.

La escala numérica que determina el nivel trófico es la siguiente: <3, Oligotrófico; 3-5, Mesotrófico; >5, Eutrófico.

Análisis de Datos

Para establecer posibles diferencias de las variables entre estaciones y meses de muestreo se realizó un análisis de varianza no paramétrico (Kruskal-Wallis, KW) luego de comprobar el no cumplimiento de los supuestos (Zar, 1996). La variabilidad hidrográfica y de estructura comunitaria entre zonas, se determinó mediante la prueba U de Mann Whitney (MW-U, Sheskin, 2004), expresándose en diagramas de cajas y bigotes de acuerdo con Boyer *et al.* (1997). Para establecer la relación entre las variables hidrográficas de cada zona, se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) a partir de una matriz de correlación (Johnson y Wichern, 1992). La relación entre las especies relevantes de cada zona y las variables hidrográficas se determinó a través de un Análisis de Redundancia (RDA), incluyendo el test de Montecarlo (ter Braak y Verdonschot, 1995; Muylaert *et al.*, 2009) con la transformación a raíz cuadrada. Para establecer posibles diferencias en la estructura comunitaria del microfitorplancton entre zonas, se utilizó el análisis multidimensional no paramétrico (MDS-Anosim) y para determinar el aporte de las especies entre zonas se obtuvo el porcentaje de Similaridad SIMPER. Todos los análisis multivariados se realizaron mediante el software PAST ver 3.0 (Hammer *et al.*, 2001).

RESULTADOS

Variables ambientales

. La temperatura promedio fue de 25.2° C con el valor mínimo (24.3° C) en agosto y el máximo (26.5° C) en junio. Se detectaron diferencias mensuales y entre zonas significativas ($p < 0.05$) con los menores registros en la zona costera (Figura 2 a y b). La salinidad promedio fue de 31.3, con el mínimo (30.6) en junio y el máximo

To characterize the trophic status by zones, based on each nutrient, the following formula was used to calculate the Karydis multivariate index (1992):

$$TI = \frac{C}{C - \log X_i} + \log A$$

where TI is the trophic index for a specific nutrient, C is the sum of the nutrient concentration per season, X_i is the average monthly nutrient concentration per season, and A is the number of seasons.

The numerical scale that determines the trophic level is the following: <3, oligotrophic; 3-5, mesotrophic; and > 5, eutrophic.

Analysis of data

A nonparametric analysis of variance (Kruskal-Wallis, KW) was performed to verify possible nonparametric variance between the seasons and months of sampling (Zar, 1996). The hydrographic and community structure variability between zones was determined using the Mann Whitney U test (MW-U, Sheskin, 2004), expressed in box and whisker plots according to Boyer *et al.* (1997). To establish the relations among the hydrographic variables of each zone, a principal component analysis (PCA) was performed from a correlation matrix (Johnson and Wichern, 1992). The relations between the relevant species of each zone and the hydrographic variables were determined through a redundancy analysis (RDA), including the Monte Carlo test (ter Braak and Verdonschot, 1995; Muylaert *et al.*, 2009) with the transformation to square root. To establish possible differences in the community structure of microphytoplankton between zones, nonparametric multidimensional analysis (MDS-Anosim) was used, and the percentage of SIMPER similarity was obtained to determine the contribution of the species between zones. All multivariate analyses were performed using the PAST ver. 3.0 software (Hammer *et al.*, 2001).

RESULTS

Environmental variables

The average temperature was 25.2°C, with the minimum value (24.3°C) in August and the maximum (26.5°C) in June. Monthly differences and differences between significant zones ($p < 0.05$) were detected, with the lowest records in the coastal zone (Figure 2a and b). The average salinity was 31.3, with the minimum (30.6) in June

(32.2) en diciembre. Se registraron diferencias significativas mensuales y entre zonas ($p < 0.05$) con los menores registros en la zona interna (Figura 2 c y d).

and the maximum (32.2) in December. Significant monthly and interzone differences ($p < 0.05$) were recorded with the lowest records in the internal zone (Figure 2c and d).

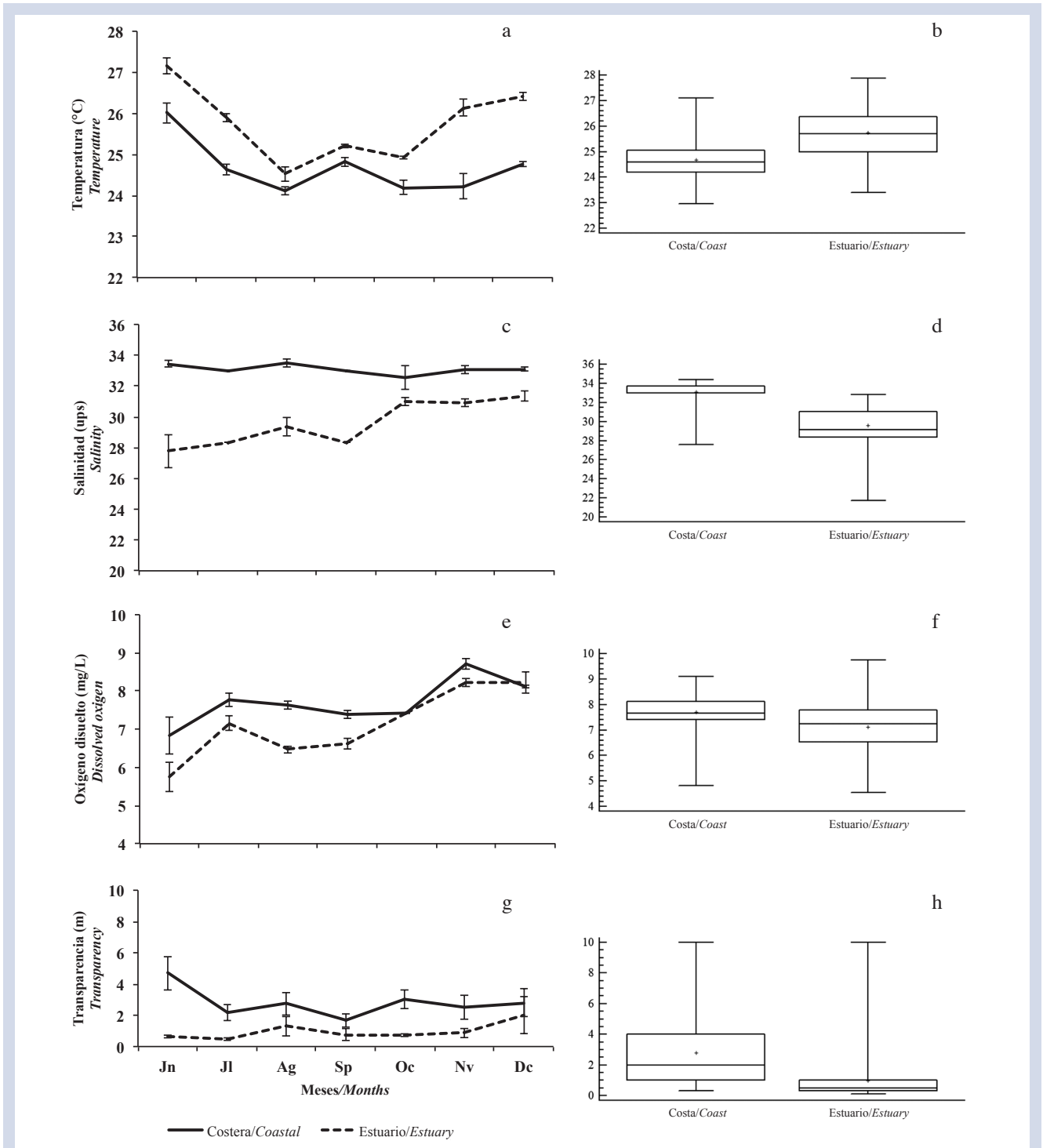


Figura 2. Variación mensual y por zonas de: a y b) temperatura, c y d) salinidad, e y f) oxígeno disuelto, g y h) transparencia, en la zona costera (Costera) y estuario interior del golfo de Guayaquil (Estuario) frente a la provincia del Guayas entre junio y diciembre de 2012.

Figure 2. Monthly and zone variation of a and b) temperature, c and d) salinity, e and f) dissolved oxygen, g and h) transparency in the coastal zone (Coastal) and in the inland estuary of the Gulf of Guayaquil (estuary) along the coast of Guayas Province between June and December 2012.

La concentración de oxígeno disuelto promedio fue de 7.4 mg/L, con mínimo (6.2 mg/L) en junio y máximo (8.5 mg/L) en noviembre, observándose diferencias significativas ($p < 0.05$) mensuales y entre zonas, con los menores registros en el estuario (Figuras 2 e y f). La transparencia promedio fue de 1.9 m con el menor registro (1.3 m) en julio y máximo (2.6 m) en junio, encontrándose diferencias significativas mensuales ($p < 0.05$) y entre zonas, con los menores registros en el estuario interior (Figura 2 g y h).

El nitrito varió de manera significativa mensual y entre zonas ($p < 0.05$), registrándose los menores valores en la zona costera. La concentración promedio de nitrito fue de 0.25 $\mu\text{mol/L}$ con el menor registro (0.16 $\mu\text{mol/L}$) en noviembre y el máximo (0.36 $\mu\text{mol/L}$) en agosto (Figura 3 a y b).

En el caso del nitrato, la menor concentración se presentó en septiembre (4.9 $\mu\text{mol/L}$), la máxima en noviembre (8.3 $\mu\text{mol/L}$) y el promedio fue de 5.8 $\mu\text{mol/L}$. No se registraron diferencias significativas mensuales ($p > 0.05$) pero sí entre zonas ($p < 0.05$) con los menores registros en la zona costera (Figura 3 c y d).

El fosfato registró concentraciones entre 1.1 $\mu\text{mol/L}$ en diciembre y 1.8 $\mu\text{mol/L}$ en agosto; el valor promedio fue de 1.4 $\mu\text{mol/L}$. No se detectaron diferencias significativas mensuales ($p > 0.05$) pero sí entre zonas ($p < 0.05$) con los menores registros en la zona costera (Figura 3 e y f).

La concentración promedio de silicato fue de 45.6 $\mu\text{mol/L}$ con el menor registro (13.6 $\mu\text{mol/L}$) en diciembre y el máximo (84.6 $\mu\text{mol/L}$) en junio. En este caso, las diferencias espaciales (por zona) y temporales (mensuales) fueron significativas ($p < 0.05$), registrándose los menores valores en la zona costera ($p < 0.05$) (Figura 3 g y h).

En general, se observó la zona costera con menor temperatura y concentración de nutrientes, pero mayor salinidad, oxígeno y transparencia en la zona costera con respecto a la zona interna del golfo de Guayaquil (Tabla 1).

El análisis de las variables hidrográficas a través del ACP mostró en la zona costera 73.0% de varianza acumulada en los tres primeros componentes; en el primer eje, se observó la relación entre los nutrientes en relación inversa a la salinidad y transparencia, mientras en el segundo componente la relación fue inversa entre temperatura y oxígeno disuelto (Figura 4a). En el estuario interior, la varianza acumulada en los tres primeros ejes fue de 71.0%; en el componente 1, se correlacionaron el silicato, fosfato y nitrito en relación inversa con la transparencia, salinidad y oxígeno disuelto. Mientras que en el componente 2 se detectó la correlación inversa entre la temperatura y nitrato (Figura 4b).

The mean dissolved oxygen concentration was 7.4 mg/L, with a minimum (6.2 mg/L) in June and a maximum (8.5 mg/L) in November, with significant differences ($p < 0.05$) recorded in the estuary (Figure 2e and f). The average transparency was 1.9 m, with the lowest (1.3 m) in July and the maximum (2.6 m) in June, with significant monthly differences ($p < 0.05$) and differences between zones, with the lowest records in the inland estuary (Figure 2g and h).

