

ARTÍCULO / ARTICLE

Condiciones hidroquímicas en la costa norte de la península de Paria Caribe suroriental, Venezuela

Hydrochemical conditions on the northern coast of the Paria Peninsula southeastern Caribbean, Venezuela

Sonia S. Subero-Pino¹,

0000 0002 3562 5604

ssuberos9@gmail.com;

soniasubero@gmail.com

Luisa Rojas de Astudillo²,

0000-0001-6667-1673

lrojas40@yahoo.com

Edgar A. García-Marcano³,

0000-0003-4057-5514;

tukani2000@yahoo.es

Luis E. Troccoli-Ghinaglia⁴

0000-0001-8684-6741;

luis.troccoli@gmail.com

José R. Díaz-Ramos⁵

0000-0002-0167-6665

jrdiazramos@gmail.com

1. ¹Departamento de Biología, Escuela de Ciencias, Universidad de Oriente. Apartado Postal 245, Cumaná, Sucre. Venezuela. 6101.
2. ²Departamento de Química, Escuela de Ciencias, Universidad de Oriente. 3. ³Departamento de Oceanografía Química, Instituto Oceanográfico de Venezuela.
3. ⁴Escuela de Ciencias Aplicadas al Mar, Boca del Río Estado Nueva Esparta.
4. ⁵Departamento de Biología Marina, Instituto Oceanográfico de Venezuela.

Recibido / Received: 28/09/2024

Aceptado / Accepted: 16/06/2025

Citación / Citation: Subero-Pino, S.S.; Rojas de Astudillo, L.; García-Marcano, E.A.; Troccoli-Ghinaglia, L.E.; Díaz-Ramos, J.R. 2026. Condiciones hidroquímicas en la costa norte de la península de Paria (S.E. Caribe), Venezuela. Bol. Invest. Mar. Cost., 55(1): 37-60

RESUMEN

Las condiciones hidroquímicas de los cuerpos de agua costeros son modificadas por procesos naturales y antropogénicos. Con el objetivo de evaluar la variación espacio temporal de las condiciones hidroquímicas al suroriente del Caribe, se tomaron muestras de agua mensualmente durante: junio 2012 - julio 2013 y luego en enero-octubre 2015; en siete estaciones de la área. Se midió temperatura, oxígeno disuelto, nutrientes y clorofila *a*. Los valores promedios más altos de nutrientes nitrogenados se registraron para NH_4^+ y NO_3^- (3.0 y $3.2 \mu\text{mol L}^{-1}$; respectivamente); así mismo, la concentración promedio de FRS fue $0.27 \mu\text{mol L}^{-1}$ en 2012-13 y $0.97 \mu\text{mol L}^{-1}$ 2015. La clorofila *a* fue alta en 2015 (3.1 mg m^{-3}), con los mayores registros a partir de junio asociado al efecto de la surgencia secundaria y el aporte terrestre ligado a las descargas del río Orinoco en época lluviosa. El análisis de componentes principales demostró que las condiciones hidroquímicas de la costa la península de Paria, suroriente del Caribe, están influenciada por: la surgencia primaria por efecto eólico; surgencia secundaria debido a la intensificación de la Corriente del Caribe, y cuando la surgencia se detiene, las lluvias aumentan la descarga de ríos, trayendo nutrientes que actúan sobre la clorofila *a*.

PALABRAS CLAVES: surgencia costera, suroriente del mar Caribe, dinámica de nutrientes, influencia antropogénica, índice de estado trófico.

ABSTRACT:

Hydrochemical conditions of coastal water bodies are modified by natural and anthropogenic processes. In order to evaluate the spatiotemporal variation of hydrochemical conditions in the southeastern Caribbean, water samples were taken monthly during: June 2012 - July 2013 and then in January - October 2015; at seven stations in the area. Temperature, dissolved oxygen, nutrients, and chlorophyll *a* were measured. The highest average values of nitrogen nutrients were recorded for NH_4^+ and NO_3^- (3.0 and $3.2 \mu\text{mol L}^{-1}$, respectively). Likewise, the average concentration of FRS was $0.27 \mu\text{mol L}^{-1}$ in 2012-13 and $0.97 \mu\text{mol L}^{-1}$ in 2015. Chlorophyll *a* was high in 2015 (3.1 mg m^{-3}), with the highest records starting in June associated with the effect of secondary upwelling and the terrestrial contribution linked to the discharges of the Orinoco River in the rainy season. The principal components analysis showed that the hydrochemical conditions of the coast of the Paria Peninsula, southeastern Caribbean, are influenced by: primary upwelling due to the wind effect; secondary upwelling due to the intensification of the Caribbean Current, and when the upwelling stops, the rains increase the discharge of rivers, bringing nutrients that act on chlorophyll *a*.

KEYWORDS: coastal upwelling, southeastern Caribbean Sea, nutrient dynamics, anthropogenic influence, trophic state index.

INTRODUCCIÓN

Todos los cuerpos de agua se caracterizan por sus condiciones hidroquímicas además de la interacción a largo plazo con el entorno circundante durante el proceso de circulación, lo que puede indicar la historia del agua, formación y migración (Kanduc *et al.*, 2008). El conocimiento de las condiciones hidroquímicas de los cuerpos de agua costeros, es fundamental para su conservación y manejo (Morales-Ojeda *et al.*, 2010). Estos procesos son importantes en el equilibrio ecológico y biogeoquímico, debido a que controlan los cambios diagenéticos en la columna de agua y sedimentos (Bonilla *et al.*, 2003).

Además de los factores físicoquímicos y biológicos que regulan la concentración de micronutrientes en un cuerpo de agua, los niveles pueden aumentar significativamente ante aportes antropogénicos, generando un desmedido crecimiento biológico (crecimiento de biomasa fitoplanctónica), finalmente produciendo un colapso del sistema costero a través del proceso de eutrofización (Smith, 2003; Akinawo, 2023). Después de ser alcanzado el nivel eutrófico, por el crecimiento excesivo de vegetales acuáticos, se incrementa la producción de materia orgánica y por ende biodeposición de la misma en los fondos, seguido de disminución de la concentración de oxígeno disuelto presente en el medio debido a los procesos biogeoquímicos (Smith, 2003; Sonarghare *et al.*, 2020; Zeng *et al.*, 2022).

Se ha determinado que la región costera del nororiente de Venezuela es la región pesquera más importante del país y del mar Caribe, con una biomasa de pequeños pelágicos de $2,6 \times 10^5$ toneladas métricas (Rueda-Roa y Müller-Karger, 2013; FAO, 2024). Esta fertilidad tiene varias causas: en primer lugar, la surgencia costera estacional con marcada variación interanual que se refleja en la producción primaria y en la biomasa fitoplanctónica (Ferraz-Reyes, 1987; Müller-Karger *et al.*, 2004), y en segundo lugar, es necesario considerar las descargas de los ríos sudamericanos, que durante la época de lluvia inundan la plataforma (Monente, 1986, 1997).

Hasta la fecha, son escasos los trabajos publicados que señalan la calidad del agua de la región. La mayoría de los estudios han sido realizados en el golfo de Paria y área cercana, tal como lo demuestran los trabajos de: Gade (1961a, 1961b), Fukuoka (1965), Bonilla (1977) Moigis y Bonilla (1985) y Castellanos *et al.* (2002). A partir de 2000, producto del auge de la exploración

INTRODUCTION

All bodies of water are characterized by their hydrochemical conditions in addition to the long-term interaction with the surrounding environment during the circulation process, which can indicate the history of the water, formation, and migration (Kanduc *et al.*, 2008). Knowledge of the hydrochemical conditions of coastal water bodies is essential for their conservation and management (Morales-Ojeda *et al.*, 2010). These processes are important in the ecological and biogeochemical balance because they control the diagenetic changes in the water column and sediments (Bonilla *et al.*, 2003).

In addition to the physicochemical and biological factors that regulate the concentration of micronutrients in a body of water, the levels can increase significantly due to anthropogenic inputs, generating an excessive biological growth (phytoplankton biomass growth), ultimately leading to a collapse of the coastal system through the process of eutrophication (Smith, 2003; Akinawo, 2023). After the eutrophic level is reached, due to the excessive growth of aquatic plants, the production of organic matter increases and consequently its biodeposition on the bottoms, followed by a decrease in the concentration of dissolved oxygen present in the environment due to biogeochemical processes (Smith, 2003; Sonarghare *et al.*, 2020; Zeng *et al.*, 2022).

It has been determined that the northeastern coastal zone of Venezuela is the most important fishing region in the country and the Caribbean Sea, with a biomass of small pelagics of 2.6×10^5 metric tons (Rueda-Roa and Müller-Karger, 2013; FAO, 2024). This fertility has several causes: firstly, the seasonal coastal upwelling with marked interannual variation that is reflected in primary production and phytoplankton biomass (Ferraz-Reyes, 1987; Müller-Karger *et al.*, 2004), and secondly, it is necessary to consider the discharges from South American rivers, which during the rainy season flood the platform (Monente, 1977, 1997).

To date, there are few published works that indicate the water quality of the area. Most of the studies have been conducted in the Gulf of Paria and the nearby area, as demonstrated by the works of Gade (1961a, 1961b), Fukuoka (1965), Bonilla (1977), and Moigis and Bonilla (1985). Also, Castellanos *et al.* (2002), and since 2000, as a result of the boom in oil exploration in the region, geological studies and measurements of certain parameters have been conducted to assess water quality (Martín *et al.*, 2007).

petrolera en la región, se han realizado estudios geológicos y de medición de algunas variables para evaluar la calidad del agua (Martín *et al.*, 2007).

La variabilidad interanual de las microalgas y la surgencia costera en la costa norte de Paria, es considerada como el factor más importante en la evaluación de los recursos marinos de la región oriental, y en relación con la producción del bivalvo *Perna perna* como acumulador de toxinas debido al consumo de fitoplancton. En este sentido, Umasangaji y Ramili (2021) ubican al suroriente del Caribe entre las áreas con la surgencia más intensa a nivel mundial. Estos autores señalan que entre las áreas con la surgencia más intensa y productiva en el mundo, están las aguas sudamericanas, el sistema de surgencia de Benguela (BUS) en la costa africana (Wells *et al.*, 2024), el área frente a la costa sur de la isla de Java en Indonesia y sus alrededores. Además, el aumento de nutrientes en las aguas a menudo va acompañado de un aumento de varias especies de algas tóxicas (floraciones algales nocivas, FAN), que son perjudiciales para el sistema pesquero local. Esto último podría resultar en un aumento de la mortalidad de ciertos organismos como sardinas (*Sardinella aurita*), materia prima principal de las industrias de fabricación de conservas marinas, una de las principales fuentes de empleo del área, así como afectación a otros miembros de la cadena trófica como los existentes en los bancos naturales de moluscos (*P. perna* y *Arca zebra*), los más grande del país y del Caribe, principal fuente de trabajo de los pescadores locales para consumo local y para la preparación artesanal de conservas. Los estudios biológicos y oceanográficos son esenciales para apoyar el desarrollo marino y pesquero en esta porción del sur del Caribe. La evaluación y el conocimiento de esta dinámica es extremadamente importante sobre todo a la luz de la crisis climática actual y donde ha habido antecedentes de la ocurrencia de eventos tóxicos. Además, conociendo sus condiciones hidroquímicas se podrían tomar medidas con la finalidad de reducir los problemas de eutroficación, sobre todo en las suroriente más pobladas como Río Caribe y El Morro. Por esta razón se planteó como objetivo: establecer la variación espacio-temporal de algunas variables ambientales en las aguas superficiales de siete bancos naturales de *P. perna* existentes en la costa norte de la península de Paria, S.E. del Caribe, Venezuela, durante dos periodos: junio 2012-julio 2013 y luego enero-octubre 2015.

The interannual variability of microalgae and coastal upwelling on the northern coast of Paria is considered the most important factor in the evaluation of marine resources in the eastern zone, and in relation to the production of the bivalve, *Perna perna*, as an accumulator of toxins due to the consumption of phytoplankton. In this regard, Umasangaji and Ramili (2021) place the southeastern Caribbean among the areas with the most intense upwelling worldwide. These authors point out that among the areas with the most intense and productive upwelling in the world are the South American waters, the Benguela Upwelling System (BUS) on the African coast (Wells *et al.*, 2024), the area off the southern coast of the island of Java in Indonesia and its surroundings. Moreover, the increase in nutrients in the waters is often accompanied by an increase in various species of toxic algae (harmful algal blooms, HABs), which are detrimental to the local fishing system. This could result in an increase in the mortality of certain organisms such as sardines (*Sardinella aurita*), the main raw material for the marine canning industries, one of the main sources of employment in the area, as well as affecting other members of the food chain such as those existing in natural mollusk banks; *P. perna*, and *Arca zebra*, the largest in the country and the Caribbean, the main source of work for local fishermen for local consumption and for the artisanal preparation of preserves. Biological and oceanographic studies are essential to support marine and fisheries development in this area of the southern Caribbean. The evaluation and understanding of this dynamic is extremely important, especially in light of the current climate crisis and where there have been precedents of toxic events occurring. Furthermore, by understanding its hydrochemical conditions, measures could be taken to reduce eutrophication problems, especially in the more populated areas such as Río Caribe and El Morro.

For this reason, the objective was set: to establish the spatio-temporal variation of some environmental variables in the surface waters of 7 natural banks of *P. perna* existing on the northern coast of the Paria Peninsula, S.E. of the Caribbean, Venezuela, during two periods: June 2012-July 2013 and then January-October 2015.

