




EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE LAS AGUAS EN LA ENSENADA DE TURPIALITO, GOLFO DE CARIACO, VENEZUELA (CARIBE SE)

ASSESSMENT OF THE TROPHIC CONDITIONS OF TURPIALITO COVE, GULF OF CARIACO, VENEZUELA (SOUTHEASTERN CARIBBEAN SEA)

Aristide Márquez^{1,*} 

Luis Troccoli-Ghinaglia² 

Jensson Romero³ 

¹ Universidad de Oriente, Instituto Oceanográfico de Venezuela, Cumaná, Venezuela.

² Universidad de Oriente, Instituto de Investigaciones Científicas, Boca del Río, Isla Margarita, Venezuela.

³ Universidad de Oriente, Postgrado en Ciencias Marinas, Cumaná, Venezuela.

*Correspondencia. E-mail: aristd@imarpe.com

Recibido: 22-05-2024, Aceptado: 02-10-2024, Publicado: 10-10-2024

RESUMEN

Diferentes índices son utilizados para evaluar el estado trófico de las aguas marinas costeras, lo que a menudo proporciona resultados diferentes para el mismo sistema acuático. El objetivo de este trabajo fue evaluar el estado trófico de las aguas de la ensenada de Turpialito (golfo de Cariaco) en Venezuela, mediante la aplicación de tres índices diferentes (en función de [Chla], IE y TRIX). Este ecosistema alberga gran cantidad de especies de los diferentes grupos zoológicos, especialmente corales, además representa una zona utilizada como área de cultivo de moluscos. Hasta el presente, se carece de estudios previos del estado trófico en esa zona. Se colectaron muestras quincenales desde octubre 2018 a diciembre 2019 a cuatro profundidades (superficie, 4, 8 y 16 m) y se realizaron mediciones de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes y clorofila-*a*. Se consideraron los resultados de la concentración de clorofila-*a*, nutrientes: amonio, nitrito, nitrato, fosfato y de la saturación de oxígeno disuelto para el cálculo de los índices. Se obtuvieron valores de IChla entre 5-45, IE entre 1-2,5 y TRIX entre 3-6 unidades, también una correspondencia temporal entre las concentraciones máximas de las variables causales (NI) y de respuesta (Chla), indicando que los cambios en las concentraciones de Chla en función de los niveles de nutrientes, especialmente nitrogenados, es inmediata. Las evaluaciones promedio de los tres índices utilizados mostraron condiciones oligotróficas, -mesotróficas (índices de Chla; IE) con tendencia a eutróficas (TRIX), esta última durante los meses de surgencia costera cuando hay aportes de nutrientes desde las aguas de fondo.

PALABRAS CLAVE: eutrofización, índices tróficos, nutrientes, clorofila-*a*, ensenada de Turpialito, Venezuela

ABSTRACT

Various indices are used to assess the trophic status of coastal marine waters, often yielding different results for the same aquatic system. This study aimed to evaluate the trophic state of the waters in Turpialito Cove (Gulf of Cariaco), Venezuela, through the application of three different indices (based on [Chla], IE, and TRIX). This ecosystem hosts various species from different zoological groups, particularly corals, and is also a key area for mollusk farming. To date, no previous studies have assessed the trophic status of this zone. Samples were collected every two weeks from October 2018 to December 2019 at four depths (surface, 4, 8, and 16 meters). During each collection, measurements were taken for temperature, salinity, dissolved oxygen, nutrients, and chlorophyll-*a* levels. The indices were calculated using the results for chlorophyll-*a* concentration, nutrients such as ammonium, nitrite, nitrate, phosphate, and dissolved oxygen saturation. Chlorophyll-*a* index (IChla) values ranged between 5-45, IE values between 1-2.5, and TRIX values between 3-6 units. A temporal correlation was observed between peak concentrations of both causal (nutrients) and response (Chla) variables, indicating that changes in Chla concentrations in response to nutrient levels, particularly nitrogen-based ones, are immediate. The average evaluation of the three indices showed oligotrophic to mesotrophic conditions (Chla and IE indices), with a trend toward eutrophic conditions (TRIX), particularly during the coastal upwelling months, when nutrient inputs from deeper waters increase.