Nitrite varied significantly monthly and between zones ($p < 0.05$), with the lowest values being recorded in the coastal zone. The mean concentration of nitrite was 0.25 $\mu\text{mol/L}$, with the lowest concentration (0.16 $\mu\text{mol/L}$) in November and the maximum (0.36 $\mu\text{mol/L}$) in August (Figure 3a and b).

In the case of nitrate, the lowest concentration occurred in September (4.9 $\mu\text{mol/L}$) and the highest in November (8.3 $\mu\text{mol/L}$), with an average of 5.8 $\mu\text{mol/L}$. No significant monthly differences ($p > 0.05$) were observed, but differences were found between zones ($p < 0.05$), with the lowest concentrations being recorded in the coastal zone (Figure 3c and d).

Phosphate had concentrations between 1.1 $\mu\text{mol/L}$ in December and 1.8 $\mu\text{mol/L}$ in August; the mean value was 1.4 $\mu\text{mol/L}$. No significant differences ($p > 0.05$) were observed, but differences were observed between zones ($p < 0.05$), with the lowest concentrations being recording in the coastal zone (Figure 3e and f).

The average concentration of silicate was 45.6 $\mu\text{mol/L}$, with the lowest concentration (13.6 $\mu\text{mol/L}$) in December and the maximum (84.6 $\mu\text{mol/L}$) in June. In this case, the spatial (by zone) and temporal (monthly) differences were significant ($p < 0.05$), with the lowest values being recorded in the coastal zone ($p < 0.05$) (Figure 3g and h).

In general, in the coastal zone, lower temperatures and nutrient concentrations were observed, but higher salinity, oxygen, and transparency were observed in the coastal zone compared to the internal area of the Gulf of Guayaquil (Table 1).

The analysis of the hydrographic variables through the ACP showed 73.0% of accumulated variance in the first three components in the coastal zone; in the first axis, an inverse relation to salinity and transparency was observed between nutrients, while in the second component, the relation was inversely related to temperature and dissolved oxygen (Figure 4a). In the inner estuary, the variance accumulated in the first three axes was 71.0%; in component 1, the silicate, phosphate, and nitrite correlated inversely with the transparency, salinity, and dissolved oxygen, whereas in component 2, an inverse correlation was detected between temperature and nitrate (Figure 4b).

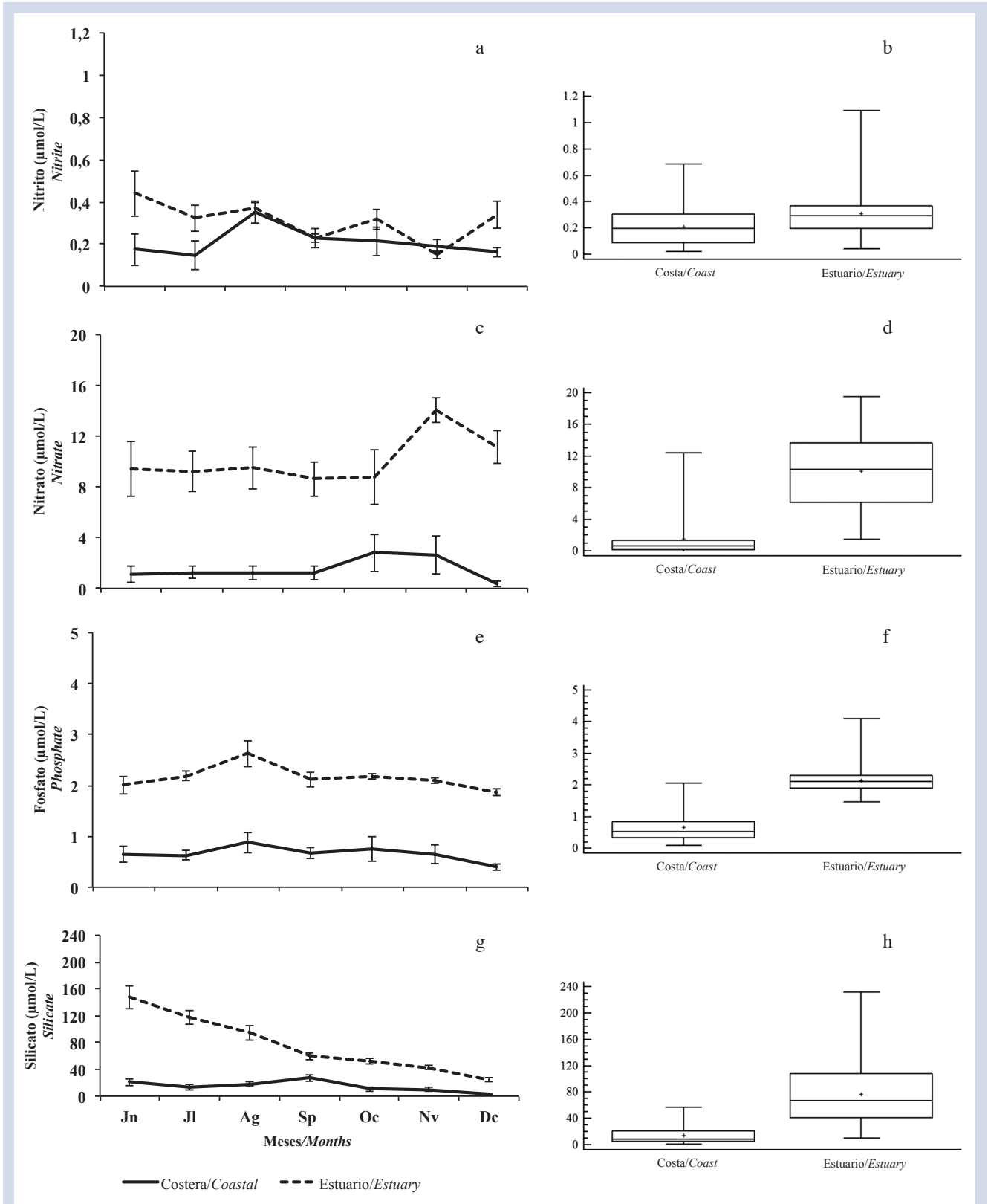


Figura 3. Variación mensual y por zonas de: a y b) nitrito, c y d) nitrato, e y f) fosfato, g y h) silicato en la zona costera (Costera) y estuario interior del golfo de Guayaquil (Estuario) frente a la provincia del Guayas entre junio y diciembre de 2012.

Figure 3. Monthly and zone variation of a and b) nitrite, c and d) nitrate, e and f) phosphate, and g and h) silicate in the coastal zone (Coastal) and inland estuary of the Gulf of Guayaquil (Estuary) along the coast of Guayas Province between June and December 2012.

Tabla 1. Promedios de variables físico-químicas de la zona costera y estuario interior del golfo de Guayaquil frente a la provincia del Guayas entre junio y diciembre de 2012.

	Costera / Coastal	Estuario / Estuary	W	p
Temperatura ° C / Temperature	24.7 ± 0.1	25.8±0.12	2632	<0.05
Salinidad ups / Salinity ups	33.08 ± 0.12	29.57±0.25	89	<0.05
Oxígeno disuelto mg/L –Dissolved Oxygen mg/L	7.69±0.10	7.11±0.13	942	<0.05
Nitrito µmol/L /Nitrite	0.20±0.02	0.30 ±0.02	2168	<0.05
Nitrato µmol/L / Nitrate	1.51±0.34	10.10±0.63	2993	<0.05
Fosfato µmol/L /Phosphate	0.66±0.06	2.14±0.05	3091	<0.05
Silicato µmol/L / Silicate	14.43±1.69	76.81±6.45	2994.5	<0.05
Transparencia (m) / Transparency	2.79±0.29	0.97±0.20	492.5	<0.05

Table 1. Averages of physical-chemical variables of the coastal zone and inland estuary of the Gulf of Guayaquil along the coast of Guayas Province between June and December of 2012.

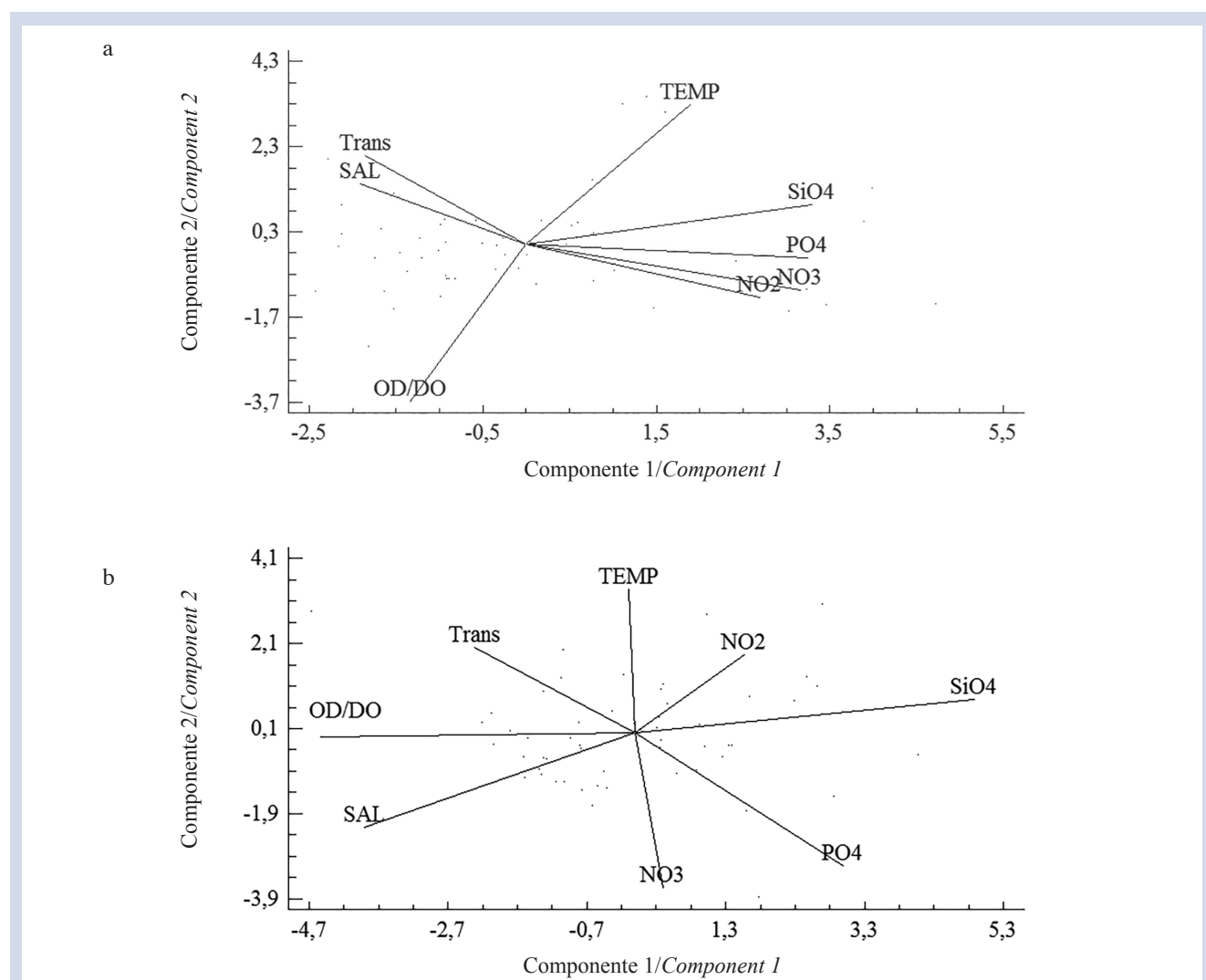


Figura 4. Proyección ortogonal de los dos primeros componentes del Análisis de Componentes Principales en: a) zona costera, y b) estuario interior del golfo de Guayaquil frente a la provincia del Guayas entre junio y diciembre del 2012. (TEMP: temperatura; SAL: salinidad; OD: oxígeno disuelto; NO2: nitrito; NO3: nitrato; PO4: fosfato; SiO4: silicato; Trans: transparencia).