MATERIALES Y MÉTODOS

La península de Paria está ubicada en el extremo nororiental de Venezuela, suroriente del mar Caribe, rodeada de una región montañosa que se eleva hasta 1449 m sobre el nivel del mar y cae abruptamente al mar. En su base, la costa rocosa facilita el desarrollo de poblaciones de organismos bentónicos y, además, suroriente refugios naturales y sitios para la anidación y desoves de tortugas marinas (Rondón *et al.*, 2010; Velásquez *et al.*, 2010). Para determinar la calidad del agua, se procedió a tomar muestras mensuales para: nutrientes, clorofila, muestras de agua para toxinas y además de material de mejillones *P. perna*, en los sitios donde se encuentran bancos naturales de dicho molusco (Tabla 1)

Tabla 1. Localidades geo referenciadas (bancos naturales de mejillones) de la costa norte de la península de Paria, suroriente Caribe, Venezuela

Estación Station	Localidad Locality	Coordenadas Coordinates
1	El Morro (M)	N 10° 43' 35.5" W 63° 09' 07.6"
2	Los Cocos (Cc)	N 10° 70' 72" W 63° 13' 62"
3	Río Caribe (Rc)	N 10° 42' 05.5" W 63° 06' 54.0"
4	Canguas (Cn)	N 10° 41' 51.7" W 62° 55' 16.8"
5	Querepare (Q)	N 10° 69' 06.6" W 62° 87' 54.6"
6	Querepare Oeste (Q2)	N 10° 69' 94" W 62° 87' 31"
7	Sipara (S)	N 10° 75' 06.6" W 62° 70' 54.6"

El área de estudio está influenciada por surgencia costera estacional, de origen eólico (López-Monroy y Troccoli-Ghinaglia, 2014; Jury, 2017), provocada por los vientos alisios que soplan sobre la plataforma y el aporte sedimentario de las aguas del río Orinoco (Castellanos *et al.*, 2002), eventos que en conjunto sostienen una rica y abundante fauna marina (Figura 1)..

MATERIALS AND METHODS

Study Area

The Paria Peninsula is located in the northeasternmost part of Venezuela, southeast of the Caribbean Sea, surrounded by a mountainous region that rises up to 1,449 meters above sea level and drops abruptly to the sea. At its base, the rocky coast facilitates the development of benthic organism populations and also serves as natural refuges and sites for nesting and spawning of sea turtles (Rondón *et al.*, 2010; Velásquez *et al.*, 2010). Monthly samples were taken for: nutrients, chlorophyll, water samples for toxins, and also samples of mussels. *Perna perna*, in the places where natural banks are found (Table 1).

Table 1. Georeferenced locations (natural mussel banks) of the northern coast of the Paria Peninsula, S.E. Caribbean, Venezuela

The study area is influenced by seasonal coastal upwelling, of wind origin (López-Monroy and Troccoli-Ghinaglia, 2014; Jury, 2017, 2018), caused by the trade winds blowing over the continental shelf and the sedimentary input from the waters of the Orinoco River (Castellanos *et al.*, 2002), events that together support a rich and abundant marine fauna (Fig. 1).

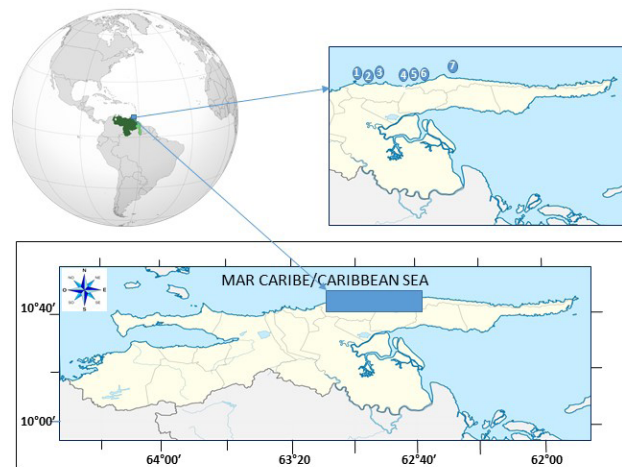


Figura 1. Área de estudio mostrando la ubicación de las estaciones de muestreo en los bancos naturales de mejillones de la costa norte de la Península de Paria, S.E. del Caribe, Venezuela.

Figure 1. Study area showing the location of sampling stations in the natural mussel beds of the northern coast of the Paria Peninsula, S.E. Caribbean, Venezuela.

Diseño del muestreo

Los datos meteorológicos (velocidad del viento y precipitación) fueron tomados de la página web del Aeropuerto de Trinidad (PIARCO://www.aeropuertos.net/aeropuerto-internacional-de-piarco/). Se fijaron siete estaciones en las inmediaciones de los bancos naturales del mejillón *P. perna* (Figura 1). Los muestreos se realizaron mensualmente de junio 2012 hasta julio 2013 y luego de enero - octubre 2015. La área de estudio es una región remota y de difícil acceso, distante del área de influencia del Instituto Oceanográfico de la Universidad de Oriente.

La toma de muestras se realizó a bordo de un bote peñero desde la localidad de Río Caribe. En cada estación se determinó la transparencia del agua con un disco Secchi (30 cm de diámetro) y se midió la temperatura del agua con un termómetro ambiental ($\pm 0.1^\circ\text{C}$) de precisión. Las muestras para cuantificar el oxígeno disuelto se tomaron en botellas de DBO y se fijaron de inmediato para determinar la concentración del gas (mL L^{-1}) según el método de Winkler (Parsons *et al.*, 1984).

Las muestras de agua superficial para determinar los nutrientes se tomaron en botellas de polietileno (500 mL) y se almacenaron en una cava con hielo hasta su transporte al laboratorio. Allí las muestras se congelaron (-20°C) hasta el momento de su procesamiento. La concentración de amonio (NH_4^+) se determinó según el método de Koroleff (1969); nitrito (NO_2^-) por espectrofotometría visible

.Sampling design

The meteorological data (wind speed and precipitation) were taken from the website of the Trinidad Airport (PIARCO://www.aeropuertos.net/aeropuerto-internacional-de-piarco/). Seven stations were established in the vicinity of the natural banks of the mussel *P. perna* (Fig. 1). The sampling was conducted monthly from June 2012 to July 2013 and then from January to October 2015. The study area is a remote and difficult-to-access zone, very far from the area of influence of the Oceanographic Institute of the University of Oriente.

The sampling was carried out aboard a small boat from the town of Río Caribe. At each station, water transparency was determined with a Secchi disk and water temperature was measured with an environmental thermometer ($\pm 0.1^\circ\text{C}$) for precision and water transparency with a Secchi disk (30 cm in diameter). The samples to quantify dissolved oxygen were taken in BOD bottles and immediately fixed to determine the gas concentration (mL L^{-1}) according to the Winkler method (Parsons *et al.*, 1984).

Surface water samples to determine nutrients were taken in polyethylene bottles (500 mL capacity) and stored in a cooler with ice until transported to the laboratory. There the samples were frozen (-20°C) until the time of processing. The concentration of ammonium (NH_4^+) was determined according to the Koroleff (1969) method; nitrite (NO_2^-) by visible spectrophotometry

(Bendschneider and Robinson, 1952) nitrato (NO_3^-) mediante un sistema autoanizador Technicon II (Wood *et al.*, 1967; Treguer and Le Corre, 1975). La concentración de fósforo reactivo soluble (FRS) se determinó por espectrofotometría según Murphy y Riley (1962). Se utilizó un espectrofotómetro marca Thermo Spectronic modelo GenesisTM-8 en la determinación de la concentración de NO_2^- , NH_4^+ y FRS. Los resultados se expresan en $\mu\text{mol L}^{-1}$. Todos los nutrientes fueron determinados con una precisión de $\pm 0.001 \mu\text{mol L}^{-1}$.

La determinación de la concentración de clorofila *a* (C_{loa}) y feopigmentos se realizó según el método Lorenzen modificado por Parsons *et al.* (1984). Se tomaron muestras de agua de mar superficial con botellas de plástico ámbar (1,5 L Cap.). El agua de mar se concentró con un equipo Millipore y una bomba de vacío (GAST). Utilizando filtros de fibra de vidrio (1.5 μm poro, 4.7 cm Ø; Whatman GF/C). La extracción de los pigmentos se realizó con 8 mL de acetona al 90% y se midió la absorbancia de las muestras en un espectrofotómetro Shimadzu UV-120. Finalmente, las concentraciones de clorofila *a* y feopigmentos se expresaron en mg m^{-3} y fueron determinadas mediante las ecuaciones de Lorenzen (Parsons *et al.*, 1984), utilizando la hoja de cálculo Excel.

Debido a la carga de nutrientes, sobre todo en las localidades más pobladas donde las descargas antrópicas son mayores, se utilizó el índice multivariado de Karydis (1992) para caracterizar el estado trófico por períodos, en base a cada nutriente. Para esto se utilizó la hoja de Cálculo Excel y la fórmula:

$$IT = (C/C - \log X_i) + \log A$$

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.

Para determinar diferencias entre períodos, meses y localidades se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Sheskin, 2004), luego de comprobar el no cumplimiento de los supuestos del Anova como son normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y homocedasticidad a través del índice de Bartlett (Zar, 1996), expresándose los resultados en diagramas de cajas y bigotes de acuerdo con Boyer *et al.* (1997). Se aplicó también Análisis de Componentes Principales (ACP) para establecer las relaciones

(Bendschneider and Robinson, 1952); nitrate (NO_3^-) using a Technicon II autoanalyzer system (Wood *et al.*, 1967; Treguer and Le Corre, 1975). The concentration of soluble reactive phosphorus (SRP) was determined by spectrophotometry according to Murphy and Riley (1962). A Thermo Spectronic spectrophotometer model GenesisTM-8 was used in the determination of the concentration of NO_2^- , NH_4^+ and FRS. The results are expressed in $\mu\text{mol L}^{-1}$. All nutrients were determined with a precision of $\pm 0.001 \mu\text{mol L}^{-1}$.

The determination of chlorophyll *a* concentration (Chlor. *a*) and pheopigments were carried out according to the method described by Lorenzen, modified by Parsons *et al.* (1984). Surface seawater samples were taken with amber plastic bottles (1.5 L Cap.). Seawater was concentrated using a Millipore system and a vacuum pump (GAST). Using fiberglass filters (1.5 μm pore, 4.7 cm Ø; Whatman GF/C). The extraction of the pigments was carried out with 8 mL of 90% acetone and the absorbance of the samples was measured using a Shimadzu UV-120 spectrophotometer. Finally, the concentrations of Chlor. *a* and pheopigments were expressed in mg m^{-3} and were determined using Lorenzen's equations (Parsons *et al.*, 1984), utilizing the Excel spreadsheet.

Due to the nutrient load, especially in the more populated areas where anthropogenic discharges are greater, the Karydis (1992) multivariate index was used to characterize the trophic state over periods, based on each nutrient. For this, the Excel spreadsheet and the formula were used:

$$IT = (C/C - \log X_i) + \log A$$

Where IT is the trophic index for a specific nutrient, C is the sum of the nutrient concentration per station, X_i is the average monthly concentration of the nutrient per station, and A is the number of stations. The numerical scale that determines the trophic level is as follows: <3, Oligotrophic; 3-5, Mesotrophic; >5, Eutrophic.

To determine differences between periods, monthly and by locations, the non-parametric Kruskal-Wallis test (Sheskin, 2004) was applied, after verifying the non-fulfillment of the ANOVA assumptions such as normality (Kolmogorov-Smirnov) and homoscedasticity through Bartlett's index (Zar, 1996), with the results expressed in box-and-whisker plots according to Boyer *et al.* (1997). Principal Component Analysis (PCA) was also applied to establish the relationships between the different variables analyzed (Sheskin, 2004). For the execution of the statistical tests, the software Statgraphics Centurion 5.1 was used. The significance level used was $p < 0.05$.

entre las diferentes variables analizadas (Sheskin, 2004). Para la realización de las pruebas estadísticas se utilizó el software Statgraphics Centurion 5.1. El nivel de significancia utilizado fue $p < 0.05$.

RESULTADOS

El resumen de las variables físico-químicas y biológicas se muestra en la Tabla 2. La temperatura superficial el agua de mar presentó un amplio intervalo de fluctuación, (7°C). Este comportamiento fue determinado para la concentración de NH_4^+ , NO_3^- y Cloa. Las variables: concentración de NH_4^+ , y concentración de Cloa presentaron diferencias entre años, meses y localidades ($p < 0.05$). La temperatura superficial del agua de mar, concentración de NO_3^- , NO_2^- y concentración de FRS no presentaron diferencias estadísticas significativas en cuanto a las localidades de estudio. En este trabajo sólo se discuten los resultados de aquellas variables con resultados significativos.

Tabla 2. Resumen de los estadísticos básicos de las variables físicoquímicas y biológicas determinados en la zona región de la península de Paria, suroriente Caribe, Venezuela, durante los períodos 2012- 2013 y 2015.

RESULTS

The summary of the physicochemical and biological variables is shown in Table 2. The sea surface temperature showed a wide range of fluctuation (7°C). This behavior was determined for the concentration of NH_4^+ , NO_3^- , and Chlor. *a*. The variables: concentration of NH_4^+ , and concentration of Chlor. they presented differences between years, months, and locations ($p < 0.05$). The sea surface temperature, NO_3^- concentration, NO_2^- concentration, and FRS concentration did not show statistically significant differences regarding the study locations. In this work, only the results of those variables with significant outcomes are discussed.