KEYWORDS: eutrophication, trophic indices, nutrients, chlorophyll-*a*, Turpialito cove, Venezuela

COMO REFERENCIAR ESTE ARTÍCULO (APA 7ed): Márquez, A., Troccoli-Ghinaglia, L. & Romero, J. (2024). Evaluación del estado trófico de las aguas en la ensenada de Turpialito, golfo de Cariaco, Venezuela (Caribe SE). *Bol Inst Mar Perú*, 39(2), e419. <https://doi.org/10.53554/boletin.v39i2.419>

1. INTRODUCCIÓN

La eutrofización es causada por el aumento de los compuestos nitrogenados y fosforados en un cuerpo de agua, es una de las principales consecuencias de las actividades humanas observadas desde el inicio de los procesos de urbanización e industrialización y, es ahora un problema generalizado en todo el mundo, ya que produce graves problemas ecológicos (SUMAN *et al.*, 2023). Hasta el momento, no existe una definición universal de eutrofización ni una metodología unificada para el enfoque de la evaluación del estado trófico de las aguas superficiales, por lo que ha surgido la necesidad de desarrollar métodos científicos y económicamente justificados para realizar una evaluación confiable del estado trófico (NEVEROVA-DZIOPAK *et al.*, 2023). Las investigaciones sobre eutrofización requieren de integración de elementos químicos, físicos y biológicos (SEISDEDLOSA *et al.*, 2022). Durante la proliferación de los organismos fotosintéticos, la descomposición de la biomasa acuática deteriora la calidad del agua en muchos aspectos: estéticos, sanitarios y parámetros higiénicos; aumentando simultáneamente las propiedades corrosivas y tóxicas, así como condiciones favorables para los microorganismos patógenos que afectan a la salud humana. También, se han asociado a la anoxia e impactos en la pesca y la recreación (BEIRAS, 2018). El Control de la eutrofización es fundamental para la gestión y conservación efectiva de los ecosistemas. En ese sentido, se han ideado varios métodos para revertir o limitar los efectos de la eutrofización. Sin embargo, el método apropiado para un ecosistema depende principalmente del nivel de eutrofización. De este modo, el primer paso sería determinar el nivel o extensión de la eutrofización en el cuerpo de agua para identificar el estado trófico (SUMAN *et al.*, 2023). Las interacciones entre variables ecológicas (por ejemplo, fitoplancton) y características abióticas en los ecosistemas, son elementos clave para informar gestión de recursos hídricos. Se han observado fuertes relaciones entre el aumento de la carga de nutrientes y la proliferación de algas en los ecosistemas acuáticos, que conducen a la eutrofización (CARNEIRO *et al.*, 2020).

El fitoplancton constituye un indicador de la calidad del agua, porque muestra respuestas rápidas a niveles alterados de nutrientes a través de cambios tanto en la biomasa como en la composición (REYNOLDS, 2006). El fitoplancton ha sido

1. INTRODUCTION

Eutrophication, caused by the increase of nitrogen and phosphorus compounds in water bodies, is one of the major consequences of human activities observed since the onset of urbanization and industrialization processes. It has become a widespread global issue, leading to significant ecological problems (SUMAN *et al.*, 2023). Currently, there is no universally accepted definition of eutrophication, nor a standardized methodology for assessing the trophic status of surface waters. This has prompted the need to develop scientifically and economically justified methods for reliable evaluation of trophic conditions (NEVEROVA-DZIOPAK *et al.*, 2023). Eutrophication research requires the integration of chemical, physical, and biological elements (SEISDEDLOSA *et al.*, 2022). During the proliferation of photosynthetic organisms, the decomposition of aquatic biomass deteriorates water quality in various ways: aesthetically, in terms of health, and hygiene parameters. It also increases corrosive and toxic properties, while fostering conditions favorable for pathogenic microorganisms that pose risks to human health. Additionally, it has been linked to anoxic conditions and impacts on fishing and recreational activities (BEIRAS, 2018). Controlling eutrophication is essential for effective ecosystem management and conservation. Various methods have been developed to reverse or limit the effects of eutrophication; however, the appropriate method for a given ecosystem largely depends on its level of eutrophication. Hence, the first step is determining the degree or extent of eutrophication to identify the water body's trophic status (SUMAN *et al.*, 2023). Interactions between ecological variables (such as phytoplankton) and abiotic characteristics of ecosystems are key elements for informing water resource management. There is a strong correlation between nutrient loading and algal proliferation in aquatic ecosystems, leading to eutrophication (CARNEIRO *et al.*, 2020).