Figure 4. Orthogonal projection of the first two components of the principal components analysis in a) coastal zone and b) inland estuary of the Gulf of Guayaquil off Guayas Province between June and December 2012. (TEMP: temperature; salinity, OD: dissolved oxygen, NO2: nitrite, NO3: nitrate, PO4: phosphate, SiO4: silicate, Trans: transparency).

Niveles tróficos

El intervalo de variación de los valores del índice trófico estuvo entre 3 y 7, registrándose diferencias significativas del nivel trófico entre la zona costera y estuario interior, siendo esta última la que obtuvo los valores más elevados con todos los nutrientes. Es así que, para nitrato el menor valor se observó en la estación 6 que corresponde al sitio de muestreo más alejado de la costa, mientras que los mayores valores se observaron en las estaciones ubicadas en el Canal de Cascajal, Balao y Oeste de la isla Puná (estaciones 11, 15 y 16, respectivamente) (Figura 5 a y b). Para el nitrato, los valores de índice trófico fueron bajos en toda la zona costera, mientras en el estuario interior, todos los valores fueron superiores a 4 unidades Karydis, especialmente en la estación 13 que corresponde al sector de El Guabo (Figura 5 c y d). Similar tendencia se produjo con el fosfato (Figura 5 e y f) y silicato (Figura 5 g y h).

Microfitoplancton

Se identificaron 178 especies de microfitoplancton de las cuales aproximadamente 78 % fueron diatomeas, 18 % dinoflagelados, 2 % cianobacterias y 2 % silicoflagelados (Anexo 1). La abundancia promedio del microfitoplancton fue de 7.0×10^5 cel/L con un mínimo de 4.1×10^5 cel/L en agosto y un máximo de 10.6×10^5 cel/L en julio, mostrando diferencias mensuales significativas (KW: 28.73; $p < 0.05$) y entre zonas (MW-U: 2087; $p < 0.05$) con la mayor abundancia en el estuario interior (Figura 6 a y b). La riqueza promedio fue de 19 especies y se detectaron diferencias mensuales (KW: 21.28; $p < 0.05$) mostrando similar tendencia que la abundancia, puesto que el menor valor se observó en agosto (12 especies) y el mayor en julio (23 especies). No se registraron diferencias significativas de la riqueza (MW-U: 1428; $p > 0.05$) entre zonas (Figura 6 c y d). La equitatividad mínima (0.76) se registró en agosto y la máxima (0.86) en diciembre, presentando diferencias significativas mensuales (KW: 12.71; $p < 0.05$) y entre zonas (MW-U: 12.71; $p < 0.05$), mostrando la mayor equitatividad en la zona costera (Figura 6 e y f).

La diversidad promedio fue de 3.4 bits/Ind con el mayor valor en octubre (3.8 bits/Ind) y el menor en agosto (2.7 bits/Ind), mes en el que la abundancia fue menor. Se detectaron diferencias significativas mensuales (KW: 19.6; $p < 0.05$) y entre zonas (MW-U: 19.6; $p < 0.05$) con la mayor diversidad en la zona costera (Figura 6 g y h).

Trophic levels

The range of variation in the trophic index values was between 3 and 7, with significant differences in the trophic level between the coastal zone and the inner estuary, the latter being the one with the highest values for all nutrients. Thus, for nitrite, the lowest value was observed at station 6, which corresponds to the sampling site farthest from the coast, while the highest values were observed at stations located in the Channel of Cascajal, Balao, and West of the island of Puná (stations 11, 15, and 16, respectively) (Figure 5a and b). For nitrate, the trophic index values were low throughout the coastal zone, while in the inner estuary, all values were greater than 4 Karydis units, especially at station 13, which corresponds to the sector of El Guabo (Figure 5c and d). A similar tendency occurred with phosphate (Figure 5e and f) and silicate (Figure 5g and h).

Microphytoplankton

Seventeen species of microphytoplankton were identified, of which approximately 78% were diatoms, 18% dinoflagellates, 2% cyanobacteria, and 2% silicoflagellates (Annex 1). The average abundance of microphytoplankton was 7.0×10^5 cell/L with a minimum of 4.1×10^5 cell/L in August and a maximum of 10.6×10^5 cell/L in July, showing significant differences between months (KW: 28.73; $p < 0.05$) and between zones (MW-U: 2087; $p < 0.05$), with the greatest abundance in the interior estuary (Figure 6a and b). The average richness was 19 species, and monthly differences (KW: 21.28; $p < 0.05$) were observed, showing a similar tendency to abundance because the lowest value was observed in August (12 species) and the highest in July (23 species). No significant differences in richness (MW-U: 1428; $p > 0.05$) were observed between zones (Figure 6c and d). The minimum equitability (0.76) was recorded in August and the highest (0.86) in December, with significant differences between months (KW: 12.71, $p < 0.05$) and between zones (MW-U: 12.71, $p < 0.05$), with the highest equitability in the coastal zone (Figure 6e and f).

The average diversity was 3.4 bits/Ind, with the highest value in October (3.8 bits/Ind) and the lowest in August (2.7 bits/Ind), months in which the abundance was lower. Significant differences between months (KW: 19.6; $p < 0.05$) and between zones (MW-U: 19.6; $p < 0.05$) were detected, with the greatest diversity occurring in the coastal zone (Figure 6g and h).

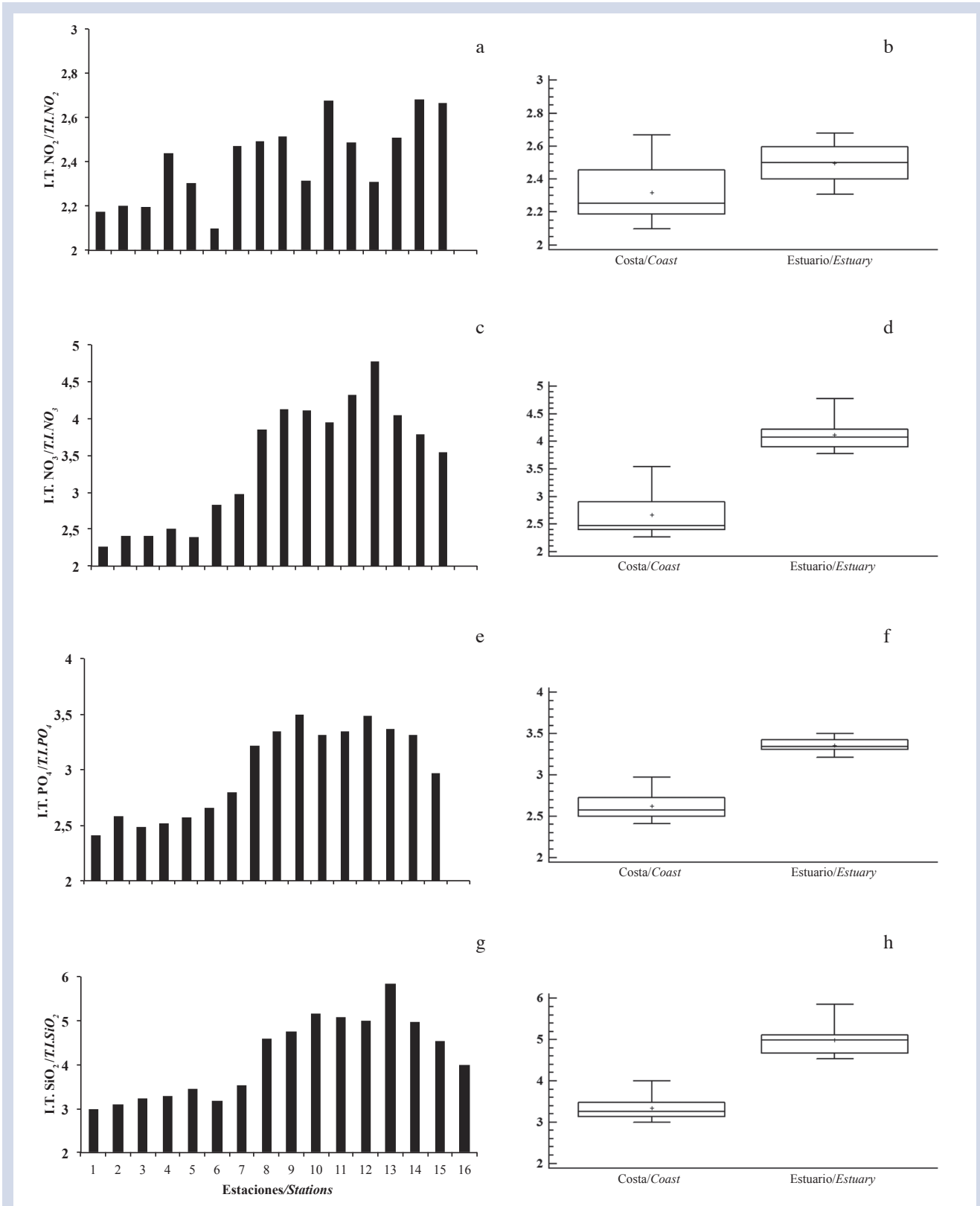


Figura 5. Variación estacional del índice trófico Karydis (I.T.) para: a) nitrito, b) nitrato, c) fosfato y d) silicato en la zona costera (Costera) y estuario interior del golfo de Guayaquil (Estuario) frente a la provincia del Guayas entre junio y diciembre de 2012.

Figure 5. Seasonal variation of the Karydis trophic index (TI) for a) nitrite, b) nitrate, c) phosphate, and d) silicate in the coastal zone (Coastal) and inland estuary of the Gulf of Guayaquil (Estuary) along the coast of Guayas Province between June and December 2012.