Table 2. Summary of the basic statistics of the physicochemical and biological variables determined in the coastal zone of the Paria Peninsula, S.E. Caribbean, Venezuela, during the periods 2012-2013 and 2015.

	N	Promedio Average	S	Mínimo Minimum	Máximo Maximum
Velocidad del Viento Promedio (m s^{-1}) Average Wind Speed (m s^{-1})	85	7.56	2.29	3.33	12.67
Precipitación (mm) Precipitation (mm)	85	68.32	50.61	2.03	180.58
Transparencia del agua (m) Water transparency (m)	47	3.58	1.59	1.0	9.0
Temperatura superficial del agua ($^{\circ}\text{C}$) Surface water temperature ($^{\circ}\text{C}$)	81	26.40	1.68	23	30
Oxígeno disuelto en el agua (mL L^{-1}) Dissolved oxygen in water (mL L^{-1})	.69	4.81	0.81	2.34	6.50
Amonio ($\mu\text{mol L}^{-1}$) Ammonium ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	81	2.71	2.16	0.17	11.81
Nitrato ($\mu\text{mol L}^{-1}$) Nitrite ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	81	0.20	0.23	0	1.60
Nitrato ($\mu\text{mol L}^{-1}$) Nitrate ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	81	2.22	3.71	0.28	21.47
Fósforo Reactivo Soluble ($\mu\text{mol L}^{-1}$) Soluble Reactive Phosphorus ($\mu\text{mol L}^{-1}$)	81	0.68	0.77	0.05	3.72
Relación N:P N:P Ratio	81	17.4	17.77	1	92
Clorofila <i>a</i> (mg m^{-3}) Chlorophyll <i>a</i> (mg m^{-3})	82	2.57	4.66	0	39.45
Feopigmentos (mg m^{-3}) Feopigments (mg m^{-3})	79	10.0	1.33	0	6.72

N: Tamaño de la Muestra. Sample size; S: Desviación estándar,
Standard deviation

N: Tamaño de la muestra/Sample size; S: Desviación estándar/Standard deviation

En relación con las variables meteorológicas, la velocidad del viento fluctuó entre $5.9\text{--}8.2\text{ m s}^{-1}$ en septiembre 2012 y marzo 2013, respectivamente. Mientras que, en 2015 estuvo en el intervalo $5.3\text{--}9.6\text{ m s}^{-1}$ en septiembre y octubre 2015, respectivamente, sin un patrón claro de estacionalidad (Figura 2A). Durante el periodo 2012-13 las precipitaciones superaron 40.37 mm . En el segundo periodo (2015) esta variable disminuye de enero (52.32 mm) hasta abril 2015 (nd) luego comienza a subir hasta junio 2015 (120 mm) con máximo en agosto del mismo año (176.8 mm ; Figura 2A).

N: Sample size; S: Standard deviation

In relation to meteorological variables, the wind speed fluctuated between $5.9\text{--}8.2\text{ m s}^{-1}$ in September 2012 and March 2013, respectively. Whereas, in 2015 it was in the range of $9.6\text{--}5.3\text{ m s}^{-1}$ in September and October 2015, respectively, without a clear pattern of seasonality (Fig. 2A). During the 2012-13 period, precipitation exceeded 40.37 mm . In the second period (2015), this variable decreases from January (52.32 mm) until April 2015 (nd) then begins to rise until June 2015 (120 mm) with a maximum in August of the same year (176.8 mm ; Fig. 2A).

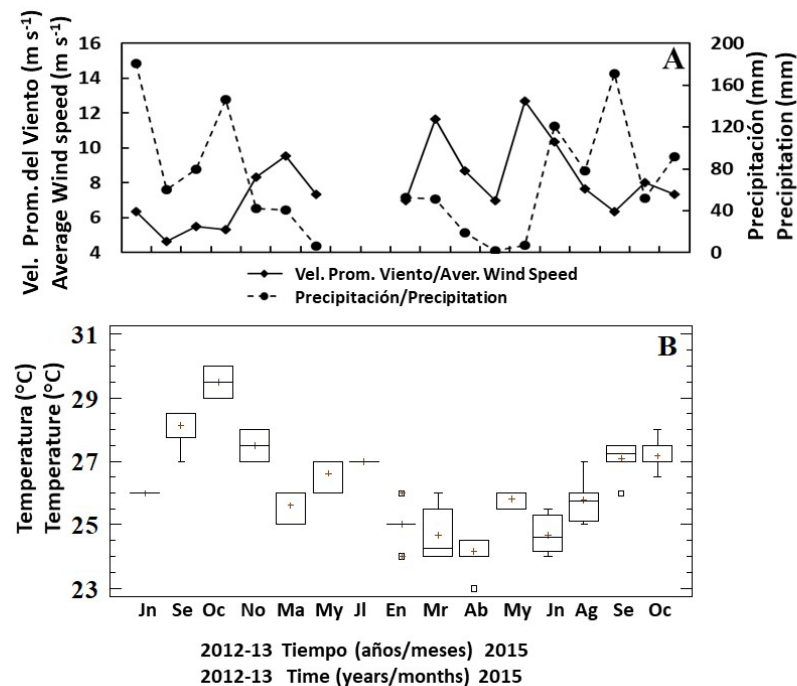


Figura 2. Variación mensual de: **A.** Velocidad promedio del viento (m s^{-1}) y la precipitación (mm). **B.** temperatura superficial del agua de mar ($^{\circ}\text{C}$) medidas en la costa norte de la península de Paria, suroriente Caribe, Venezuela durante el periodo junio 2012 - julio 2013 y enero - octubre 2015.

Figure 2. Monthly variation of: **A.** Average wind speed (m s^{-1}) and precipitation (mm). **B.** sea surface temperature ($^{\circ}\text{C}$) measured on the northern coast of the Paria Peninsula, S.E. Caribbean, Venezuela during the period June 2012 - July 2013 and January - October 2015.

La temperatura superficial del agua de mar presentó diferencias entre periodos y meses (K-S=2.96; KW=75.39; $p<0.05$; Figura 2B). La temperatura promedio más alta se determinó en 2012-13 (27.4°C); mientras que 2015 se caracterizó por temperatura promedio más baja (25.6°C). En relación con los meses, la temperatura máxima y mínima se detectó en octubre 2012 y marzo 2013 (29.5 y 25.3°C , respectivamente); mientras que en 2015 la temperatura mínima y máxima se detectó en abril y octubre (24.2 y 27.2°C , respectivamente; Figura 2B).

Sea surface temperature showed differences between periods and months (K-S=2.96; KW=75.39; $p<0.05$ Fig. 2B). The highest average temperature was recorded in 2012-13 (27.4°C), while 2015 was characterized by the lowest average temperature (25.6°C). In relation to the months, the maximum and minimum temperatures were detected in October 2012 and March 2013 (29.5 and 25.3°C , respectively); while in 2015 the minimum and maximum temperatures were detected in April and October (24.2 and 27.2°C , respectively; Fig. 2B).

La concentración de NH_4^+ presentó diferencias significativas entre períodos, meses y localidades (K-S=3.44; KW=37.31; KW=14.63; $p<0.05$; Figura 3 A, B, C). La concentración promedio mayor y menor fue determinada durante el período 2012-13 y 2015 (3.34 y 2.23 $\mu\text{mol L}^{-1}$; Figura 3A). Durante 2012-13 se detectaron los promedios mayores y menores en marzo y mayo 2013 (4.7 y 2.2 $\mu\text{mol L}^{-1}$, respectivamente). Mientras que en el período 2015 se registraron las concentraciones menores y mayores en mayo y junio (1.1 y 4.2 $\mu\text{mol L}^{-1}$, respectivamente; Figura 3B). En relación con las localidades, en Querepare2 y Río Caribe se determinaron los promedios mínimos y máximos de NH_4^+ (1.44 y 4.47 $\mu\text{mol L}^{-1}$, respectivamente (Figura 3C).

The concentration of NH_4^+ showed significant differences between periods, months, and locations (K-S=3.44; KW=37.31; KW=14.63; $p<0.05$; Fig. 3 A, B, C). The highest and lowest average concentration was determined during the period 2012-13 and 2015 (3.34 and 2.23 $\mu\text{mol L}^{-1}$; Fig. 3A). During 2012-13, the highest and lowest averages were detected in March and May 2013 (4.7 and 2.2 $\mu\text{mol L}^{-1}$, respectively). While in the 2015 period, the lowest and highest concentrations were recorded in May and June (1.1 and 4.2 $\mu\text{mol L}^{-1}$, respectively; Fig. 3B). In relation to the locations, in Querepare2 and Río Caribe, the minimum and maximum averages of NH_4^+ were determined (1.44 and 4.47 $\mu\text{mol L}^{-1}$, respectively (Fig. 3C).

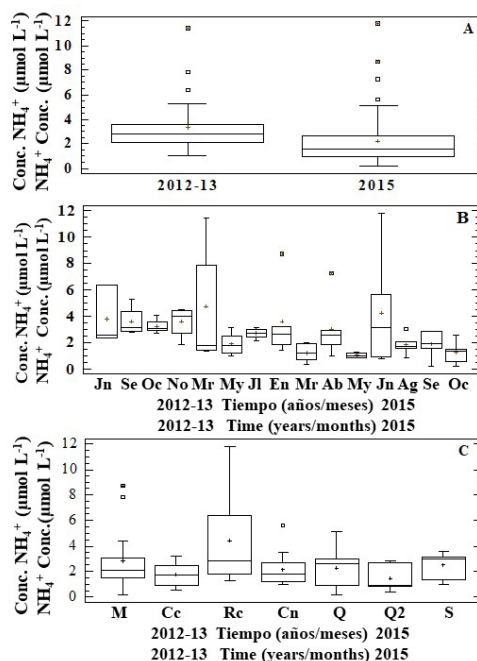


Figura 3. Variación de la concentración de NH_4^+ ($\mu\text{mol L}^{-1}$) en la costa norte de la península de Paria, suroriente Caribe, Venezuela, durante el período junio 2012-julio 2013 y enero - octubre 2015. A, variación anual; B, variación mensual; C, localidad.

Figure 3. Variation of NH_4^+ concentration ($\mu\text{mol L}^{-1}$) on the northern coast of the Paria Peninsula, S.E. Caribbean, Venezuela, during the period June 2012-July 2013 and January - October 2015. A, annual variation; B, monthly variation; C, location.

La concentración de NO_2^- sólo presentó diferencias significativas entre períodos y meses (K-S= 1.51; KW=45.62 $p<0.05$). En relación con los períodos, la concentración mínima y máxima se detectó en 2012-2013 y 2015 (0.13 y 0.35 $\mu\text{mol L}^{-1}$, respectivamente; Figura 4A). Mientras que la variación mensual fue mayor y menor en junio 2012 y julio 2013 (0.54 y 0.03 $\mu\text{mol L}^{-1}$, respectivamente). En el segundo período de estudio (2015), el promedio máximo y mínimo se registró en enero y mayo (0.51 y 0.04 $\mu\text{mol L}^{-1}$, respectivamente; Figura 4B).

The concentration of NO_2^- only showed significant differences between periods and months (K-S= 1.51; KW=45.62 $p<0.05$). In relation to the periods, the minimum and maximum concentration was detected in 2012-2013 and 2015 (0.13 and 0.35 $\mu\text{mol L}^{-1}$; respectively; Fig. 4A). While the monthly variation was higher and lower in June 2012 and July 2013 (0.54 and 0.03 $\mu\text{mol L}^{-1}$; respectively). In the second study period (2015), the maximum and minimum averages were recorded in January and May (0.51 and 0.04 $\mu\text{mol L}^{-1}$; respectively; Fig. 4B).

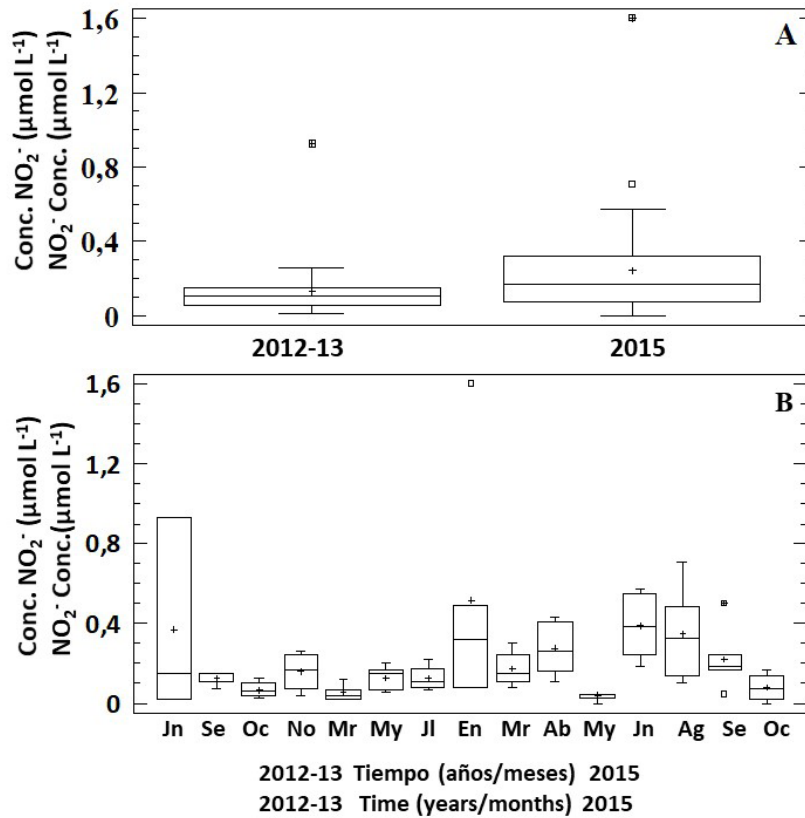


Figura 4. Variación de la concentración de NO_2^- ($\mu\text{mol L}^{-1}$) en la costa norte de la península de Paria, suroriente Caribe, Venezuela, durante el período junio 2012-julio 2013 y enero - octubre 2015. **A**, variación anual; **B**, variación mensual.