Phytoplankton serves as a reliable indicator of water quality due to its rapid response to altered nutrient levels, reflected in changes in both biomass and composition (REYNOLDS,

utilizado como indicador de la carga de nutrientes (por ejemplo, nitrógeno y fósforo) en el agua de mar; su evaluación es considerada en una serie de leyes, incluida la Directiva marco europea del agua (DMA) (SEISDED0 LOSA *et al.*, 2022). Por ello, el aporte de nutrientes tiene influencia en las floraciones de algas nocivas, que afectan tanto la calidad del agua como la estética costera, afectando al turismo, a las economías locales y a la salud de los ecosistemas (AFFE *et al.*, 2021; SEISDED0 LOSA *et al.*, 2022). Los índices de estado trófico se refieren a una expresión cuantitativa (por ejemplo, combinación aritmética) calculada con variables de calidad del agua que representan el estado trófico del agua dulce, sistemas de transición (por ejemplo, lagunas costeras, estuarios) o ecosistemas marino-costeros y, permiten la evaluación y seguimiento de la eutrofización (BRUGNOLI *et al.*, 2022). Aunque existen diversos índices del estado trófico, su caracterización acarrea cierto grado de subjetividad, principalmente por falta de límites que permitan asignar de manera precisa la condición trófica de un cuerpo de agua. Así mismo, se considera que la descripción trófica, debe validarse con respecto a una referencia de condición previa de menor concentración de nutrientes (MORENO-ARBELÁEZ & RAMÍREZ-RESTREPO, 2010). Por ello, la aplicación de un solo índice resulta insuficiente para medir este fenómeno (KRATZER & BREZONIK, 1981). El estado trófico debe abordarse a través de un monitoreo de concentraciones de variables físicas, químicas, biológicas y de índices ecológicos que permita una aproximación más real de la condición trófica y su variabilidad (GÓMEZ *et al.*, 2014). Los índices de estado trófico no siempre se basan en los mismos indicadores y, además, en ocasiones generan evaluaciones diferentes en un mismo sistema acuático (SEISDED0 *et al.*, 2014). Desde los trabajos fundamentales de VOLLENWEIDER (1968), muchos han propuesto relaciones matemáticas para relacionar los nutrientes e índice trófico. Dos de los más utilizados son, el índice de eutrofización de nutrientes (IE) desarrollado por KARYDIS *et al.* (1983) y el Índice Trófico (TRIX) (VOLLENWEIDER *et al.*, 1998) el cual está definido por una combinación lineal de los logaritmos de cuatro variables de estado: clorofila-*a* (Chl_a), desviación porcentual de la saturación oxígeno absoluto (D%O), nitrógeno total inorgánico (NI) y fósforo total inorgánico (PI). Este índice ha sido adoptado por la legislación nacional italiana, en el marco de las actividades solicitadas de seguimiento y control de la

2006). It has been used as an indicator of nutrient loads (*e.g.*, nitrogen and phosphorus) in marine waters and is considered in various regulations, including the European Water Framework Directive (SEISDED0 LOSA *et al.*, 2022). Nutrient inputs contribute to harmful algal blooms that affect both water quality and coastal aesthetics, negatively impacting tourism, local economies, and ecosystem health (AFFE *et al.*, 2021; SEISDED0 LOSA *et al.*, 2022). Trophic state indices provide a quantitative expression (often an arithmetic combination) based on water quality variables that represent the trophic status of freshwater, transitional systems (*e.g.*, coastal lagoons, estuaries), or marine-coastal ecosystems. These indices are essential for evaluating and monitoring eutrophication (BRUGNOLI *et al.*, 2022). Nonetheless, their characterization involves some degree of subjectivity, primarily due to the lack of precise thresholds for categorizing trophic conditions. Moreover, trophic descriptions should be validated against a reference state with lower nutrient concentrations (MORENO-ARBELÁEZ & RAMÍREZ-RESTREPO, 2010). Therefore, using a single index is insufficient to fully measure the phenomenon (KRATZER & BREZONIK, 1981). Trophic status should be assessed through monitoring physical, chemical, biological variables, and ecological indices to provide a more accurate approximation of trophic conditions and their variability (GÓMEZ *et al.*, 2014). Trophic indices are not always based on the same indicators and can sometimes yield different assessments for the same aquatic system (SEISDED0 *et al.*, 2014). Since the foundational work of VOLLENWEIDER (1968), many have proposed mathematical relationships linking nutrient levels to trophic indices. Two widely used indices are the Nutrient Eutrophication Index (IE), developed by KARYDIS *et al.* (1983), and the Trophic Index (TRIX) (VOLLENWEIDER *et al.*, 1998), which is based on a linear combination of the logarithms of four state variables: chlorophyll-*a* (Chl_a), percentage deviation from absolute oxygen saturation (D%O), total inorganic nitrogen (NI), and total inorganic phosphorus (PI). This index has been adopted in Italian national legislation as part of the mandated monitoring

eutrofización en el ambiente marino costero (GIOVANARDI & VOLLENWEIDER, 2004; FIORI *et al.*, 2016).