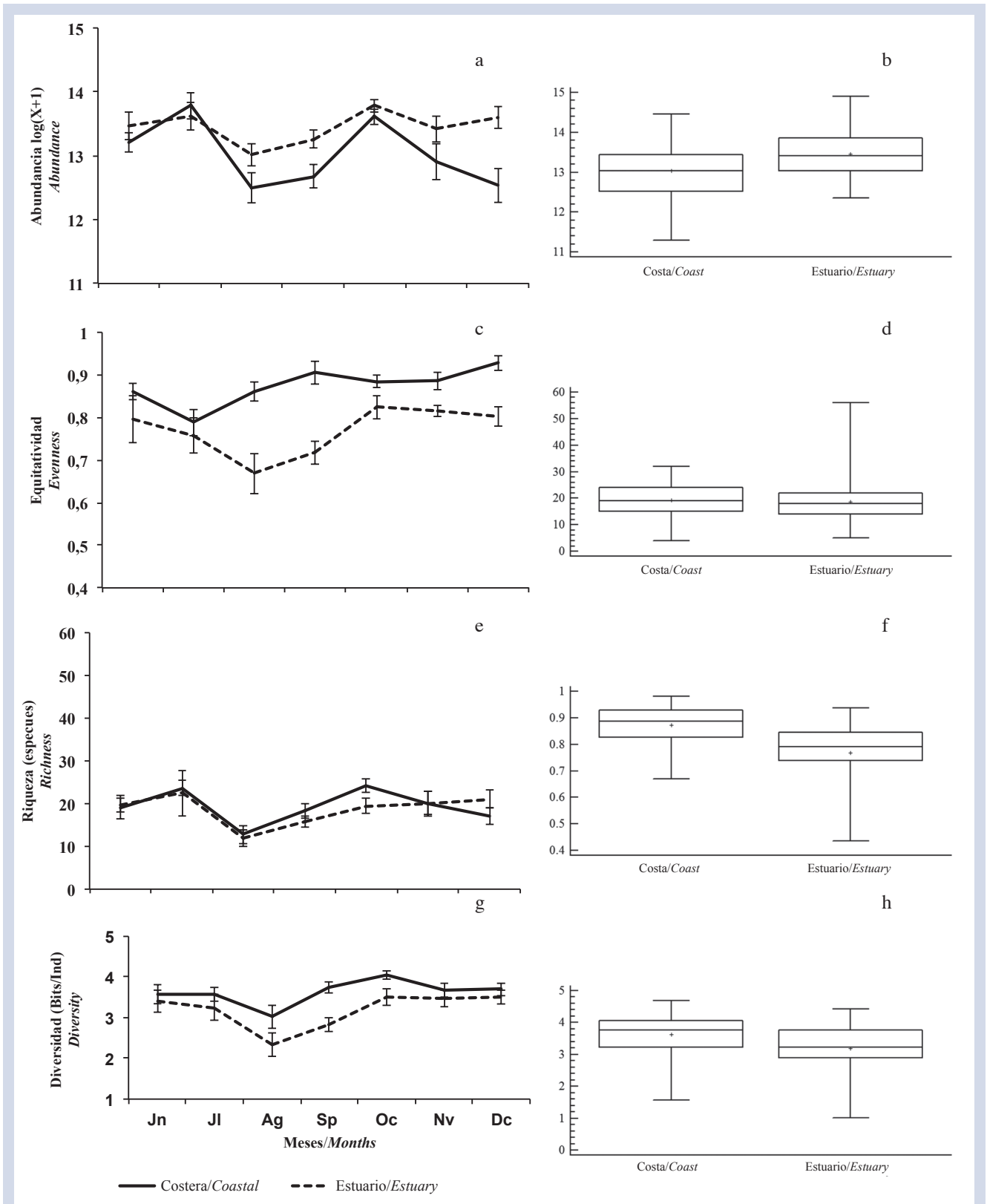


Figura 6. Variación mensual de: a y b) abundancia, c y d) riqueza, e y f) equitatividad, g y h) diversidad del microfitoplancton en la zona costera (Costera) y estuario interior del golfo de Guayaquil (Estuario) frente a la provincia del Guayas entre junio y diciembre de 2012.

Figure 6. Monthly variation of a and b) abundance, c and d) richness, e and f) equitativity, and g and h) diversity of microphytoplankton in the coastal zone (Coastal) and inland estuary of the Gulf of Guayaquil (Estuary) along the coast of Guayas Province between June and December 2012.

Al explorar las relaciones de similitud (MDS Anosim) entre las comunidades de microfitoplancton, se establecieron diferencias significativas ($R: 0.44; p < 0.05$) entre las zonas costera y estuario interior del golfo de Guayaquil, no obstante, se observa que hay especies que se encuentran en ambas zonas, mostrando mayor heterogeneidad la zona costera, con un estrés de 0.18 (Figura 7).

When exploring the similarity relations (MDS-Anosim) between the microphytoplankton communities, significant differences ($R: 0.44, p < 0.05$) were established between the coastal and inland estuary areas of the Gulf of Guayaquil; however, some species are found in both zones, with greater heterogeneity being observed in the coastal zone, with a stress of 0.18 (Figure 7).

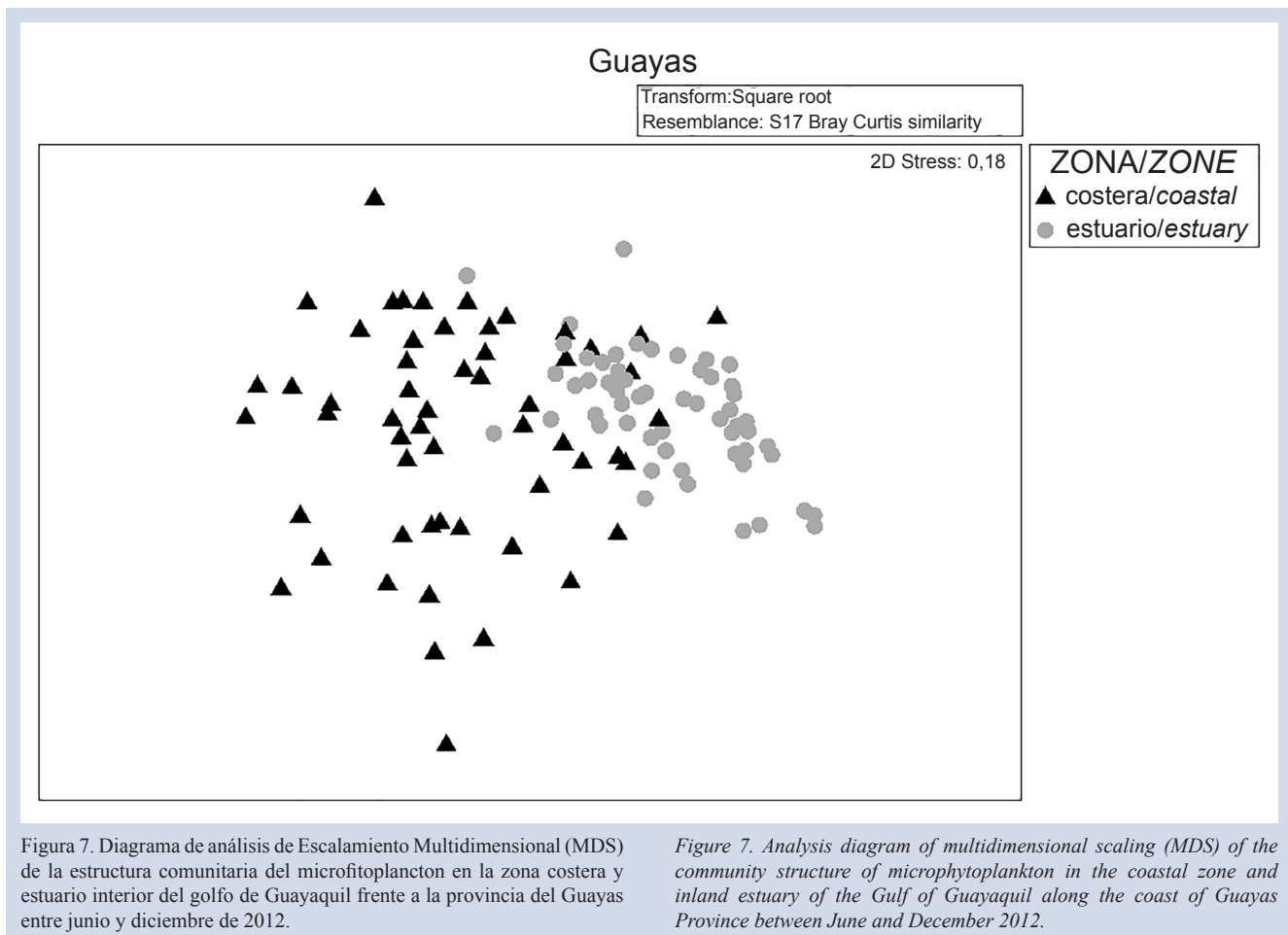


Figura 7. Diagrama de análisis de Escalamiento Multidimensional (MDS) de la estructura comunitaria del microfitoplancton en la zona costera y estuario interior del golfo de Guayaquil frente a la provincia del Guayas entre junio y diciembre de 2012.

Figure 7. Analysis diagram of multidimensional scaling (MDS) of the community structure of microphytoplankton in the coastal zone and inland estuary of the Gulf of Guayaquil along the coast of Guayas Province between June and December 2012.

Al realizar el análisis de porcentajes de similitudes (SIMPER) para explorar los aspectos de la estructura interna de las zonas del estuario interior y costera, se notaron diferencias entre las dos zonas, distinguiéndose a *Paralia sulcata*, *Nitzschia longissima*, *Skeletonema costatum* y *Guinardia striata* como las especies que más contribuyeron a separar las zonas (Tabla 2).

El análisis de redundancia (RDA) permitió estudiar la relación entre la estructura de microfitoplancton y las variables ambientales del estuario interior y zona costera, mostrando una correlación de 0.54 y 0.58 en los dos primeros

When similarities percentages (SIMPER) were analyzed to explore aspects of the internal structure of the inner and coastal estuary areas, differences were noted between the two zones. *Paralia sulcata*, *Nitzschia longissima*, *Skeletonema costatum*, and *Guinardia striata* were the species that contributed the most to separating the zones (Table 2).

The redundancy analysis (RDA) allowed the relationship between the microphytoplankton structure and the environmental variables of the interior estuary and coastal zone to be studied, showing a correlation of 0.54

Tabla 2. Resumen del análisis SIMPER de las especies de microfitorplancton en la zona costera y estuario interior del golfo de Guayaquil frente a la provincia del Guayas entre junio y diciembre de 2012.

Table 2. Summary of the SIMPER analysis of the microphytoplankton species in the coastal zone and inland estuary of the Gulf of Guayaquil along the coast of Guayas Province between June and December 2012.

Especies / Species	Zona costera / Coastal Zone	Estuario interior / Inner Estuary	Contribución / Contribution (%)	Acumulación / Accumulation (%)
	Abundancia Promedio / Average abundance	Abundancia Promedio / Average Abundance		
<i>Paralia sulcata</i>	140.88	444.9	12.46	12.46
<i>Nitzschia longissima</i>	273.91	150.51	7.64	20.1
<i>Skeletonema costatum</i>	107.98	196.24	6.2	26.3
<i>Thalassionema frauenfeldianum</i>	80.24	210.5	6.17	32.47
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	98.18	205.26	5.62	38.09
<i>Guinardia striata</i>	127.73	33.73	4.31	42.41
<i>Melosira moniliformis</i>	18.35	117.61	4.02	46.43
<i>Leptocylindrus danicus</i>	114.01	39.13	3.78	50.21
<i>Navicula transitrans var. derasa</i>	86.83	110.09	3.6	53.81
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	25.26	92.73	3.32	57.13
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	26.52	85.84	3.21	60.33

componentes con un análisis de Montecarlo significativo ($p < 0.05$). En el primer componente se observó una elevada correlación positiva de las diatomeas *Paralia sulcata*, *T. nitzschioides*, *T. frauenfeldianum*, *Navicula transitrans* y *Skeletonema costatum*, con los nutrientes y correlación negativa con la salinidad. En el segundo componente se correlacionaron en forma significativa *Guinardia striata*, *Cerataulina pelagica*, *Nitzschia longissima*, *Chaetoceros decipiens* y *Navicula transitrans var. derasa* con la temperatura y a su vez en forma inversa al oxígeno disuelto (Figura 8a).

En la zona del estuario interior, se evidenció una correlación entre especies y ambiente de 0.64 para los dos primeros componentes y el test de Montecarlo fue significativo ($p < 0.05$). En el primer eje se asociaron *N. longissima*, *C. decipiens*, *S. costatum* a temperatura y en menor grado a nitrato, en relación negativa a *Coscinodiscus radiatus* y *Melosira moniliformis* con fosfato y nitrato. En el segundo componente, el silicato estuvo correlacionado en forma inversa con las diatomeas *T. frauenfeldianum*, *Thalassiosira limnetica*, *P. sulcata*, *N. transitrans* y el dinoflagelado *Gyrodinium sp.*, las cuales estuvieron relacionadas en forma significativa a salinidad y oxígeno disuelto (Figura 8b).

and 0.58 in the first two components with a significant Monte Carlo analysis ($p < 0.05$). In the first component, a high positive correlation was observed for diatoms *Paralia sulcata*, *T. nitzschioides*, *T. frauenfeldii*, *Navicula transitrans*, and *Skeletonema costatum*, with nutrients and negative correlation with salinity. In the second component, *Guinardia striata*, *Cerataulina pelagica*, *Nitzschia longissima*, *Chaetoceros decipiens*, and *Navicula transitrans var. derasa* were significantly correlated with temperature, and in turn, they were inversely related to dissolved oxygen (Figure 8a).