Figure 4. Variation of NO_2^- concentration ($\mu\text{mol L}^{-1}$) on the northern coast of the Paria Peninsula, S.E. Caribbean, Venezuela, during the period June 2012-July 2013 and January - October 2015. **A**, annual variation; **B**, monthly variation.

En la costa norte de Paria la concentración de NO_3^- mostró diferencias significativas en relación con el factor temporal (períodos y meses; K-S=1.53; KW=32.00; $p<0.05$). En el período 2012-13 el promedio fue mayor $3.20 \mu\text{mol L}^{-1}$; mientras que en 2015 fue menor ($1.32 \mu\text{mol L}^{-1}$; [Figura 5A](#)). La variación mensual de NO_3^- presentó sus valores promedios máximos y mínimos en junio 2012 y mayo 2013 (11.85 y $1.13 \mu\text{mol L}^{-1}$, respectivamente; [Figura 5B](#)); mientras que en 2015 las concentraciones de NO_3^- promedios máximos y mínimo fueron detectadas en enero y junio (2.29 y $0.90 \mu\text{mol L}^{-1}$, respectivamente; [Figura 5B](#)).

On the northern coast of Paria, the concentration of NO_3^- showed significant differences in relation to the temporal factor (periods and months; K-S=1.53; KW=32.00; $p<0.05$). In the 2012-13 period, the average was higher at $3.20 \mu\text{mol L}^{-1}$, while in 2015 it was lower ($1.32 \mu\text{mol L}^{-1}$; [Fig. 5A](#)). The monthly variation of NO_3^- showed its maximum and minimum average values in June 2012 and May 2013 (11.85 and $1.13 \mu\text{mol L}^{-1}$ respectively; [Fig. 5B](#)); while in 2015 the maximum and minimum average concentrations of NO_3^- were detected in January and June (2.29 and $0.90 \mu\text{mol L}^{-1}$) respectively ([Fig. 5B](#)).

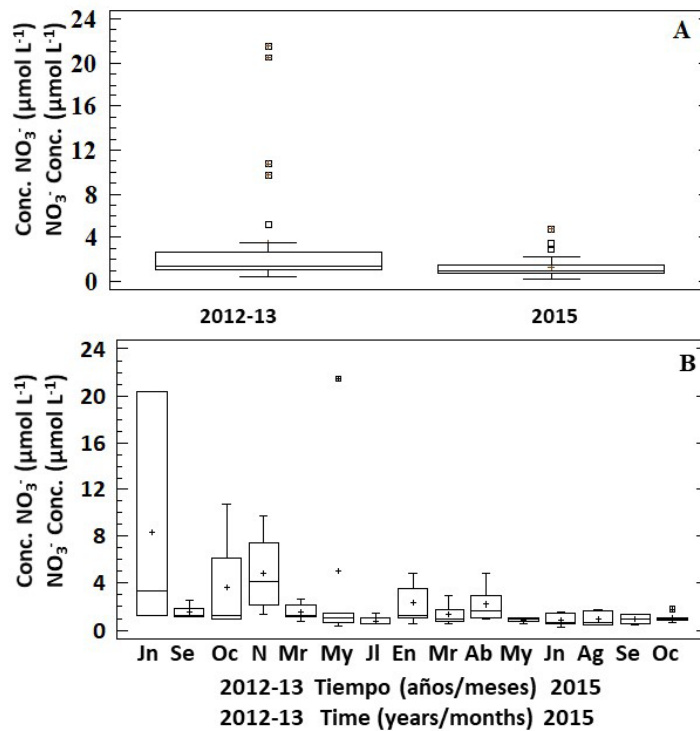


Figura 5. Variación de la concentración de NO_3^- ($\mu\text{mol L}^{-1}$) en la costa norte de la península de Paria, suroriente Caribe, Venezuela, durante el período junio 2012-julio 2013 y enero - octubre 2015. **A**, variación anual; **B**, variación mensual.

Figure 5. Variation of NO_3^- concentration ($\mu\text{mol L}^{-1}$) on the northern coast of the Paria Peninsula, S.E. Caribbean, Venezuela, during the period June 2012-July 2013 and January - October 2015. **A**, annual variation; **B**, monthly variation.

En cuanto al FRS, se detectaron diferencias significativas entre períodos ($K-S=1.53$ $p<0.05$) y meses ($KW=56.63$ $p<0.05$). El promedio mínimo y máximo se detectó en 2012-13 y 2015 (0.27 y 0.97 $\mu\text{mol L}^{-1}$, respectivamente (Figura 6A). La distribución mensual de esta variable presentó sus promedios máximos y mínimos en junio y septiembre 2012 (0.40 y 0.19 $\mu\text{mol L}^{-1}$, respectivamente (Figura 6B). Por otra parte, durante el 2015 los promedios mínimo y máximo fueron determinados en mayo y junio (0.19 y 2.05 $\mu\text{mol L}^{-1}$, respectivamente (Figura 6B).

Regarding the FRS, significant differences were detected between periods ($K-S=1.53$ $p<0.05$) and months ($KW=56.63$ $p<0.05$). The minimum and maximum average was detected in 2012-13 and 2015 (0.27 and 0.97 $\mu\text{mol L}^{-1}$) respectively (Fig. 6A). The monthly distribution of this variable showed its maximum and minimum averages in June and September 2012 (0.40 and 0.19 $\mu\text{mol L}^{-1}$), respectively (Fig. 6B). On the other hand, during 2015 the minimum and maximum averages were determined in May and June (0.19 and 2.05 $\mu\text{mol L}^{-1}$) respectively (Fig. 6B).

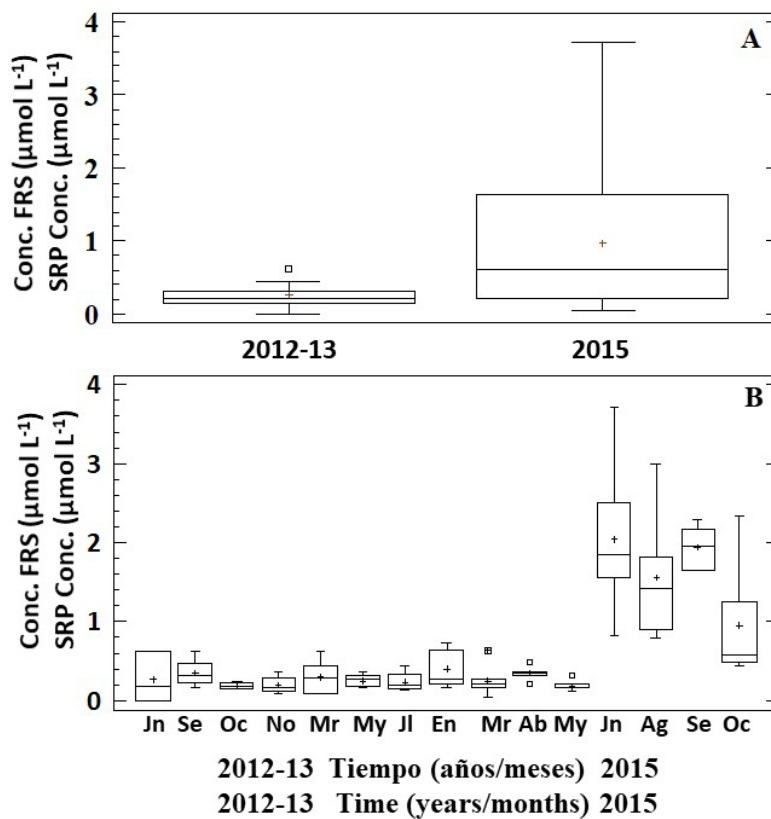


Figura 6. Variación de la concentración de FRS ($\mu\text{mol L}^{-1}$) en la costa norte de la península de Paria, suroriente Caribe, Venezuela, durante el período junio 2012-julio 2013 y enero - octubre 2015. **A**, variación anual; **B**, variación mensual.

Figure 6. Variation of FRS concentration ($\mu\text{mol L}^{-1}$) on the northern coast of the Paria Peninsula, S.E. Caribbean, Venezuela, during the period June 2012-July 2013 and January - October 2015. **A**, annual variation; **B**, monthly variation.

La biomasa fitoplanctónica medida como clorofila *a*, presentó diferencias estadísticas significativas entre: períodos, meses y localidades ($K-S=2.79$; $KW=48.77$; $KW=13.87$; $p<0.05$, respectivamente (Figura 7A, B, C). El período 2012-13 presentó el promedio más bajo de clorofila *a* (1.83 mg m^{-3}); mientras que en 2015 el promedio fue mayor (3.13 mg m^{-3} ; Figura 7A). Entre meses, esta variable osciló en el intervalo $0.36 - 13.44 \text{ mg m}^{-3}$ en junio 2012- marzo 2013 (Figura 7B). Sin embargo, en 2015 se determinaron dos máximos de clorofila *a*, el primero en marzo y el segundo en junio del mismo año (4.0 y 6.24 mg m^{-3}). Por localidad, el promedio más bajo de clorofila *a* se determinó en Sipara (0.54 mg m^{-3}), mientras que el promedio más alto se detectó en Río Caribe (4.57 mg m^{-3}) con un máximo de 39.45 mg m^{-3} en marzo 2013 (Figura 7B).

Phytoplankton biomass, measured as Chlor. *a*, showed significant differences between: periods, months, and locations ($K-S=2.79$; $KW=48.77$; $KW=13.87$; $p<0.05$; respectively (Fig. 7A, B, C). The 2012-13 period presented the lowest average of Chlor. *a* (1.83 mg m^{-3}); whereas in 2015 the average was higher (3.13 mg m^{-3} ; Fig. 7A). Between months, this variable fluctuated in the range of $0.36-13.44 \text{ mg m}^{-3}$ from June 2012 to March 2013 (Fig. 7B). However, in 2015, two peaks of Chlorophyll *a* were determined, the first in March and the second in June of the same year (4 and 6.24 mg m^{-3}). By location, the lowest average of Chlor. It was determined in Sipara (0.54 mg m^{-3}), while the highest average was detected in Río Caribe (4.57 mg m^{-3}) with a maximum of 39.45 mg m^{-3} in March 2013 (Fig. 7B).

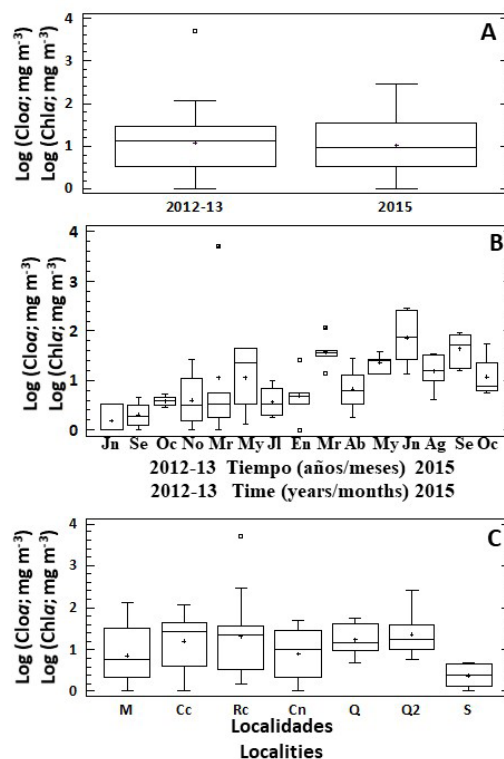


Figura 7. Variación de la concentración de clorofila *a* (mg m⁻³) en la costa norte de la península de Paria, suroriente Caribe, Venezuela, durante el período junio 2012-julio 2013 y enero octubre 2015. **A.** Variación anual, **B.** Variación mensual, **C.** Localidad.

Figure 7. Variation of chlorophyll *a* concentration (mg m⁻³) on the north coast of the Paria Peninsula, S.E. Caribbean, Venezuela, during the period June 2012-July 2013 and January-October 2015. **A.** Annual variation, **B.** Monthly variation, **C.** Locality.

Durante el período 2012-13, las aguas superficiales de la costa norte de la península de Paria, suroriente del Caribe, presentaron un índice trófico (IT), para NH₄⁺ mínimo (2.2) y máximo (5.0) en las localidades de Playa Los Cocos y Río Caribe. En relación con NO₂⁻ y FRS el comportamiento del IT fue similar; es decir mínimos en Los Cocos (1.23, 1.50, respectivamente) y máximos en Río Caribe (2.34, 2.70, respectivamente); mientras que en relación con el IT para NO₃⁻, el mínimo (2.7) fue determinado en Sipara y máximo (6.5) en Río Caribe (Figura 8).

During the 2012-13 period, the surface waters of the northern coast of the Paria Peninsula, S.E. of the Caribbean, showed a trophic index (TI) for NH₄⁺ with a minimum (2.2) and maximum (5.0) at the locations of Playa Los Cocos and Río Caribe. In relation to NO₂⁻ and FRS, the behavior of the TI was similar; that is, minimums in Los Cocos (1.23; 1.50; respectively) and maximums in Río Caribe (2.34; 2.70; respectively); while in relation to the IT for NO₃⁻, the minimum (2.7) was determined in Sipara and the maximum (6.5) in Río Caribe (Fig. 8).

En 2015, la mayoría de los nutrientes mostraron una tendencia a disminuir el valor del IT. Sin embargo, las aguas superficiales de Querepare2 y Río Caribe presentaron el valor mínimo (2.8) y máximo (4.40) para NH₄⁺. El NO₃⁻ y FRS tuvieron un comportamiento similar al determinado para NH₄⁺, con valores mínimos (2.60 y 2.76) y máximo (3.80 y 3.30) en Querepare2 y Río Caribe, respectivamente. El IT para NO₂⁻ tuvo un comportamiento diferente con mínimo (2.72) y máximo (3.30) en las aguas superficiales de Los Cocos y Río Caribe (Figura 8).

In 2015, the majority of nutrients showed a trend of decreasing the TI value. However, the surface waters of Querepare2 and Río Caribe presented the minimum (2.8) and maximum (4.40) values for NH₄⁺. NO₃⁻ and FRS exhibited a similar behavior to that determined for NH₄⁺, with minimum values (2.60 and 2.76) and maximum (3.80 and 3.30) in Querepare2 and Río Caribe, respectively. The IT for NO₂⁻ had a different behavior with a minimum (2.72) and maximum (3.30) in the surface waters of Los Cocos and Río Caribe (Fig. 8).

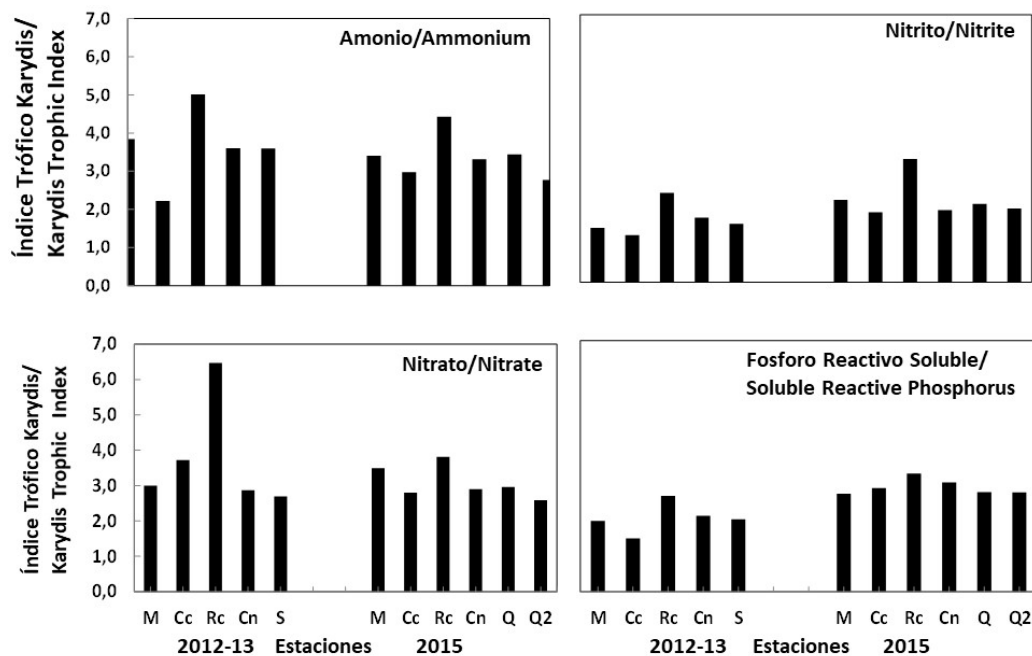


Figura 8. Variación estacional del índice trófico Karydis (IT) para: Amonio, Nitrito, Nitrito y Fósforo Reactivo Soluble en la zona costera de Paria, S.E. Caribe, Venezuela, durante junio 2012- julio 2013 y enero octubre 2015.

Figure 8. Seasonal variation of the Karydis trophic index (T.I.) for: A) ammonium, C) nitrite, E) nitrate, and D) FRS in the coastal area of Paria, S.E. Caribbean, Venezuela, during June 2012 - July 2013 and January - October 2015.

En relación con el ACP, para el período 2012-13 la varianza acumulada de los tres primeros componentes fue 77.68 %. El componente 1 (35.28 %) se correlacionó positivamente con NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , lluvia, FRS siendo débil con clorofila y temperatura del agua. Este grupo de variables se correlacionaron de manera negativa con oxígeno disuelto y velocidad promedio del viento. El componente 2 (23.57 %), se correlacionó positivamente con: velocidad promedio del viento, oxígeno disuelto, siendo negativa con la temperatura del agua (Figura 9A).

En el período 2015, la varianza acumulada de los tres primeros componentes del ACP fue de 70.83 %. Con el componente 1 (29.74 %) se halló una correlación positiva entre: NO_2^- , NH_4^+ , NO_3^- ; siendo negativa con temperatura del agua, oxígeno disuelto y la velocidad promedio del viento. Ambos grupos de variables se correlacionaron de manera inversa entre ellas. En relación con el componente 2 (24.1%) la correlación fue positiva con FRS, lluvia, siendo débil con clorofila a y negativa con NO_3^- (Figura 9B).

In relation to the PCA, for the 2012-13 period, the accumulated variance of the first three components was 77.68%. Component 1 (35.28%) was positively correlated with NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , rain, FRS, being weakly correlated with Chlor. a and water temperature. This group of variables correlated negatively with dissolved oxygen and average wind speed. Component 2 (23.57%) was positively correlated with: average wind speed, dissolved oxygen, and negatively with water temperature (Fig. 9A).

In the 2015 period the accumulated variance of the first three components of the PCA was 70.83%. With component 1 (29.74%), a positive correlation was found between: NO_2^- , NH_4^+ , NO_3^- ; being negative with water temperature, dissolved oxygen, and average wind speed. Both groups of variables were inversely correlated with each other. In relation to component 2 (24.19%), the correlation was positive with FRS, rain, being weak with Chlor. a and negative with NO_3^- (Fig. 9B).

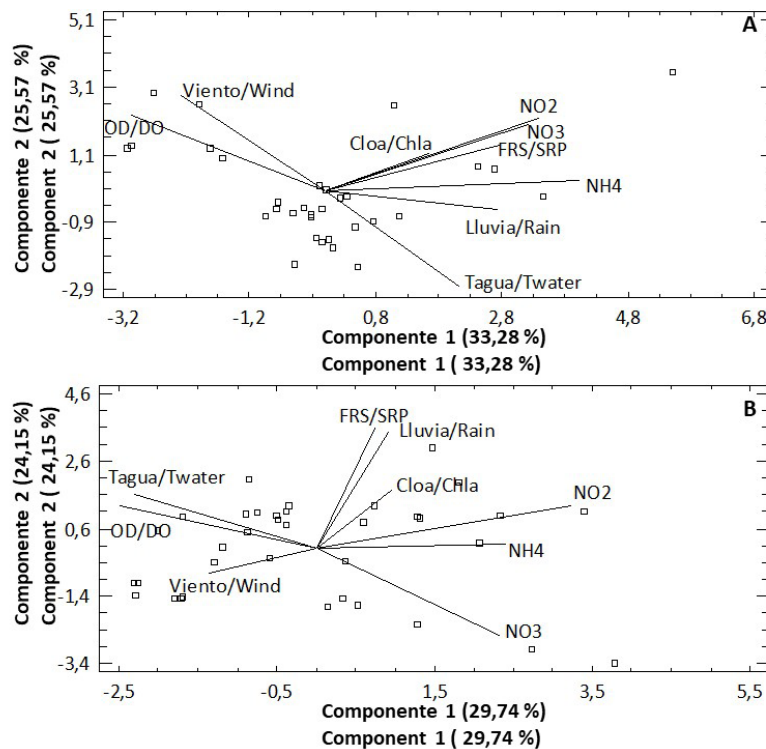


Figura 9. Proyección ortogonal de algunas variables físicoquímicas y biológicas en el espacio definido por los dos primeros componentes del ACP durante: A. 2012-13. B. 2015, en la costa norte de la península de Paria, suroriente Caribe, Venezuela. Lluvia/rain: Lluvia; Viento: Velocidad promedio del viento, Wind: Average Wind speed; Taguar: Temperatura superficial del agua de mar, Twater: Seawater surface temperature; OD: Oxígeno disuelto en el agua, DO: Dissolved oxygen in water; Cloa: Clorofila a, Chla: Chlorophyll a; FRS: Fósforo Reactivo Soluble, SRP: Soluble Reactive Phosphorus; NH₄:NH₄⁺, Amonio/Amomnium; NO₂:NO₂⁻: Nitrito/Nitrite; NO₃: NO₃⁻, Nitrato/Nitrate.

Figure 9. Orthogonal projection of some physicochemical and biological variables in the space defined by the first two components of the PCA during: A. 2012-13. B. 2015, on the northern coast of the Paria Peninsula, S.E. Caribbean, Venezuela. Rain: Rain, Wind: Average wind speed, TEM: Sea surface temperature, OXI: Dissolved oxygen in water, CLORa: Chlorophyll a, FEOP: Pheopigments, NH₄: Ammonium (NH₄⁺), NO₂: Nitrite (NO₂⁻), NO₃: Nitrate (NO₃⁻), FRS: Soluble reactive phosphorus.

DISCUSIÓN

La costa norte de la península de Paria se caracterizó por presentar fuerte brisa y oleaje; sin embargo, el mes más calmado fue octubre 2015 (5,3 m s⁻¹). Aparicio-Castro (2003) señaló que el fuerte oleaje se debe a una marcada estacionalidad en el campo de viento, que influencia el régimen de oleaje sobre la costa nororiental de Venezuela y estableció el semestre enero - junio de intenso oleaje con valores de frecuencia de ocurrencia de olas entre 1.8 y 3 m de altura, mayor a 10 %.

Los resultados de la velocidad del viento difieren de los detectados por Subero-Pino (2014) en la estación de Guaracayal, golfo de Cariaco, y también con el trabajo de Márquez et al. (2011) en el sector oriental del Golfo de Cariaco (en el intervalo 1-6 m s⁻¹). Sin embargo, están en el intervalo detectado por Rueda-Roa et al. (2018) en la región sur del Caribe (5-9 m s⁻¹), señalando, además,

DISCUSSION

The northern coast of the Paria Peninsula was characterized by strong winds and waves; however, the calmest month was October 2015 (5.3 m s⁻¹). Aparicio-Castro (2003) indicated that the strong waves are due to a marked seasonality in the wind field, which influences the wave regime along the northeastern coast of Venezuela and established the January - June semester as a period of intense waves with frequency of occurrence values, of waves between 1.8 and 3 m in height, greater than 10%.

The wind speed results differ from those detected by Subero-Pino (2014) at the Guaracayal station, Gulf of Cariaco, and also from the work of Márquez et al. (2011) in the eastern sector of the Gulf of Cariaco (in the range of 1-6 m s⁻¹). However, they are within the range detected by Rueda-Roa et al. (2018) in the southern Caribbean zone (5-9 m s⁻¹), also indicating that they are within the

que se encuentran dentro del rango favorable para el fenómeno de surgencia costera.

En relación con la temperatura, la amplitud del ciclo anual de temperatura de 5°C coincidió con lo señalado por Aparicio-Castro (2003). La elevada temperatura del agua detectada durante el primer periodo (2012-13) posiblemente se debe a que la mayoría de los muestreos se realizaron durante la época de lluvia/calma; además las muestras tomadas provienen de la capa superficial. En este sentido, Okuda *et al.* (1978), en un estudio realizado en el golfo de Cariaco, señalan que la capa superficial es la que recibe directamente la radiación solar y por tanto se calienta más que el resto de la columna de agua. Esto ocurre porque en la temporada de lluvia/calma, al disminuir la velocidad del viento, se reduce el intercambio vertical y el flujo de calor desde las capas superiores hacia lo profundo y paralelamente aumenta la evaporación superficial.

En relación con la disminución de la temperatura observada en marzo 2013 y abril 2015 (sequía/surgencia), se debe a la surgencia costera, ocasionada por el transporte costero de Ekman causado por la intensificación estacional de los vientos Alisios en el Caribe (Rueda-Roa *et al.*, 2018). Un evento importante ocurrió en junio 2015 cuando la temperatura superficial del agua de mar disminuye, aumenta la concentración de NH_4^+ y FRS asociada al aumento de la concentración de clorofila *a*. Esto ha sido mencionado por Rueda-Roa y Müller-Karger (2013) y también por Rueda-Roa *et al.* (2018) y lo denominaron surgencia secundaria o surgencia de mediados de año. En este estudio la surgencia secundaria ocurrió en junio 2015. Rueda-Roa (2000), Müller-Karger *et al.* (2004), Rueda-Roa y Müller-Karger (2013) y Rueda-Roa *et al.* (2018) señalan que la surgencia secundaria de mitad de años también se caracteriza por ser más corta y cálida (1-2 °C más). Esta surgencia de mediados de años se ha observado posteriormente en otros años de la serie tiempo Cariaco, es distinta y está separada de la temporada de surgencia primaria señalada por Herrera y Febres (1975). En la región costera de Paria, cuando la surgencia primaria y secundaria culminan, como sucedió en agosto 2015, el evento dominante depende de las descargas del río Orinoco (Gómez, 1998). En este caso, en agosto se comienza a elevar la temperatura superficial del agua de mar (de 1-2 °C adicionales), si se compara con el promedio detectado para la surgencia del primer semestre del año; mientras que la concentración de clorofila *a* y los nutrientes se mantienen altos, poniendo en evidencia la influencia de las

favorable range for the coastal upwelling phenomenon.