In the interior estuary, a correlation of 0.64 was found between the species and environment for the first two components, and the Monte Carlo test was significant ($p < 0.05$). In the first axis, *N. longissima*, *C. decipiens*, and *S. costatum* were associated with temperature and, to a lesser extent, nitrate; *Coscinodiscus radiatus* and *Melosira moniliformis* were negatively related to phosphate and nitrate. In the second component, the silicate was inversely correlated with the diatoms *T. frauenfeldii*, *Thalassiosira limnetica*, *P. sulcata*, and *N. transitrans*, and the dinoflagellate *Gyrodinium sp.*, which, in turn, were significantly related to salinity and dissolved oxygen (Figure 8b).

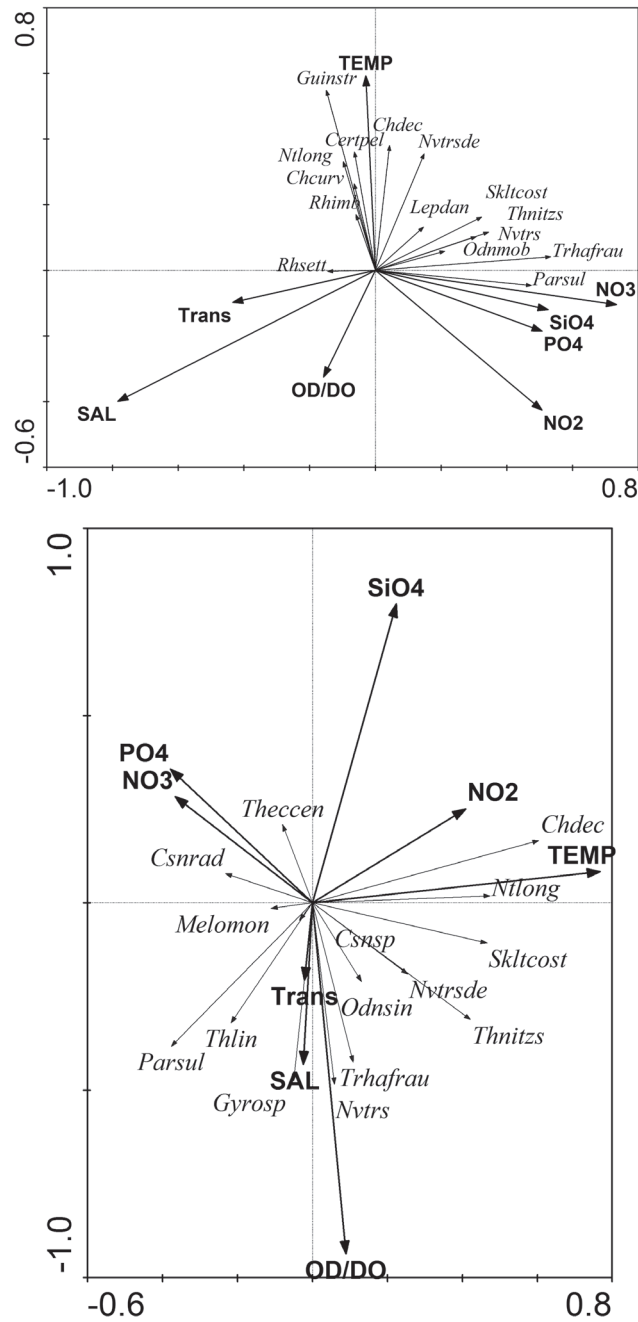


Figura 8. Proyección ortogonal del análisis de redundancia en a) zona costera y b) estuario interior del Golfo de Guayaquil frente a la provincia del Guayas entre junio y diciembre de 2012. Donde: TEMP: temperatura; SAL: salinidad; OD: oxígeno disuelto; NO2: nitrito; NO3: nitrato; PO4:fosfato; SiO4:silicato; Theccen: *Thalassionema eccentrica*; Csnrad: *Coscinodiscus radiatus*; Melomon: *Melosira moniliformis*; Parsul: *Paralia sulcata*; Thlin: *Thalassiosira linnetica*; Csnsp: *Coscinodiscus sp.*; Chdec: *Chaetoceros decipiens*; Nlong: *Nitzschia longissima*; Odsin: *Odontella sinensis*; Guinstr: *Guinardia striata*; Cerpel: *Cerataulina pelagica*; Rhimb: *Rhizosolenia imbricata*; Chcurv: *Chaetoceros curvisetus*; Navtransde: *Navicula transitrans var. derasa*; Navtrans: *Navicula transitrans*; Lepdan: *Leptocylindrus danicus*; Sklcos: *Skeletonema costatum*; Thnitzs: *Thalassiosira nitzschoides*; Odmob: *Odontella mobiliensis*; Thfrau: *Thalassionema frauenfeldianum*.

Figure 8. Orthogonal projection of the redundancy analysis in the a) coastal zone and b) interior estuary of the Gulf of Guayaquil along the coast of Guayas Province between June and December of 2012. TEMP: temperature; SAL: salinity; DO: dissolved oxygen; NO2: nitrite; NO3: nitrate; PO4: phosphate; SiO4: silicate; Theccen: *Thalassionema eccentrica*; Csnrad: *Coscinodiscus radiatus*; Melomon: *Melosira moniliformis*; Parsul: *Paralia sulcata*; Thlin: *Thalassiosira linnetica*; Csnsp: *Coscinodiscus sp.*; Chdec: *Chaetoceros decipiens*; Nlong: *Nitzschia longissima*; Odsin: *Odontella sinensis*; Guinstr: *Guinardia striata*; Cerpel: *Pelagic Cerataulina*; Rhimb: *Rhizosolenia imbricata*; Chcurv: *Chaetoceros curvisetus*; Navtransde: *Navicula transitrans var. derasa*; Navtrans: *Navicula transitrans*; Lepdan: *Leptocylindrus danicus*; Sklcos: *Skeletonema costatum*; Thnitzs: *Thalassiosira nitzschoides*; Odmob: *Odontella mobiliensis*; Thfrau: *Thalassionema frauenfeldii*.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los procesos de eutrofización a los que están siendo sometidos los estuarios en las últimas décadas han sido ampliamente discutidos por muchos autores, no solo por los aportes sólidos y líquidos provenientes de los procesos naturales de los ríos que descargan sus aguas en ellos, sino por el elevado contenido de nutrientes que se originan como consecuencia de las actividades antrópicas. Esta interacción conlleva a procesos físicos como turbidez y procesos biogeoquímicos que generan un efecto en la composición y abundancia del microfitoplancton, con la consecuente afectación a las pesquerías, acuicultura y turismo (Alpine and Cloern, 1992; Paerl *et al.*, 2014).

En el presente estudio, las diferencias en las condiciones hidrográficas de la zona costera y estuario interior son claras, evidenciadas por las relaciones entre nutrientes, salinidad y transparencia que son diferentes para cada zona; sin embargo, también se demuestra la existencia de una interacción entre ambas debido a los aportes del estuario del golfo de Guayaquil, los cuales tienen un gran alcance que afecta gran parte del área costera (Chiriguaya y Burgos, 1990; Torres *et al.*, 2003), además del intercambio con la zona oceánica debido al amplio régimen de mareas en la costa ecuatoriana (Fiedler y Talley, 2006). Al realizar el análisis de las variables hidrográficas en el estuario interior, la relación inversa que existió entre salinidad y oxígeno disuelto frente a las concentraciones de silicato, son evidencia de la influencia continental a través de los ríos que llevan consigo gran cantidad de sedimentos y aguas turbias, que muestran actividad en los procesos biogeoquímicos. Resultados similares han sido referidos por O'Boyle y Silke (2010) y Cloern *et al.* (2014), quienes destacaron las bajas concentraciones de oxígeno disuelto en estuarios.

En cuanto a la condición trófica del área de estudio, el aporte de nutrientes de origen continental en el área de estudio fue significativo; no obstante, los niveles alcanzados no llegaron a valores que indiquen un proceso de eutrofización, lo que podría ser resultado de la localización de las estaciones de muestreo, puesto que fueron ubicadas a una milla de distancia del margen continental, donde hay mucho intercambio por la dinámica de flujo de mareas (Twilley *et al.*, 2001; Fiedler y Talley, 2006). Sin embargo, el registro de valores superiores a 3 unidades Karydis en nitrógeno y fósforo en las estaciones ubicadas en el estuario interior del Golfo de Guayaquil, es indicativo de que esta zona está en el límite de pasar del estado mesotrófico al

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The eutrophication processes undergone by estuaries in recent decades have been widely discussed by many authors; these processes occur not only because of the solid and liquid contributions from the natural processes of the rivers that discharge their waters into them but also from the high nutrient content that originates in anthropic activities. This interaction leads to physical processes such as turbidity and biogeochemical processes that generate an effect on the composition and abundance of microphytoplankton, with consequent effects on fisheries, aquaculture, and tourism (Alpine and Cloern, 1992; Paerl *et al.*, 2014).

In the present study, the differences in the hydrographic conditions of the coastal zone and estuary are clear, indicated by the relations among the nutrients, salinity, and transparency that are different for each zone; however, an interaction exists between the zones due to the contributions of the Bay of Guayaquil Estuary, which have a wide reach that affects much of the coastal area (Chiriguaya and Burgos, 1990; Torres *et al.*, 2003), as well as the exchange with the oceanic zone due to the extensive tidal regime on the Ecuadorian coast (Fiedler and Talley, 2006). When the hydrographic variables in the inner estuary were analyzed, the inverse relation between the salinity and dissolved oxygen versus the silicate concentrations is evidence of continental influences across rivers that carry large amounts of sediment and turbid water, which show activity in the biogeochemical processes. Similar results have been reported by O'Boyle and Silke (2010) and Cloern *et al.* (2014), who emphasized the low concentrations of dissolved oxygen in estuaries.

As for the trophic condition of the study area, the contribution of nutrients of continental origin in the study area was significant; however, the levels reached did not indicate eutrophication, which could result from the location of the sampling stations, as they were located 1 mile from the continental margin, where exchange is high due to the dynamic tidal flow (Twilley *et al.*, 2001; Fiedler and Talley, 2006). However, recorded values greater than 3 Karydis units in nitrogen and phosphorus at the stations located in the interior estuary of the Gulf of Guayaquil indicate that this zone is at the limit of passing from the mesotrophic to the eutrophic state, an important aspect to consider for the management of this area. In this regard, Herrera-Silveira *et al.* (2002) and Herrera-Silveira and

eutrófico, por lo que es un aspecto relevante a considerar para el manejo de esta zona. Al respecto, Herrera-Silveira *et al.* (2002) y Herrera-Silveira y Morales-Ojeda (2009) recomiendan la utilización de categorías intermedias (oligomesotrófica y mesoeutrófica) debido a que el índice Karydis con sólo tres niveles, no permite detectar tendencias de un nivel a otro como índices más avanzados de detección del estado trófico, metodología que podría considerarse en investigaciones futuras. En ese sentido, estudios realizados en bahía de Cienfuegos en Cuba, a pesar de que todos los nutrientes presentaron un índice trófico menor a 3, fue considerada mesotrófica (Seisdedo *et al.*, 2010). Tapia-González *et al.* (2008) en una laguna costera de México, obtuvieron niveles mayores a 3, por lo que calificaron a la laguna como mesoeutrófica en nitrato y silicato; resultados que son similares a los promedios encontrados en el estuario interior del Guayas. Estos niveles no son alarmantes, pero constituyen indicios de un estado inicial de eutrofización producido por los aportes fluviales, exacerbados por actividades antrópicas, que requieren evaluación a mediano plazo para ejercer planes de control (Cloern *et al.*, 2016).