In relation to temperature, the amplitude of the annual temperature cycle of 5°C coincided with what was indicated by Aparicio-Castro (2003). The high water temperature detected during the first period (2012-13) is possibly due to the fact that most of the samples were taken during the rainy/calm season; additionally, the samples were taken from the surface layer. In this regard, Okuda *et al.* (1978) in a study conducted in the Gulf of Cariaco, it is noted that the surface layer is the one that directly receives solar radiation and therefore heats up more than the rest of the water column. This occurs because during the rainy/calm season, as the wind speed decreases, the vertical exchange and the heat flow from the upper layers to the depths are reduced, and simultaneously, surface evaporation increases.

In relation to the decrease in temperature observed in March 2013 and April 2015 (drought/upwelling), it is due to coastal upwelling, caused by the coastal Ekman transport resulting from the seasonal intensification of the Trade Winds in the Caribbean Sea (Rueda-Roa *et al.*, 2018). An important event occurs in June 2015 when the sea surface temperature decreases, the concentration of NH_4^+ and FRS increases, associated with the increase in Chlor concentration. *a*. This has been mentioned by Rueda-Roa and Müller-Karger (2013) and also by Rueda-Roa *et al.* (2018) and they called it secondary upwelling or mid-year upwelling. In this study, the secondary upwelling occurred in June 2015. Müller-Karger *et al.* (2004); Rueda-Roa (2000); Rueda-Roa and Müller-Karger (2013); Rueda-Roa *et al.* (2018) indicate that the mid-year secondary upwelling is also characterized by being shorter and warmer (1-2 °C, more). This mid-year upwelling has been observed subsequently in other years of the CARIACO time series; it is distinct and separate from the primary upwelling season noted by Herrera and Febres (1975). In the coastal area of Paria, when the primary and secondary upwelling ends, as in August 2015, the dominant event depends on the discharges of the Orinoco River (Gómez, 1998). In this case, in August, the sea surface temperature begins to rise (by an additional 1-2 °C) compared to the average detected for the upwelling in the first half of the year; while the concentration of Chlor. and the nutrients remain high, highlighting the influence of the Orinoco River waters between August-October 2015, whose maximum discharge is in August (Müller-Karger and Varela, 1990; Monente, 1997; Aparicio-Castro, 2003). These results indicate that the area is fertilized during the first months of the year

aguas del río Orinoco entre agosto-octubre 2015, cuya descarga máxima es en agosto (Müller-Karger y Varela, 1990; Monente, 1997; Aparicio-Castro, 2003). Estos resultados indican que la región es fertilizada durante los primeros meses del año por la surgencia primaria (Herrera y Febres, 1975), posteriormente en junio la surgencia secundaria (Rueda-Roa and Müller-Karger, 2018) y cuando la surgencia disminuye en agosto las descargas de los grandes ríos como el río Orinoco (Monente, 1986, 1997) y los ríos locales también contribuyen a la fertilización de las aguas. Esta secuencia de eventos es favorable para el sistema pesquero local, ya que mantiene alta productividad pesquera durante todo el año.

Los resultados de este trabajo coinciden con lo determinado por Xiu *et al.* (2018) con respecto a las temperaturas superficiales en el norte de Sudamérica. Estos autores señalan que en esta región las aguas son más frías que en el centro y norte del Caribe. Los registros de temperatura *in situ* señalaron una temperatura promedio más baja (25.6°C) durante el segundo período, evidencia del mantenimiento de las condiciones hidroquímicas en esta área del Caribe que hacen de la surgencia un evento sostenible en el tiempo.

Durante ambos períodos el NH_4^+ fue la forma predominante de nitrógeno inorgánico en todas las estaciones de la costa norte de la península de Paria; cabe señalar que en Río Caribe esta variable alcanzó la concentración más alta en junio del 2015 (11.81 $\mu\text{mol L}^{-1}$). Es posible que la alta concentración de NH_4^+ y el amplio intervalo de fluctuación en ambos períodos, se deba al suministro de nutrientes debido a la surgencia primaria (Herrera y Febres, 1975), surgencia secundaria (Rueda-Roa *et al.*, 2018); la descarga de grandes ríos como el Orinoco, cuyo máximo ($> 65000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) es en agosto (Monente, 1986; 1997), las descargas intermitentes de los ríos locales, que sólo en la época de lluvia vierten sus aguas al mar transportando gran cantidad de materia orgánica, las descargas domésticas de la localidad y el lavado y eviscerado del pescado del mercado, promueven la producción de NH_4^+ por acción bacteriana. De Santis Braga *et al.* (2018) añaden también como fuentes de NH_4^+ la excreción por parte del zooplancton, otros animales y la actividad bacteriana anóxica sobre NO_3^- . Martínez *et al.* (2012) mencionan que la concentración de NH_4^+ es mayor en las áreas cercanas a los centros más poblados; éste es el caso de El Morro y río Caribe. En Querepare 2 se detectaron los promedios mínimos de NH_4^+ , posiblemente debido a consumo por parte de

by the primary upwelling (Herrera and Febres, 1975), then in June by the secondary upwelling (Rueda-Roa and Müller-Karger, 2018), and when the upwelling decreases in August, the discharges from large rivers like the Orinoco River (Monente, 1977, 1997) and local rivers also contribute to the fertilization of the waters. This sequence of events is favorable for the local fishing system, as it maintains high fishing productivity throughout the year.

The results of this work are consistent with the findings of Xiu *et al.* 2018 with respect to surface temperatures in northern South America. These authors point out that in this region the waters are cooler than in the central and northern Caribbean. The *in situ* temperature records indicated a lower average temperature (25.6°C) during the second period, evidence of the maintenance of the hydrochemical conditions in this area of the Caribbean that make upwelling a sustainable event over time.

During both periods, NH_4^+ was the predominant form of inorganic nitrogen at all stations on the northern coast of the Paria Peninsula; it is noteworthy that in Río Caribe, this variable reached the highest concentration in June 2015 (11.81 $\mu\text{mol L}^{-1}$). The high concentration of NH_4^+ and the wide range of fluctuation in both periods may be due to the supply of nutrients from primary upwelling (Herrera and Febres, 1975), secondary upwelling (Rueda-Roa *et al.*, 2018); the discharge of large rivers like the Orinoco, whose maximum discharge ($> 65000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) occurs in August (Monente, 1977), the intermittent discharges of local rivers, which only during the rainy season pour their waters into the sea carrying a large amount of organic matter, domestic discharges from the locality, the washing and gutting of fish from the market, promote the production of NH_4^+ by bacterial action. De Santis Braga *et al.* (2018) also add as sources of NH_4^+ : excretion by zooplankton, other animals, and anoxic bacterial activity on NO_3^- . Martínez *et al.* (2012) mention that the concentration of NH_4^+ is higher in areas near the most populated centers; this is the case for El Morro and Río Caribe. In Querepare 2, the minimum averages of NH_4^+ were detected, possibly due to consumption by microalgae, associated with a high concentration of Chlor. *to*. It is worth noting that in Sipara the concentration of this nutrient was higher (2.79 $\mu\text{mol L}^{-1}$); however, the Chlor. *a*. average was lower (0.6 mg m^{-3}), this is possibly due to the biological activity of organisms in the natural mussel beds *P. perna*. These organisms feed on microalgae, reducing the biomass, and as an excretion product, they generate NH_4^+ .

In relation to the concentration of NO_2^- , since it is considered an

las microalgas, asociado a una alta concentración de clorofila *a*. Cabe destacar que en Sipara la concentración de este nutriente fue mayor ($2,79 \mu\text{mol L}^{-1}$); sin embargo, la clorofila *a* promedio fue menor (0.6 mg m^{-3}), esto es posiblemente debido a la actividad biológica de los organismos en los bancos naturales del mejillón. Estos organismos se alimentan de microalgas disminuyendo la biomasa y como producto de excreción generan NH_4^+ .

En relación con la concentración de NO_2^- , éste, al ser considerado un producto intermedio entre NH_4^+ y NO_3^- , su permanencia en el ambiente es corta. Por lo tanto, la concentración de NO_2^- se considera normal para este tipo de ecosistema.

Se ha señalado que el NO_3^- entra en el ciclo del nitrógeno como soporte principal del crecimiento del fitoplancton; siendo seguidamente regenerado a partir de las formas orgánicas por las bacterias (Senior, 1991, 2009). Las bajas concentraciones de NO_3^- detectadas, en marzo 2013 y 2015, coinciden con los valores de biomasa más altos, los cuales son posibles debido al consumo de este nutriente por las microalgas (Márquez *et al.*, 2011).

En líneas generales, la concentración de FRS coincide con los registros de Martínez *et al.* (2012); sin embargo, entre junio – octubre 2015 se determinaron valores más elevados, asociados a una alta concentración de clorofila debido a enriquecimiento relacionado posiblemente a: la surgencia secundaria de mitad de año señalada por Rueda-Roa y Müller-Karger (2013) y Rueda-Roa *et al.* (2018). Posterior a la intrusión de aguas provenientes del río Orinoco a través del estrecho de Boca Dragón vía golfo de Paria (Müller-Karger y Varela, 1990; Monente, 1997). Otras fuentes de FRS son: el uso de plaguicidas y fertilizantes productos de actividad agrícola, uso de detergentes de polifosfatos que por efecto de hidrólisis y de la actividad bacteriana incrementan el fósforo en el medio (Martínez *et al.*, 2001; Morales *et al.*, 2010). Las descargas domésticas y descomposición de los desechos de productos marinos arrojados directamente al mar.

En la costa norte de Paria, los promedios máximos de clorofila *a* se asociaron a bajas temperaturas, bajo nitrato, alto FRS y NH_4^+ , como sucedió en marzo 2013, marzo y abril 2015 y entre junio y octubre 2015. Esto pudiera ser el resultado del suministro de nutrientes por surgencia y las descargas de los ríos. Estas últimas son las principales fuentes de enriquecimiento en el área, lo cual difiere de lo señalado por Márquez *et al.* (2011) en el sector oriental del golfo de Cariaco; allí se observó un desfase de la

intermediate product between NH_4^+ and NO_3^- , its presence in the environment is short-lived. Therefore, the concentration of NO_2^- is considered normal for this type of ecosystem.

It has been noted that NO_3^- enters the nitrogen cycle as the main support for phytoplankton growth; subsequently being regenerated from organic forms by bacteria (Senior, 1991, 2009). The low concentrations of NO_3^- detected in March 2013 and 2015 coincide with the highest biomass values, which are possible due to the consumption of this nutrient by microalgae (Márquez *et al.*, 2011).

In general terms, the concentration of FRS coincides with the records of Martínez *et al.* (2012); however, between June–October 2015, higher values were determined, associated with a high concentration of chlorine. possibly due to enrichment related to: the mid-year secondary upwelling indicated by Rueda-Roa and Müller-Karger (2013) and Rueda-Roa *et al.* (2018); following the intrusion of waters from the Orinoco River through the Boca Dragón strait via the Gulf of Paria (Müller-Karger and Varela, 1990; Monente, 1997). Other sources of FRS are: the use of pesticides and fertilizers from agricultural activity, the use of polyphosphate detergents which, through the effect of hydrolysis and bacterial activity, increase phosphorus in the environment (Martínez *et al.*, 2001; Morales *et al.*, 2010). Domestic discharges and decomposition of marine product waste dumped directly into the sea.

On the northern coast of Paria, the maximum averages of Chlor. *a* were associated with low temperatures, low nitrate, high FRS, and NH_4^+ as happened in March 2013, March and April 2015, and then between June and October 2015. This could be the result of nutrient supply from upwelling and river discharges. These are the main sources of enrichment in the area, which differs from what was indicated by Márquez *et al.* (2011) in the eastern sector of the Gulf of Cariaco where a shift in Chlor. was observed. to the nutrients, attributed to a process of acclimatization of the microalgae, in this work that does not occur. However, it coincides with what was reported by Richard (1963), Subero-Pino (2014), Márquez-Rojas *et al.* (2022) in the same Gulf of Cariaco, suggesting that the upwelling is the main source of enrichment in the area. The maximum of Chlor. *a* detected in March 2013 (in Río Caribe), was due to a diatom bloom associated with a decrease in sea surface temperature, excess NH_4^+ and an increase in the concentration of FRS. These events are typical of subsurface water upwelling, with low temperatures and high nutrients. For logistical reasons, Playa Sipara was only sampled during 2012-13, in which the minimum

clorofila *a* con los nutrientes, atribuido a un proceso de aclimatación de las microalgas, en este trabajo eso no ocurrió. Sin embargo, coincide con lo registrado por [Richard \(1963\)](#), [Subero-Pino \(2014\)](#) y [Márquez-Rojas *et al.* \(2022\)](#) en el mismo golfo, sugiriendo que la surgencia es la principal fuente de enriquecimiento en la región. El máximo de clorofila *a* detectado en marzo 2013 (en Río Caribe), se debió a un florecimiento de diatomeas asociado a disminución de la temperatura superficial del mar, exceso de NH_4^+ y aumento de la concentración de FRS. Estos eventos son típicos de surgencia de agua subsuperficial, con temperaturas bajas y altos nutrientes. Por razones de logística, Playa Sipara solo fue muestreada durante 2012-13; en ésta, el promedio mínimo de clorofila *a* detectado fue debido a que en 2012-13 el muestreo se inició en la época de lluvia/calma. Además, es una columna de agua muy somera, con poca turbulencia y la transparencia llega al fondo donde, tal vez, exista fotoinhibición en superficie. También es posible que la baja concentración de clorofila *a* se deba al consumo por parte de los moluscos en los bancos naturales de la región.

Los índices tróficos proporcionan información sinóptica sobre las redes alimentarias de los ecosistemas, lo cual permite generar criterios ecológicos para definir acciones de gestión y conservación de estos ambientes. En la península de Paria, el índice trófico (IT) utilizado fue el de Karydis. Los resultados del IT en la zona difieren un poco de los determinados por [Prado-España \(2017\)](#) en Guayaquil (Ecuador), utilizando el IT Karydis. En ese caso el estado trófico fue mesotrófico, con valores más elevados en el estuario interior debido probablemente a que recibe los aportes que provienen de actividades antrópicas; mientras que, en las aguas superficiales de la costa norte de la península de Paria cada una de las localidades tuvo un comportamiento diferente. El banco de mejillón de Querepare tuvo el IT más bajo para todos los nutrientes; siendo principalmente oligotrófico. Aparentemente los nutrientes producidos son destinados al soporte de la biomasa fitoplanctónica determinada en el área. Mientras que el banco de mejillones de Sipara varió de mesotrófico para NH_4^+ a oligotrófico para el resto de los nutrientes. El estado trófico de Cangua se mantuvo entre una condición mesotrófica a oligotrófica sin grandes variaciones entre períodos; soportando una biomasa moderada (Figura 7C). Mientras que el IT de las aguas superficiales de Río Caribe fue el más alto para todos los nutrientes, encontrándose en estado eutrófico para NH_4^+ y NO_3^- durante 2012-13 y mesotrófico para NO_2^- y FRS tanto en 2012-13 como en 2015. Los resultados indican la influencia de los aportes antropogénicos, sobre todo

average of Chlor. *a* detected in the locality of Sipara was due to the fact that in 2012-13 the sampling began during the rainy/calm season, in addition, it is a very shallow water column, with little turbulence and the transparency reaches the bottom where perhaps, there is surface photoinhibition. It is also possible that the low concentration of chlorine is due to consumption by mollusks in the natural banks of the area.

Trophic indices provide synoptic information about the trophic state of ecosystems, which allows for the generation of ecological criteria to define management and conservation actions for these environments. In the Paria Peninsula, S.E. of the Caribbean, the trophic index used was that of Karydis. The IT results in the area differ slightly from those determined by [Prado-España \(2017\)](#) in Guayaquil-Ecuador, using the Karydis TI. In this case, the trophic state was mesotrophic, with higher values in the inner estuary probably due to inputs from anthropogenic activities; whereas, in the surface waters of the northern coast of the Paria Peninsula (S.E. Caribbean), each location exhibited different behavior. The mussel bank of Querepare had the lowest IT for all nutrients; being mainly oligotrophic. Apparently, the nutrients produced are possibly intended to support the phytoplankton biomass determined in the area. While the mussel bank of Sipara varied from mesotrophic for NH_4^+ to oligotrophic for the rest of the nutrients. The trophic state of Cangua remained between a mesotrophic to oligotrophic condition without significant variations between periods, supporting a moderate biomass (Fig. 7C). While the TI of the surface waters of Río Caribe was the highest for all nutrients, it was in a eutrophic state for NH_4^+ and NO_3^- during 2012-13 and mesotrophic for NO_2^- and FRS both in 2012-13 and in 2015. The results indicate the influence of anthropogenic contributions on all nitrogen due to the eutrophic condition for these nutrients. This suggests the control of wastewater emissions of anthropogenic origin.

So far, the microalgae blooms, like the one detected in this locality due to the high biomass determined (39.45 mg m^{-3} of Chlor. *a*) apparently, have not been harmful to other trophic levels. However, at some point the assimilative capacity of the environment could be exceeded, causing a system collapse due to the prolonged eutrophication process, favoring the excessive growth of microalgae, which could lead to the death of other organisms either by: oxygen depletion, intoxication, or suffocation. This is important in the area where other toxic events with fatal outcomes have already been reported, as mentioned by [Reyes-Vásquez *et*](#)

nitrógeno, debido a la condición eutrófica para estos nutrientes. Esto sugiere el control de las emisiones de aguas servidas de origen antropogénico.

Hasta el momento los florecimientos de microalgas, como el detectado en esta localidad debido a la alta biomasa determinada (39.45 mg m^{-3} de clorofila *a*), aparentemente no han resultado perjudiciales para otros niveles tróficos. Sin embargo, en algún momento se podría superar la capacidad asimilatoria del medio, ocasionando un colapso del sistema debido a el proceso de eutrofización prolongado, favoreciendo el crecimiento excesivo de microalgas, que podría ocasionar muerte de otros organismos ya sea por: agotamiento de oxígeno, intoxicación o asfixia. Esto es importante en el área donde ya se han registrado otros eventos tóxicos con resultados fatales como el mencionado por Reyes-Vásquez *et al.* (1979) al nororiente del estado Sucre (Río Caribe), evento que se presentó a finales de julio de 1977, cuando 9 niños murieron, posterior al consumo de mejillones mostrando los síntomas típicos de veneno paralizante de moluscos.

Los resultados de este trabajo coinciden con lo determinado por Xiu *et al.* (2018) con respecto a las temperaturas superficiales en el norte de Sudamérica. Estos autores señalan que en esta región las aguas son más frías que en el centro y norte del Caribe. Los registros de temperatura *in situ* señalaron una temperatura promedio más baja (25.6°C) durante el segundo período, evidencia del mantenimiento de las condiciones hidroquímicas en esta región del Caribe que hacen de la surgencia un evento sostenible en el tiempo; estos resultados también concuerdan con los obtenidos por Gómez y Acero (2020). Los resultados de esta investigación demuestran la sostenibilidad de la surgencia en el tiempo debido a los valores de temperatura obtenidos y comparados con los de otros autores. El oriente de Venezuela tiene mayor fertilidad y producción pesquera porque la masa de Agua Subsuperficial Subtropical es la que abastece la surgencia durante los primeros meses del año (sequía). En el segundo semestre, cuando la surgencia se relaja, el área se enriquece con materia orgánica del río Orinoco y el aporte de biomasa fitoplanctónica proveniente de lagunas costeras, golfos y bahías semicerradas. También juega un papel fundamental la amplitud de la plataforma continental con la presencia de archipiélagos, islas mayores y menores que causan enriquecimientos locales y la concentración y retención del plancton. Esto último aumenta la productividad biológica y propicia la reproducción de esos organismos.

al. (1979) to the northeast of the state of Sucre, (Río Caribe). event that occurred at the end of July 1977, when 9 children died after consuming mussels, showing the typical symptoms of paralytic shellfish poisoning (Reyes-Vásquez *et al.*, 1979).

The results of this work are consistent with the findings of Xiu *et al.* (2018) with respect to surface temperatures in northern South America. These authors point out that in this region the waters are cooler than in the central and northern Caribbean. The *in situ* temperature records indicated a lower average temperature (25.6°C) during the second period, evidence of the maintenance of hydrochemical conditions in this area of the Caribbean that make upwelling a sustainable event over time. These results also match those obtained by Gómez and Acero (2020). The results of this research demonstrate the sustainability of the upwelling over time due to the temperature values obtained in this work and compared with those of other authors. The eastern part of Venezuela has greater fertility and fish production because the Subtropical Subsurface Water mass supplies the upwelling during the first months of the year (drought). In the second semester, when the upwelling relaxes, the area is enriched with organic matter from the Orinoco River and the contribution of phytoplankton biomass from coastal lagoons, gulfs, and semi-enclosed bays. The breadth of the continental shelf also plays a fundamental role with the presence of archipelagos, major and minor islands that cause local enrichments and the concentration and retention of plankton. This latter increases biological productivity and promotes the reproduction of those organisms.

CONCLUSIONES

El estudio demuestra que las condiciones hidroquímicas de la costa norte de la península de Paria están influenciadas por varios factores: la surgencia primaria debido al fortalecimiento estacional de los vientos Alisios. La surgencia secundaria durante junio-julio debido a una intensificación de la Corriente del Caribe cuando las intensidades locales de los vientos costeros se debilitan. Ambas llevarían todos los nutrientes (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ y FRS) de las aguas profundas a la superficie, favoreciendo la concentración de clorofila *a*. Seguidamente, cuando la surgencia se detiene, las lluvias aumentan la descarga de los ríos, trayendo nutrientes que actúan sobre la clorofila *a*. Finalmente, los ríos locales de manera intermitente y las descargas antrópicas.

El índice trófico Karydis señaló que las aguas del banco natural de mejillones de Río Caribe son eutróficas para NH_4^+ , NO_3^- y oligotrófica para NO_2^- a mesotrófica para FRS; ocupando Río Caribe el valor más alto del IT en cada una de estas condiciones tróficas. Esto es muy importante dado que el IT es más alto, donde la actividad humana es más intensa, pudiendo llegar a la modificar los procesos biogeoquímicos, modificando potencialmente la concentración de nutrientes, y/o proporciones en aguas costeras, modificando su estado trófico conduciendo a la eutrofización y finalmente favoreciendo el desarrollo de floraciones de algas nocivas, perjudiciales para el sistema pesquero local. Esto último podría resultar en un aumento de la mortalidad de ciertos organismos como sardinas (*Sardinella aurita*), materia prima principal de las industrias de fabricación de conservas marinas, una de las principales fuentes de empleo de la región, así como afectación a otros miembros de la cadena trófica como los existentes en los bancos naturales de moluscos *Perna perna* y *Arca zebra* más grande del país y del Caribe.

Debido a que los resultados del índice trófico Karydis revela que las aguas en la región varían de mesotrófico a eutrófico para nutrientes, la Cloa está en relación con la abundancia fitoplanctónica, en datos no publicados aún, donde la pesca y la extracción de bivalvos es de larga data y no hay indicios de sobreexplotación de los recursos, existe la posibilidad de cambios en las corrientes marinas y en el patrón regional de lluvias, bajo influencia de la crisis climática. Esto amerita el establecimiento de al menos una estación de series de tiempo para monitorear los posibles cambios en los bancos de bivalvos y las comunidades nectónicas.

CONCLUSIONS

The study demonstrates that the hydrochemical conditions of the northern coast of the Paria Peninsula, S. E. of the Caribbean, are influenced by several factors: the primary upwelling due to the seasonal strengthening of the Trade Winds. The secondary upwelling during June-July due to an intensification of the Caribbean Current during June and July when the local intensities of the coastal winds weaken. Both would carry all the nutrients (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , and FRS) from the deep waters to the surface, favoring the concentration of Chlor. *a*. Subsequently, when the upwelling stops, the rains increase the discharge of the rivers, bringing nutrients that act on the Chlor *a*. Finally, the local rivers intermittently and the anthropogenic discharges.

The Karydis trophic index indicated that the waters of the natural mussel bank of Río Caribe are eutrophic for NH_4^+ , NO_3^- and oligotrophic to mesotrophic for NO_2^- to FRS; with Río Caribe having the highest IT value in each of these trophic conditions. This is very important since the IT is higher where human activity is more intense, potentially altering biogeochemical processes, potentially modifying the concentration of nutrients and/or proportions in coastal waters, changing their trophic state leading to eutrophication and ultimately favoring the development of harmful algal blooms, which are detrimental to the local fishing system. This could result in an increase in the mortality of certain organisms such as sardines (*Sardinella aurita*), the main raw material for the marine canning industries, one of the main sources of employment in the area, as well as affecting other members of the food chain such as those in the natural banks of mollusks *Perna perna* and *Arca zebra*, the largest in the country and the Caribbean.

Because the results of the Karydis trophic index reveal that the waters in the area range from mesotrophic to eutrophic for nutrients, the Chlor. *a* is related to phytoplankton abundance, in data not yet published, where fishing and bivalve extraction have been long-standing and there are no signs of resource overexploitation, there is the possibility of changes in ocean currents and in the regional rainfall pattern, under the influence of the climate crisis. This warrants the establishment of at least one time series station to monitor possible changes in bivalve beds and nektonic communities.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto titulado: "Variación espacial y temporal de las toxinas paralizantes y amnésicas en microalgas y moluscos bivalvos de los bancos naturales del municipio Arismendi, estado Sucre, Venezuela", FONACIT-UDO N°2012000085 y proyecto PEII N° 1868, financiado por el Ministerio del Poder Popular para Ciencia, Tecnología y Educación Universitaria, dirigido por Luisa Rojas, Universidad de Oriente. A Damelis Rojas (dirección del hospital "Pedro Rafael Figallo"), Alcaldía del municipio Arismendi (alcalde encargado Álvaro Lugo por su apoyo). A los laboratorios de fitoplancton y nutrientes del Instituto Oceanográfico de la UDO por facilitar el procesamiento de las muestras.

ACKNOWLEDGMENTS

To the project titled: "Spatial and temporal variation of paralytic and amnesic toxins in microalgae and bivalve mollusks from the natural banks of the Arismendi municipality, Sucre state, Venezuela," FONACIT-UDO No. 2012000085 and PEII project No. 1868, funded by the Ministry of Popular Power for Science, Technology, and University Education, directed by Luisa Rojas, University of Oriente. To Damelis Rojas (director of the "Pedro Rafael Figallo" hospital), Mayor's Office of the Arismendi municipality (acting mayor Álvaro Lugo for his support). To the Phytoplankton and Nutrient Laboratory of the Oceanographic Institute of the UDO for facilitating the processing of the samples.