Por otra parte, los mayores registros de diversidad se registraron en octubre y los menores en agosto; así mismo que en la zona costera la diversidad fue más elevada que en el estuario interior, lo que se debería a la gran turbidez que existe en esta última zona, la cual sería originada por el aporte de materiales alóctonos, que provendrían de los ríos aportantes, puesto que normalmente los ecosistemas acuáticos tropicales, especialmente los de baja altura como ríos y estuarios, son muy turbios debido al arrastre de materiales producido por la alta lixiviación que se da en estas regiones. Esta turbiedad impide el paso de luz, situación que incide directamente en la productividad y en el flujo de energía del ecosistema, puesto que afecta el desarrollo y diversidad fitoplanctónica (Roldán y Ramírez, 2008).

Es importante considerar que al establecer las correlaciones entre especies fitoplanctónicas y ambiente, se evidenciaron procesos independientes; es decir, en la zona costera se demostró que predominaron *Paralia sulcata*, *T. fraudeldianum*, *Skeletonema costatum*, *T. nitzschoides*, que son tolerantes a amplios ámbitos de salinidad, además de estar asociadas a zonas con importantes aportes de nutrientes (Pednekar *et al.*, 2014; Rakshit *et al.*, 2015), como es la tendencia normal del ecosistema del golfo de Guayaquil (Chiriguaya y Burgos, 1990; Gualancañay *et al.*, 2003; Jiménez, 2008). Mientras que especies como *Guinardia striata*, *Cerataulina pelagica*, *C. decipiens*

Morales-Ojeda (2009) recommend the use of intermediate categories (oligomesotrophic and mesoeutrophic) because, with only three levels, the Karydis index does not allow detection of trends from one level to another as all allowed with more advanced detection indexes of trophic status, a methodology that could be considered in future research. In this sense, studies showed that Cienfuegos Bay in Cuba was considered mesotrophic (Seisdedo *et al.*, 2010) even though all nutrients presented a trophic index of less than 3. In a coastal lagoon in Mexico, Tapia-González *et al.* (2008) obtained levels higher than 3, which is why they described the lagoon as mesoeutrophic in nitrate and silicate; these results are similar to the averages found in the interior estuary of Guayas. The levels are not alarming, but they indicate of an initial state of eutrophication produced by river inputs that are exacerbated by anthropogenic activities, requiring medium-term evaluation to exercise control plans (Cloern *et al.*, 2016).

On the other hand, the greatest diversity was recorded in October, with the lowest in August; Likewise, in the coastal zone, the diversity was higher than in the interior estuary, which is attributable to the great turbidity that exists in this latter zone and originates from the contribution of alien materials from contributing rivers because tropical aquatic ecosystems, especially those at low altitudes, such as rivers and estuaries, are usually very muddy due to the high material leaching that occurs in these regions. This turbidity prevents the passage of light, a situation that directly affects the productivity and energy flow of the ecosystem, as it affects phytoplankton development and diversity (Roldán and Ramírez, 2008).

When establishing correlations between phytoplankton species and the environment, evidence of independent processes is important to consider. In other words, in the coastal zone, *Paralia sulcata*, *T. frauenfeldii*, *Skeletonema costatum*, and *T. nitzschoides* were tolerant to wide areas of salinity as well as being associated to areas with important nutrient inputs (Pednekar *et al.*, 2014; Rakshit *et al.*, 2015), as is the normal tendency of the ecosystem of the Gulf of Guayaquil (Chiriguaya and Burgos, 1990; Gualancañay *et al.*, 2003; Jimenez, 2008). *Guinardia striata*, *Cerataulina pelagica*, and *C. decipiens*, in contrast, would be associated with waters of low temperature and high concentrations of dissolved oxygen, which are representative of the flow of the Humboldt current (Okuda *et al.*, 1983; Macias, 1999; Pennington *et al.*, 2006).

estarían asociadas a aguas de temperatura baja y elevadas concentraciones de oxígeno disuelto, que representan el flujo de la corriente de Humboldt (Okuda *et al.*, 1983; Macías, 1999; Pennington *et al.*, 2006).

En la zona estuarina, el RDA mostró en el primer componente, la relación de *C. decipiens* y *Nitzschia longissima* asociadas a temperatura y nitrito, en correlación inversa a nitrato y fosfato; todas estas relaciones indicarían actividad en procesos biogeoquímicos que son típicas de estuarios (Huisman *et al.*, 2004) y especies como *Coscinodiscus radiatus* y *Melosira moniliformes* son indicadoras de zonas con elevadas concentraciones de nutrientes (De *et al.*, 2015). Mientras que en el componente 2, la presencia de especies asociadas a baja salinidad y oxígeno disuelto, así como a elevado silicato, como *P. sulcata*, *T. limnetica*, *N. transitrans* y *Gyrodinium* sp., indican los aportes fluviales, como fuente principal en el proceso de eutrofización (Day *et al.*, 1989; Ninčević-Gladan *et al.*, 2015).

Es importante señalar a pesar de que las zonas costera y estuarina del área de estudio están en constante interacción, es posible distinguir las especies características de cada área, apreciándose que la comunidad del estuario es más homogénea que la de la zona costera, y se explica porque el estuario interior está sometido a alta turbulencia, por tanto las especies están limitadas en intensidad lumínica y adaptadas a bajas concentraciones de oxígeno, por lo que *Paralia sulcata*, *Skeletonema costatum* y *T. nitzschioides*, que han sido registradas como indicadoras de aguas eutróficas (Huisman *et al.*, 2004; Garmendia *et al.*, 2013), deben ser consideradas para estudios de línea base ambiental y de monitoreos ambientales en la interacción entre estuarios y zona costera.

En síntesis, las condiciones hidrográficas en la zona costera y estuario interior del golfo de Guayaquil, frente a la provincia de Guayas, fueron diferentes en la estructura, abundancia y diversidad del microfitoplancton. En la zona costera las especies dominantes fueron *Nitzschia longissima*, *Guinardia striata*, *Leptocylindrus danicus* y en el estuario interior *S. costatum*, *Thalassionema frauenfeldianum* y *T. nitzschioides*, que son especies más tolerantes a condiciones de turbulencia, baja de oxígeno y poca intensidad lumínica (Huisman *et al.*, 2004).

Además, se determinó a toda la zona de estudio como mesotrófica, no obstante, en el estuario interior los valores fueron más elevados debido probablemente a que recibe de manera más directa los aportes provenientes de las actividades antrópicas, y aunque los niveles tróficos no

In the estuarine zone, for the first component, the RDA showed *C. decipiens* and *Nitzschia longissima* to be associated to the temperature and nitrite, while showing an inverse correlation to nitrate and phosphate; these relations would indicate activity in biogeochemical processes that are typical of estuaries (Huisman *et al.*, 2004), and species such as *Coscinodiscus radiatus* and *Melosira moniliformis* are indicative of areas with high nutrient concentrations (De *et al.*, 2015). In component 2, species associated with low salinity and dissolved oxygen, as well as to high silicate, are present, such as *P. sulcata*, *T. limnetica*, *N. transitrans*, and *Gyrodinium* sp., which indicate that fluvial contributions are the main source of eutrophication (Day *et al.*, 1989; Ninčević-Gladan *et al.*, 2015).

Importantly, although the coastal and estuarine areas of the study area are in constant interaction, the characteristic species of each area can be distinguished, with the estuarine community being more homogeneous than the coastal zone. This is because the estuary is subject to high turbulence; thus, species are limited in terms of light intensity and are adapted to low oxygen concentrations. Therefore, *Paralia sulcata*, *Skeletonema costatum*, and *T. nitzschioides*, which have been registered as indicators of eutrophic waters (Huisman *et al.*, 2004; Garmendia *et al.*, 2013), should be considered for environmental baseline studies and environmental monitoring of the interaction between estuaries and coastal zone.

In summary, when compared to the Guayas Province, the hydrographic conditions in the coastal zone and inland estuary of the Gulf of Guayaquil were different in the structure, abundance, and diversity of microphytoplankton. In the coastal zone, the dominant species were *Nitzschia longissima*, *Guinardia striata*, and *Leptocylindrus danicus*, and in the interior estuary, *S. costatum*, *Thalassionema frauenfeldii*, and *T. nitzschioides*, which are more tolerant to turbulence, low oxygen, and low light intensity (Huisman *et al.*, 2004).

In addition, the entire study area was determined to be mesotrophic; however, the values in the inner estuary were higher, probably because the estuary receives contributions from anthropic activities more directly, and although the trophic levels 1.8 km from the coastal margin in front of Guayas Province did not indicate eutrophication, studies are recommended at a distance of approximately 500 m to reflect the situation of the ecosystem in an area closer to the coast; in addition, management plans should be developed to avoid situations where contributions from

indicaron eutrofización a 1.8 km del margen costero frente a la provincia del Guayas, se recomienda efectuar estudios a una distancia aproximada de 500 m, de modo que se refleje la situación del ecosistema en un área más cercana a la costa, y además desarrollar planes de manejo para evitar que los aportes provenientes de las cuencas de drenaje y de asentamientos urbanos incrementen la condición trófica costera.

AGRADECIMIENTOS

A Pilar Solís, Directora del Instituto Nacional de Pesca (INP) por el apoyo al desarrollo del presente trabajo y por su colaboración en la revisión de la versión preliminar. También a Mario Hurtado y Esteban Elías por la elaboración del mapa de este manuscrito. Este trabajo fue realizado con datos del proyecto “Condiciones biológica-pesqueras y artes de pesca en la franja marino costera dentro la primera milla náutica de la costa ecuatoriana” del INP, el cual fue financiado por la Secretaría Nacional de Educación Superior Ciencia Tecnología e Innovación (SENESCYT) de Ecuador.

drainage basins and urban settlements increase coastal trophic conditions.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Pilar Solís, Director of the National Fisheries Institute (Instituto Nacional de Pesca, INP) for supporting the development of this work and for her collaboration in the revision of the preliminary version. Additionally, we thank Mario Hurtado and Esteban Elías for the elaboration of the map of this manuscript. This work was carried out with data from the project “Condiciones biológica-pesqueras y artes de pesca en la franja marino costera dentro la primera milla náutica de la costa ecuatoriana” [Biological-fishing conditions and fishing techniques in the coastal marine strip within the first nautical mile of the Ecuadorian coast] of the INP, which was financed by the National Secretariat of Higher Education Science Technology and Innovation (SENESCYT) of Ecuador.

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Alpine, A. and J.E. Cloern. 1992. Trophic interactions and direct physical effects control phytoplankton biomass and production in an estuary. *Limnol. Oceanogr.*, 37: 946-955.
- Bérnard-Therriault, L., M. Poulin et L. Bossé. 1999. Guide d'identification du phytoplancton marin de l'estuarie et du golfe du Saint-Laurent. Incluant également certains protozoaires. *Publ. Esp. Can. Sci. Halieut. Aquat.*, 128, 387 p.
- Birk, S., W. Bonne, A. Borja, S. Brucet, A. Courrat and S. Poikane. 2012. Three hundred ways to assess Europe's surface waters: an almost complete overview of biological methods to implement the Water Framework Directive. *Ecol. Ind.*, 18: 31-41.
- Boyer, J., J. Fourqrean and R. Jones. 1997. Spatial characterization of water quality in Florida Bay and Whitewater Bay by multivariate analyses: Zones of similar influence. *Estuaries*, 20: 743-758.
- Chiriguaya, J. y L. Burgos. 1990. Variaciones verticales y su relación con algunos parámetros físico-químicos en una estación fija en el área externa del golfo de Guayaquil. *Acta Oceanogr. Pacific.*, 61: 32-40.
- Cleve, A. 1951. Die diatomeen von Schweden and Finnland. *Alqunvist and wikselle boktrycheri*. Sheridan Press, Hanover. 251 p.
- Cloern, J. and A. Jassby. 2010. Patterns and scales of phytoplankton variability in estuarine-coastal ecosystems. *Estuar. Coast.*, 33: 230-241.
- Cloern, J., S. Foster and A. Kleckner. 2014. Phytoplankton primary production in the world's estuarine-coastal ecosystems. *Biogeosciences*, 119: 2477-2501.
- Cloern, J., P. Abreu, J. Carstensen, L. Chauvaud, R. Elmgren, J. Grall and J. Xu. 2016. Human activities and climate variability drive fast-paced change across the world's estuarine-coastal ecosystems. *Global Change Biol.*, 222: 513-529.
- Coello, D., M. Prado, M. Cajas y L. Cajas. 2010. Variabilidad del plancton en estaciones fijas frente a la costa ecuatoriana. *Rev. Cienc. Mar Limnol.*, 42: 23-43.
- Cupp, E. 1943. Marine plankton of the west North America. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr. Techn. Serv.*, 5: 1-238.
- Day, J., C. Hall, M. Kemp and A. Yáñez-Arancibia. 1989. *Estuarine ecology*. Wiley, New York. 558 p.
- De, T., A. Mukherjee, S. Das, M. De and T.K. Maiti. 2015. Interrelationship between planktonic diatoms and selected governing physicochemical parameters of the Hooghly estuary, Bay of Bengal. *Int. J. Mar. Sci.*, 547: 1-9.
- Dutto, M., G. Kopprio, M. Hoffmeyer, T. Alonso, M. Graeve and G. Kattner. 2014. Planktonic trophic interactions in a human-impacted estuary of Argentina: a fatty acid marker approach. *J. Plank. Res.*, 36 (3): 776-787.
- Eidler, L. and M. Elbrächter. 2010. The Utermöhl method for quantitative phytoplankton analysis. *Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis*, 110. Unesco, Paris.



- Fiedler, P. and L. Talley. 2006. Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. *Prog. Oceanogr.*, 69: 143-180.
- Garmendia, M., A. Borja, J. Franco and M. Revilla. 2013. Phytoplankton composition indicators for the assessment of eutrophication in marine waters: present state and challenges within the European directives. *Mar. Pollut. Bull.*, 661: 7-16.
- Gualancañay, E., M.E. Tapia y C. Naranjo. 2003. Composición y variación estacional del microfitoplancton, zooplancton y microbentos en el estuario interior del golfo de Guayaquil. *Acta Oceanogr. Pacific.*, 121: 103-128.
- Hammer, Ø., D. Harper and P. Ryan. 2001. Paleontological statistics software: package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron.*, 4: 1-9.
- Hays, G., A. Richardson and C. Robinson. 2005. Climate change and marine plankton. *Trends Ecol. Evol.*, 20: 337-344.
- Herrera-Silveira, J. and S. Morales-Ojeda. 2009. Evaluation of the health status of a coastal ecosystem in southeast Mexico: Assessment of water quality, phytoplankton and submerged aquatic vegetation. *Mar. Poll. Bull.*, 59(1): 72-86.
- Herrera-Silveira, J., I. Medina-Gómez and R. Colli. 2002. Trophic status based on nutrient concentration scales and primary producers community of tropical coastal lagoons influenced by groundwater discharges. *Hydrobiologia*, 475(1): 91-98.
- Herrera-Silveira, J., F. Comin, N. Aranda-Cyrerol, L. Troccoli and L. Capurro. 2004. Coastal water quality assessment in the Yucatan Peninsula: management and implications. *Ocean Coast. Manage.*, 47: 625-639.
- Huisman, J., J. Sharples, J. Stroom, P. Visser, W. Kardinaal and J. Verspagen. 2004. Changes in turbulent mixing shift competition for light between phytoplankton species. *Ecology*, 85: 2960-2970
- Jiménez, R. 1983. Diatomeas y silicoflagelados del microfitoplancton del golfo de Guayaquil. *Acta Oceanogr. Pacific.*, 22: 193-281.
- Jiménez, R. 2008. Aspectos biológicos de El Niño en el Océano Pacífico Ecuatorial. Ed. Univ. Guayaquil. 329 p.
- Johnson, R. and D. Wichern. 1992. Applied multivariate statistical analysis. 3th ed. Prentice-Hall. New Jersey. 312 p.
- Karydis, M. 1992. Scaling methods in assessing environmental –quality- a methodological approach to eutrophication. *Environ. Monit. Assess.*, 22: 123-136.
- Krebs, C. 1999. Ecological methodology. Benjamin/Cumming. California. 760 p.
- Macías, P. 1999. Condiciones hidroquímicas frente al Ecuador en el período 1995-1999. *Bol. Esp. INP Ecuador*, 1: 39-71.
- Montaño Armijos, M. y T. Sanfeliu Montolio. 2008. Ecosistema Guayas Ecuador: Medio ambiente y sostenibilidad. *Rev. Tecnol. ESPOL*, 211: 1-6.
- Moreno, D., J. Quintero y A. López. 2010. Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *Rev. Contactos*, 78: 25-33.
- Muylaert, K., K. Sabbe and W. Vyerman. 2009. Changes in phytoplankton diversity and community composition along the salinity gradient of the Schelde estuary Belgium/The Netherlands. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 82: 335-340.
- Nelson, J., L. Deegan and R. Garritt. 2015. Drivers of spatial and temporal variability in estuarine food webs. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 533: 67-77.
- Ninčević-Gladan, Ž., M. Bužančić, G. Kušpilić, B. Grbec, S. Matijević, S. Skejić and M. Morović. 2015. The response of phytoplankton community to anthropogenic pressure gradient in the coastal waters of the eastern Adriatic Sea. *Ecol. Indic.*, 56: 106-115.
- Nixon, S.W. 1995. Coastal eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia* 41: 199-220.
- O'Boyle, S. and J. Silke. 2010. A review of phytoplankton ecology in estuarine and coastal waters around Ireland. *J. Plank. Res.*, 32 (1): 99-118.
- Okuda, T., R. Trejos, M. Valencia y A. Rodríguez. 1983. Variación estacional de la posición del frente ecuatorial y su efecto sobre la fertilidad de las aguas superficiales ecuatorianas. *Acta Oceanogr. Pac.*, 21: 53-84.
- Paerl, H., N. Hall, B. Peierls and K. Rossignol. 2014. Evolving paradigms and challenges in estuarine and coastal eutrophication dynamics in a culturally and climatically stressed world. *Estuar. Coast.*, 372: 243-258.
- Parsons, T., Y. Maita and C. Lally. 1984. A manual of chemical and biological methods of seawater analysis. Pergamon, Oxford. 189 p.
- Pednekar, S., V. Kerkar and S. Matondkar. 2014. Spatiotemporal distribution in phytoplankton community with distinct salinity regimes along the Mandovi estuary, Goa, India. *Turk. J. Bot.*, 384: 800-818.
- Pennington, T., K. Mahoney, V. Kuwahara, D. Kolber, R. Calienes and F. Chávez. 2006. Primary production in the eastern tropical Pacific: A review. *Prog. Oceanogr.*, 69: 285-317.
- Prado, M. y J. Cajas. 2010a. Variabilidad del plancton en estaciones fijas frente a la costa ecuatoriana durante 2007. *Rev. Cienc. Mar Limnol. INP-Ecuador*, 43: 59-69.
- Prado, M. y J. Cajas. 2010b. Variabilidad del plancton en estaciones fijas frente a la costa ecuatoriana durante 2009. *Rev. Cienc. Mar Limnol. INP-Ecuador*, 43: 23-31.
- Prado, M., L. Troccoli y E. Moncayo. 2015. Cambios estructurales del microfitoplancton en la zona costera de la provincia El Oro-Ecuador en temporada seca. *Bol. Inst. Oceanogr. Ven.*, 542: 139-152.
- Rakshit, D., S. Sarkar, B. Bhattacharya, M. Jonathan, J. Biswas, P. Mondal and S. Mitra, S. 2015. Human induced ecological changes in western part of Indian Sundarban megadelta: A threat to ecosystem stability. *Mar. Pollut. Bull.*, 991: 186-194.
- Rendón, M., N. de Padilla y E. Pérez. 1983. Estudio preliminar de los ríos de la región litoral de Ecuador. *Rev. Cienc. Mar Limnol. INP. Ecuador*, 21: 179-222.
- Reynolds, C. 2006. The ecology of phytoplankton. Cambridge Univ. Press., 551 p.

- Roldán, G. y J. Ramírez. 2008. Fundamentos de limnología neotropical. Seg. ed. Univ. Antioquia, Medellín. 440 p.
- San Martín, V. 2009. Golfo de Guayaquil. Capítulo 3. Zona de estudio. Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL. DSpace en ESPOL. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/5234/3/8719.pdf>. 01/10/2016
- Seisdedo, M., I. Pérez, G. Arancibia y A. Moreira, A. 2010. Análisis comparativo del estado trófico de las aguas en la costa oriental de la provincia de Cienfuegos, Cuba. *Rev. Invest. Mar.*, 312: 124-130.
- Schiller, J. 1971. Dinoflagellate (Peridinae) in monographischer Behandlung. 2 Teil. Kryptogamen-Flora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz. Johnson Repr. Corp., New York. 316 p.
- Sheskin, D. 2004. Parametric and nonparametric statistical procedures. Chapman and Hall, Boca Raton, USA. 423 p.
- Tapia-González, F., J. Herrera-Silveira and M. Aguirre-Macedo. 2008. Water quality variability and eutrophic trends in karstic tropical coastal lagoons of the Yucatán Peninsula. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 76: 418-430.
- ter Braak, C. and P. Verdonschot. 1995. Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquat. Sci.*, 57: 255-289.
- Tomas, C. 1997. Identifying marine diatoms and dinoflagellates. Academic Press, New York. 265 p.
- Torres, G., G. Calderón, V. Franco, E. Cedeño, T. Calderón y E. Salazar. 2003. Composición del plancton en la Puntilla de Santa Elena, durante agosto del 2002 Ecuador. *Acta Oceanogr. Pacific.*, 12: 63-73.
- Tsirtsis, G. and M. Karydis. 1998. Evaluation of phytoplankton community indices for detecting eutrophic trends in the marine environment. *Environ. Monit. Assess.*, 50: 255-269.
- Twilley, R., W. Cárdenas, V. Rivera-Monroy, J. Espinoza, R. Suescum, M. Armijos and L. Solórzano. 2001. The Gulf of Guayaquil and the Guayas river estuary, Ecuador: 245-263. In: *Coastal Marine Ecosystems of Latin America*. Springer, Berlin Heidelberg.
- Vinagre, C. and M.J. Costa. 2014. Estuarine-coastal gradient in food web network structure and properties. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 503:11-21.
- Vollenweider, R.A. 1992. Coastal marine eutrophication: principles and control. In: Vollenweider, R. A., R. Marchetti and R. Viviani (Eds.). *Marine coastal eutrophication. The response of marine transitional systems to human impact: Problems and perspectives coastal eutrophication. Science of the total environment supplement*.
- Zar, J. 1996. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall, New Jersey. 940 p.