BIBLIOGRAFÍA / LITERATURE CITED

- Akinawo, S. O. (2023). Eutrophication: Causes, consequences, physical, chemical and biological techniques for mitigation strategies. *Environmental Challenges* 12: pp. 1-18. doi.
<https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100733>
- Aparicio-Castro, R. (2003). Review of the oceanographic characteristics on the continental shelf of northeastern Venezuela. En: P. Fréon and J. Mendoza (eds.). The sardine (*Sardinella aurita*), its environment and exploitation in Eastern Venezuela. IRD (Colloques et Séminaires), Paris. pp. 171-200.
- Bendschneider, K. and R. Robinson. (1952). A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *Mar. Res.*, 11: 87-96.
- Bonilla, J. (1977). Condiciones hidroquímicas del agua y características químicas de los sedimentos del golfo de Paria durante la expedición LS-7302. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente Venezuela*, 16 (1y2): pp. 99-114.
- Bonilla, J., A. Quintero, J. Cordero, E. Basoa, B. Marín e Y. Figueroa. (2003). Condiciones hidrográficas y químicas en la columna de agua de las adyacencias de la cuenca de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. *Saber*, 15(1 y 2): pp. 106-112.
- 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 (4): 743-758.
- Castellanos, P., R. Varela y F. Müller-Karger. (2002). Descripción de las áreas de surgencia al sur del mar Caribe examinadas con el sensor infrarrojo AVHRR. *Mem. Soc. Cien. Nat. La Salle*, pp. 154:55-76.
- De Santis-Braga, E., V.G. Chiozzini and G.D. Benedetti Berbel. (2018). Oligotrophic water conditions associated with organic matter regeneration support life and indicate pollution on the western side of Fernando de Noronha Island-NE, Brazil, 3°S. *Braz. J. Oceanogr.*, 66(1): pp. 73-90. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592018148306601>
- FAO. (2024). Perfiles de Pesca y Acuicultura por Países. Venezuela (República Bolivariana de), 2020. Hojas de datos de perfiles de los países. En: Pesca y acuicultura. Roma. Actualizado Oct 7, 2021 [Citado Monday, July 8th 2024]. <https://www.fao.org/fishery/en/facp/ven?lang=es>
- Ferraz Reyes, E. (1987). Productividad primaria en el golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*, 26 (1 y 2): pp. 87-110.
- Fukuoka, J. (1965). Coastal upwelling near Venezuela (I). year to year changer of upwelling. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente Venezuela*, 4(2): pp. 223-233.
- Gade, H. (1961a). Informe sobre las condiciones hidrográficas en el Golfo de Cariaco para el período de comiensa en mayo y termina en noviembre 1960. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente Venezuela*, 1(1): pp. 21-46.
- Gade, H. (1961b). On some oceanographic observations in the south Eastern Caribbean Sea and adjacent Atlantic Ocean with special reference to the influence of the Orinoco river. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente Venezuela*, 1(2):287-342.
- Gómez G., A. (1998). Causas de la fertilidad marina en el nororiente de Venezuela. *Interciencia*, 21(3): pp. 140-146.
- Gómez Gaspar, A. y A. Acero P. (2020). Comparación de las surgencias de la Guajira colombiana y del oriente venezolano. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras 49(2). DOI: <https://doi.org/10.25268/bimc.invmar.2020.49.2.943>
- Herrera, L. y G. Febres. (1975). Procesos de surgencia y de renovación de aguas en la fosa de Cariaco, mar Caribe. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*, 14 (1): pp. 31-44.
- Jury, M. R. (2017). Eastern Venezuela coastal upwelling in context of regional weather and climate variability. *Reg. Stud. Mar. Sci.*, 18: 219-228.
- Kanduc, T., D. Kocman and N. Ogrinc. (2008). Hydrogeochemical and stable isotope characteristics of the River Idrijca (Slovenia), the boundary watershed between the Adriatic and Black Seas. *Aquat. Geochem.*, 14: pp. 239-262.
- Karydis, M. (1992). Scaling methods in assessing environmental quality a methodological approach to eutrophication. *Environ. Monit. Assess.*, 22:123-136.

- Koroleff, F. (1969). Direct determination of ammonia in natural water as indophenol blue. *Int. Counc. Explor. Sea.*, 9: pp. 19-22.
- López-Monroy, F y L. E. Troccoli-Ghinaglia. (2014). Aproximación sobre la climatología de la isla de Margarita y su importancia en los procesos oceánicos. *Saber*, 26(4): pp. 465-471.
- Márquez, A., W. Senior, A. Benítez y R. De La Cruz. (2011). Sector oriental del golfo de Cariaco, Venezuela. Una descripción de su dinámica hidroquímica. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente Venezuela*, 50(2): 255-272.
- Márquez-Rojas, B., L. Troccoli y J. Morales-Esparragoza. (2022). Distribución vertical de copépodos pelágicos en un estrato hipóxico del golfo de Cariaco (mar Caribe Oriental). *Rev. Biol. Mar. y Oceanogr.* 57(3): 162-180 <https://doi.org/10.22370/rbmo.2022.57.3.4085>
- Martín, A., L. Malavé, D. Sánchez, R. Aparicio, F. Arocha, D. Bone, J. A. Bolaños, J. Bolaños-Jiménez, J. Castañeda, J. J. Cárdenas, A. K. Carbonini, Y. J. Díaz, H. J. Guada, E. Klein, R. Lazpo, A. Lemus, M. Lentino, C. Lira, C. Lodeiros, R. López, B. Marín, G. Martínez, B. Márquez, A. Márquez, R. Molinet, F. Morales, J. Posada, A. Prieto, A. Riera, C. T. Rodríguez, A. Ramírez, W. Senior, P. Solana, H. Severeyn, P. Spiniello, E. Valera, C. Yanez y E. Zoppi., procesos y del rol de la surgencia costera estacional. (2007). En: Martín A, Bone D (Eds.). *Línea Base Ambiental Plataforma Deltana. Petróleos de Venezuela, S. A.* Univ Simón Bolívar. Caracas, Venezuela, pp. 176
- Martínez, G., J. Alvarado y W. Senior. (2001). Estudio físico-químico de las aguas superficiales de la cuenca baja y pluma del río Manzanares. *Interciencia*, 26(2):53-61.
- Martínez, G., J. Castañeda, W. Senior, A. Márquez y A. González. (2012). Caracterización ambiental de la ensenada de Playa Grande, estado Sucre, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente Venezuela*, 51 (2): 193-206.
- Moigis, A. y J. Bonilla. (1985). La productividad primaria del fitoplancton e hidrografía del golfo de Paria, Venezuela, durante la estación de lluvias. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente Venezuela*, 24(1 y 2): 163-175.
- Monente, J. (1986). Influencia del Orinoco en el Caribe. *Mem. Soc. Cien. Nat. La Salle*, 46(125-126): 163-175.
- Monente, J. (1997). Factores que controlan el caudal del Río Orinoco. *Mem. Soc. Cien. Nat. La Salle*, 57(147): 1-19.
- Morales-Ojeda, S.M., J.A. Herrera-Silveira and J. Montero. (2010). Terrestrial and oceanic influence on spatial hydrochemistry and trophic status in subtropical marine near-shore waters. *Water Res.*, 44: 5949-5964.
- Müller-Karger, F. E. y R., Varela. (1990). Influjo del río Orinoco en el mar Caribe: Observaciones con el CZCS desde el espacio. *Mem. Soc. Cien. Nat. La Salle*, 50:133-154.
- Müller-Karger, F., R. Varela, R. Thunell, Y. Astor, H. Zhanga, R. Luerssen and C. Hua. (2004). Processes of coastal upwelling and carbon flux in the Cariaco Basin. *Deep-Sea Res.*, II 51:927-943.
- Murphy, J. and J. Riley. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Act.*, 12: 162-170.
- Okuda, T., J. Álvarez, J. Bonilla y G. Cedeño. (1978). Características hidrográficas del golfo de Cariaco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente Venezuela*, 17(1 y 2):69-88.
- Parsons, T., Y. Maita and C. Lally. (1984). *A manual of chemical and biological methods of seawater analysis*. Pergamon Press. Oxford, 173 p.
- Prado-España, M., L. Troccoli-Ghinaglia y J. Cajas-Flores. (2017). Análisis del estado trófico y microfitoplancton de la zona costera de la provincia del Guayas, Ecuador. *Bull. of Mar. and Coastal Res.*, 46 (2): 91-114. DOI: 10.25268/bimc.invemar.2017.46.2.729
- Reyes-Vázquez, G. R., E. Ferraz-Reyes and E. Vázquez. (1979). *Toxic Dinoflagellate Blooms in the northeastern Venezuela during 1977*. En Toxic Dinoflagellate Blooms. Taylor/Seliger, Eds. Elsevier North Holland, Inc.191-195.
- Richard, F. (1963). Some chemical and hydrography observations along the north coast South America Cabo Tres Punta to Curacao including the Cariaco trench and gulf of Cariaco. *Deep. Sea Res.*, 7(3): 163-182.
- Rondón, M., M.J. Buitrago y J.H. Guada. (2010). Biología reproductiva de la tortuga cardón (*Dermochelys coriacea*) en playas de la península de Paria, Venezuela, durante las temporadas de anidación 2000-2006. *Interciencia*, 35(4): 263-270.
- Rueda-Roa, D. T. (2000). *Variabilidad temporal de la distribución vertical de la biomasa fitoplanctónica en la depresión oriental de la cuenca de Cariaco y sus relaciones con los aspectos hidrográficos del estrato superficial (1996-1998)*. Tesis de Magister Scientiarum en Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Venezuela. 120 pp.
- Rueda-Roa, D. T. and F. E. Müller-Karger. (2013). The southern Caribbean upwelling system: Sea surface temperature, wind forcing and chlorophyll concentration patterns. *Deep-Sea Res.*, I: 1-13.
- Rueda-Roa, D. T., T. Ezer and F. E. Muller-Karger. (2018). Description and mechanisms of the mid-year upwelling in the southern Caribbean Sea from remote sensing and local data. *J. Mar. Sci. Eng.*, 6(36):1-19. doi:10.3390/jmse6020036.
- Senior, W. (1991). Estudio de la degradación de la materia orgánica en el agua de mar. Efectos del aumento de la concentración en materia orgánica sobre la eficacia de procesos de descomposición. *Acta Cient. Venez.*, 42: 33-38.
- Senior, W. (2009). Estudio de las características físico-químicas de la bahía de Mochima, edo. Sucre, Venezuela. *Tech. Rep.*, 88 pp.
- Sheskin, D. J. (2004). *Parametric and nonparametric statistical procedures* (4th ed.). Chapman and Hall. Boca Ratón, USA. 265 pp.
- Smith, V. A. 2003. Eutrophication of freshwater and coastal marine ecosystems. A global problem. *Environ. Sci. & Pollut. Res.*, 10(2):1-15.
- Sonarghare, P.C., S.C. Masram, U.R. Sonparote, K.P. Khaparde and S.K. Kharkate. (2020). Causes and effects of eutrophication on aquatic life (a review). *Int. J. Env. Rehab. Conserv.* XI (SP2), 213-218. <https://eoi.citefactor.org/10.11208/essence.20.11.SP2.147> .
- Subero-Pino, S. S. 2014. Estructura de la comunidad fitoplanctónica en una estación ubicada en la depresión de Guaracayal, golfo de Cariaco estado Sucre, Venezuela Trabajo para ascender a Profesor Agregado Univ. Oriente, 68 pp.
- Tréguer, P. and P. Le Corre. (1975). *Manual d'analyses des sels nutritifs dans l'eau de mer. Utilisation l'autoanalyzer II*. Techicon. LOC-UBC. 2ed. 110 pp.
- Umasangaji, H. and Y. Ramili. (2021). Mini review: Characteristics of upwelling in several coastal areas in the world. Published under licence by IOP Publishing Ltd 2nd International Conference on Fisheries and Marine IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 890. 012004, IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/890/1/012004

Velásquez, F., A. Prieto y L. González. (2010). Estatus, revisión y aspectos reproductivos de la tortuga cardón *Dermochelys coriacea* en Venezuela. *Saber*, 22(1): 25-34.

Wells, C., J. Pringle and D.D. Stretch. (2024). Upwelling along the southeast African coastline and links to cold water temperature anomalies at Sodwana Bay, South Africa. *Cont. Shelf Res.* 276: 105227. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2024.105227>

Wood, E., F. Armstrong and F. Richards. (1967). Determination of nitrite in sea water by cadmium-cooper reduction to nitrite. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 47: 23-29.

Xiu, P. F. Chai, E.N. Curchitser and F.S. Castruccio. (2018). Future changes in coastal upwelling ecosystems with global warming: The case of the California Current System. *Scientific Reports*, 8:2866. DOI:10.1038/s41598-018-21247-7

Zar, J. (1996). *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall. New Jersey. USA.940 pp

Zeng, Y., F. Chang, X. Wen, L. Duan, Y. Zhang, Q. Liu and H. Zhang. (2022). Seasonal variation in the water quality and eutrophication of Lake Xingyun in southwestern China. *Water*, 14(22), 3677;

<https://doi.org/10.3390/w14223677>



Este es un manuscrito de acceso abierto bajo la licencia
CC Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual /
This is an open Access article under the CC BY-NC-SA