RECIBIDO/ RECEIVED: 10/11/2016

ACEPTADO/ ACCEPTED: 27/08/2017

Anexo 1. Listado de especies del microfitoplancton identificado frente a la provincia del Guayas entre junio y diciembre del 2012.

- Diatomeas pennadas**
- 1 *Achnanthes* sp.
 - 2 *Amphora* cf. *arenicula*
 - 3 *Amphora macilenta* Gregory
 - 4 *Amphora* sp.
 - 5 *Asterionellopsis glacialis* (Castracane) F. E. Round
 - 6 *Bacillaria paxillifera* (O. F. Müller) Hendey
 - 7 *Climacosphenia monilifera* Ehrenberg
 - 8 *Cocconeis placentula* Ehrenberg
 - 9 *Cocconeis pseudomarginata* Gregory
 - 10 *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin
 - 11 *Diploneis bombus* Ehrenberg
 - 12 *Diploneis bombus* var. *bombiformis* (Cleve) Hustedt
 - 13 *Diploneis* sp.
 - 14 *Diploneis splendida* Cleve
 - 15 *Entomoneis alata* (Ehrenberg) Ehrenberg
 - 16 *Fragilariopsis doliolus* (Wallich) Medlin & Sims
 - 17 *Gyrosigma balticum* (Ehrenberg) Rabenhorst
 - 18 *Gyrosigma fasciola* (Ehrenberg) J. W. Griffith & Henfrey
 - 19 *Lioloma delicatulum* (Cupp) Hasle
 - 20 *Lioloma pacificum* (Cupp) Hasle
 - 21 *Meuniera membranacea* (Cleve) P. C. Silva
 - 22 *Navicula cruciculoides* C. Brockmann
 - 23 *Navicula directa* (W. Smith) Ralfs
 - 24 *Navicula distans* (W. Smith) Ralfs
 - 25 *Navicula lanceolata* Ehrenberg
 - 26 *Navicula* sp.
 - 27 *Navicula transitrans* var. *derasa* (Grunow) Cleve
 - 28 *Navicula transitrans* var. *derasa* f. *delicatula* Heimdal
 - 29 *Nitzschia acicularis* (Kützing) W. Smith
 - 30 *Nitzschia longissima* (Brébisson) Ralfs
 - 31 *Nitzschia navicularis* (Brébisson ex Kützing) Grunow
 - 32 *Nitzschia recta* Hantzsch ex Rabenhorst
 - 33 *Nitzschia sigma* (Kützing) W. Smith
 - 34 *Nitzschia* sp.
 - 35 *Placoneis gastrum* (Ehrenberg) Mereschkovsky
 - 36 *Pleurosigma acuminatum* (Kützing) Grunow
 - 37 *Pleurosigma acutum* Norman ex Ralfs
 - 38 *Pleurosigma angulatum* (Queckett) W. Smith
 - 39 *Pleurosigma elongatum* W. Smith
 - 40 *Pleurosigma formosum* W. Smith
 - 41 *Pleurosigma nicobaricum* Grunow
 - 42 *Pleurosigma normanii* Ralfs
 - 43 *Pleurosigma* sp.
 - 44 *Pseudo-nitzschia delicatissima* (Cleve) Heiden
 - 45 *Pseudo-nitzschia lineola* (Cleve) Hasle
 - 46 *Pseudo-nitzschia pacifica* Cupp
 - 47 *Pseudo-nitzschia pungens* (Grunow ex Cleve) Hasle
 - 48 *Pseudo-nitzschia seriata* Cleve
 - 49 *Surirella febigerii* F. W. Lewis
 - 50 *Surirella* sp.
 - 51 *Thalassionema frauenfeldii* (Grunow) Hallegraef
 - 52 *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschkowsky

Annex 1. List of microphytoplankton species identified along the coast of Guayas Province between June and December 2012.

- 53 *Tryblionella hungarica* (Grunow) Frenguelli
 - 54 *Ulnaria ulna* (Nitzsch) P. Compere
- Diatomeas céntricas**
- 55 *Actinopterychus senarius* (Ehrenberg) Ehrenberg
 - 56 *Actinopterychus splendens* (Shadbolt) Ralfs ex Pritchard
 - 57 *Bacteriastrum delicatulum* Cleve
 - 58 *Bacteriastrum furcatum* Shadbolt
 - 59 *Bacteriastrum hyalinum* Lauder
 - 60 *Biddulphia alternans* (J. W. Bailey) Van Heurck
 - 61 *Cerataulina pelagica* (Cleve) Hendey
 - 62 *Chaetoceros affinis* Lauder
 - 63 *Chaetoceros brevis* F. Schütt
 - 64 *Chaetoceros coarctatus* Lauder
 - 65 *Chaetoceros compressus* Lauder
 - 66 *Chaetoceros convolutus* Castracane
 - 67 *Chaetoceros curvisetus* Cleve
 - 68 *Chaetoceros danicus* Cleve
 - 69 *Chaetoceros decipiens* Cleve
 - 70 *Chaetoceros denticulatus* Lauder
 - 71 *Chaetoceros didymus* Ehrenberg
 - 72 *Chaetoceros didymus* var. *protuberans* (H. S. Lauder) H. H. Gran & K. Yendo
 - 73 *Chaetoceros eibenii* Grunow in Van Heurck
 - 74 *Chaetoceros lacinosus* Schütt
 - 75 *Chaetoceros lorenzianus* Grunow
 - 76 *Chaetoceros peruvianus* Brightwell
 - 77 *Chaetoceros radicans* Schütt
 - 78 *Chaetoceros* sp.
 - 79 *Chaetoceros tortissimus* Gran
 - 80 *Coscinodiscus centralis* Ehrenberg
 - 81 *Coscinodiscus concinnus* W. Smith
 - 82 *Coscinodiscus curvatus* Grunow ex A. Schmidt
 - 83 *Coscinodiscus oculus-iridis* (Ehrenberg) Ehrenberg
 - 84 *Coscinodiscus perforatus* Ehrenberg
 - 85 *Coscinodiscus radiatus* Ehrenberg
 - 86 *Coscinodiscus* sp.
 - 87 *Coscinodiscus wailesii* Gran y Angst
 - 88 *Cyclotella bodanica* Eulenstein ex Grunow
 - 89 *Cyclotella comta* (Ehrenberg) Kützing
 - 90 *Cyclotella meneghiniana* Kützing
 - 91 *Cyclotella* sp.
 - 92 *Cyclotella striata* (Kützing) Grunow
 - 93 *Dactyliosolen fragilissimus* (Bergon) Hasle y Sivertsen
 - 94 *Dactyliosolen phuketensis* (B. G. Sundström) G. R. Hasle in C. R. Tomas
 - 95 *Detonula pumila* (Castracane) Gran
 - 96 *Ditylum brightwellii* (T. West) Grunow
 - 97 *Eucampia cornuta* (Cleve) Grunow
 - 98 *Eucampia zodiacus* Ehrenberg
 - 99 *Guinardia delicatula* (Cleve) Hasle y Sivertsen
 - 100 *Guinardia flaccida* (Castracane) H. Peragallo
 - 101 *Guinardia striata* (Stolterfoth) Hasle y Sivertsen

- 102 *Helicotheca tamesis* (Shrubsole) Ricard
 103 *Hemiaulus hauckii* Grunow ex Van Heurck
 104 *Hemiaulus membranaceus* Cleve
 105 *Hemiaulus sinensis* Greville
 106 *Lauderia annulata* Cleve
 107 *Leptocylindrus danicus* Cleve
 108 *Leptocylindrus mediterraneus* (H. Peragallo) Hasle
 109 *Leptocylindrus minimus* Gran
 110 *Lithodesmium undulatum* Ehrenberg
 111 *Melosira moniliformis* (O. F. Muller) C. Agardh
 112 *Odontella aurita* (Lyngbye) C. Agardh
 113 *Odontella dubia* (Brightwell) Cleve
 114 *Odontella mobiliensis* (Bailey) Grunow
 115 *Odontella sinensis* (Greville) Grunow
 116 *Odontella* sp.
 117 *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve
 118 *Plagiogrammopsis vanheurekii* (Grunow) Hasle, Von Stosch, & Syvertsen
 119 *Planktoniella sol* (Wallich) Schutt
 120 *Proboscia alata* (Brightwell) Sundström
 121 *Pseudosolenia calcar-avis* (Schutze) B. G. Sundström
 122 *Rhizosolenia bergonii* H. Peragallo
 123 *Rhizosolenia hebetata* J. W. Bailey
 124 *Rhizosolenia hyalina* Ostensfeld
 125 *Rhizosolenia imbricata* Brightwell
 126 *Rhizosolenia ostensfeldii* B. G. Sundstrom
 127 *Rhizosolenia robusta* G. Norman ex Ralfs
 128 *Rhizosolenia setigera* Brightwell
 129 *Rhizosolenia styliformis* Brightwell
 130 *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve
 131 *Stephanopyxis palmeriana* (Greville) Grunow
 132 *Stephanopyxis turris* (Greville) Ralfs
 133 *Thalassiosira angulata* (W. Gregory) Hasle
 134 *Thalassiosira anguste-lineata* (A. Schmidt) G. Fryxell & Hasle
 135 *Thalassiosira eccentrica* (Ehrenberg) Cleve
 136 *Thalassiosira lineata* Jousé
 137 *Thalassiosira punctigera* (Castracane) Hasle
 138 *Thalassiosira* sp.
 139 *Thalassiosira subtilis* (Ostensfeld) Gran
- Dinoflagelados**
- 140 *Ceratium dens* Ostensfeld & Schmidt
- 141 *Ceratium falciforme* E. G. Jorgensen
 142 *Ceratium furca* (Ehrenberg) Claparède & Lachmann
 143 *Ceratium fusus* (Ehrenberg) Dujardin
 144 *Ceratium incisum* (Karsten) E.G.Jørgensen
 145 *Ceratium lineatum* (Ehrenberg) Cleve
 146 *Ceratium pentagonum* Gourret
 147 *Ceratium strictum* (Okamura y Nishikawa) Kofoid
 148 *Ceratium teres* Kofoid
 149 *Ceratium trichoceros* (Ehrenberg) W. S. Kent
 150 *Dinophysis acuminata* Claparède and Lachmann
 151 *Dinophysis caudata* Saville - Kent
 152 *Dinophysis norvegica* Claparède & Lachmann
 153 *Diplopelta asymmetrica* (Mangin) Balech
 154 *Gonyaulax polyedra* Stein
 155 *Gonyaulax polygramma* Stein
 156 *Gonyaulax* sp.
 157 *Gymnodinium catenatum* H. W. Graham
 158 *Gyrodinium* sp.
 159 *Ornithocercus* sp.
 160 *Ornithocercus steinii* Schutt
 161 *Oxyphysis oxytoxoides* Kofoid
 162 *Prorocentrum gracile* Schutt
 163 *Prorocentrum micans* Ehrenberg
 164 *Prorocentrum rostratum* Stein
 165 *Prorocentrum vaginulum* (Stein) Dodge
 166 *Protoperidinium depressum* (Bailey) Balech
 167 *Protoperidinium latispinum* (Mangin) Balech
 168 *Protoperidinium pentagonum* (Gran) Balech
 169 *Protoperidinium* sp.
 170 *Pyrocystis noctiluca* Murray ex Haeckel
 171 *Pyrophacus* sp.
 172 *Pyrophacus steinii* (Schiller) Wall & Dale
- Cianobacterias**
- 173 *Anabaena* sp.
 174 *Leptolyngbya* sp.
 175 *Oscillatoria* sp.
- Silicoflagelados**
- 176 *Dictyocha fibula* Ehrenberg
 177 *Ebria antiqua* var. simplex Schultze
 178 *Octactis octonaria* (Ehrenberg) Hovasse