En algunos estudios de aguas costeras latinoamericanas con características tropicales y estuarinas se han utilizado otros índices para evaluar el estado trófico, que se basan en intervalos de las concentraciones de clorofila-*a* (ARANDA CIREROL, 2004; CONTRERAS *et al.*, 1994), o el uso del índice de Karydis (KARYDIS *et al.*, 1983) que considera los niveles de nutrientes (PRADO-ESPAÑA *et al.*, 2017; TROCCOLI-GHINAGLIA & PRADO-ESPAÑA, 2017). Estas evaluaciones se utilizan para guiar las decisiones de gestión con el fin de mitigar la presencia de algunos síntomas de eutrofización (SEISDEDDED *et al.*, 2014).

El estudio de las variables hidrográficas en la ensenada de Turpialito en el golfo de Cariaco, Venezuela, que es una estación dedicada al cultivo experimental de bivalvos, se planteó evaluar el estado trófico mediante la aplicación de tres índices diferentes (en función de [Chla], IE y TRIX). Esta investigación es relevante, ya que hasta el presente no hay estudios previos de este tipo en la zona.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

En la ensenada de Turpialito se ubica la Estación Hidrobiológica de Turpialito del Instituto Oceanográfico, en la sur del golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela, con coordenadas 10°26'56"N, 64°02'00"O (Fig. 1).

Este ecosistema con poco oleaje es utilizado como área de cultivo de moluscos (LODEIROS SEIJO & FREITES VALBUENA, 2008; NÚÑEZ *et al.*, 2011; MÁRQUEZ *et al.*, 2024). En la región el período de sequía comienza a partir de diciembre, cuando la zona de convergencia intertropical (ZCIT) se encuentra más cerca del Ecuador y finaliza en junio, cuando se inicia la migración de la ZCIT hacia el norte. Durante este período ocurre el fenómeno de surgencia costera que afecta a toda la costa nororiental de Venezuela. En la costa oriental de Venezuela, existe oceanográficamente la temporada de surgencia costera (diciembre-abril), caracterizada por vientos promedio mayores a 6 m/s y coincide con la temporada seca. A partir de junio, disminuye el efecto de surgencia y se denomina relajación, que coincide con la época de lluvias (ALVERA-AZCARATE *et al.*, 2001; JURY, 2018).

and control activities for eutrophication in coastal marine environments (GIOVANARDI & VOLLENWEIDER, 2004; FIORI *et al.*, 2016).

In studies of tropical and estuarine coastal waters in Latin America, other indices have been used to assess trophic status, such as those based on chlorophyll-*a* concentration ranges (ARANDA CIREROL, 2004; CONTRERAS *et al.*, 1994) or the Karydis index (KARYDIS *et al.*, 1983), which considers nutrient levels (PRADO-ESPAÑA *et al.*, 2017; TROCCOLI-GHINAGLIA & PRADO-ESPAÑA, 2017). These evaluations guide management decisions aimed at mitigating symptoms of eutrophication (SEISDEDDED *et al.*, 2014).

The study of hydrographic variables in Turpialito Cove, in the Gulf of Cariaco, Venezuela, where there is an experimental bivalve farming station, aimed to assess the trophic state by applying three different indices (based on [Chla], IE, and TRIX). This research is particularly relevant as no previous studies of this kind have been conducted in the area.

2. MATERIALS AND METHODS

Study area

Turpialito Cove is home to the Turpialito Hydrobiological Station of the Oceanographic Institute, located in the southern part of the Gulf of Cariaco, Sucre state, Venezuela, at coordinates 10°26'56"N, 64°02'00"W (Fig. 1).

This sheltered ecosystem with minimal wave action serves as a site for mollusk aquaculture (LODEIROS SEIJO & FREITES VALBUENA, 2008; NÚÑEZ *et al.*, 2011; MÁRQUEZ *et al.*, 2024). The dry season in the region begins in December, when the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) is closer to the equator, and ends in June, when the ITCZ migrates northward. During this period, coastal upwelling occurs, impacting the entire northeastern coast of Venezuela. In the eastern coast of Venezuela, the upwelling season (December-April) is marked by average wind speeds greater than 6 m/s and coincides with the dry season. By June, the upwelling effect diminishes, a period known as relaxation, which coincides with the rainy season (ALVERA-AZCARATE *et al.*, 2001; JURY, 2018).

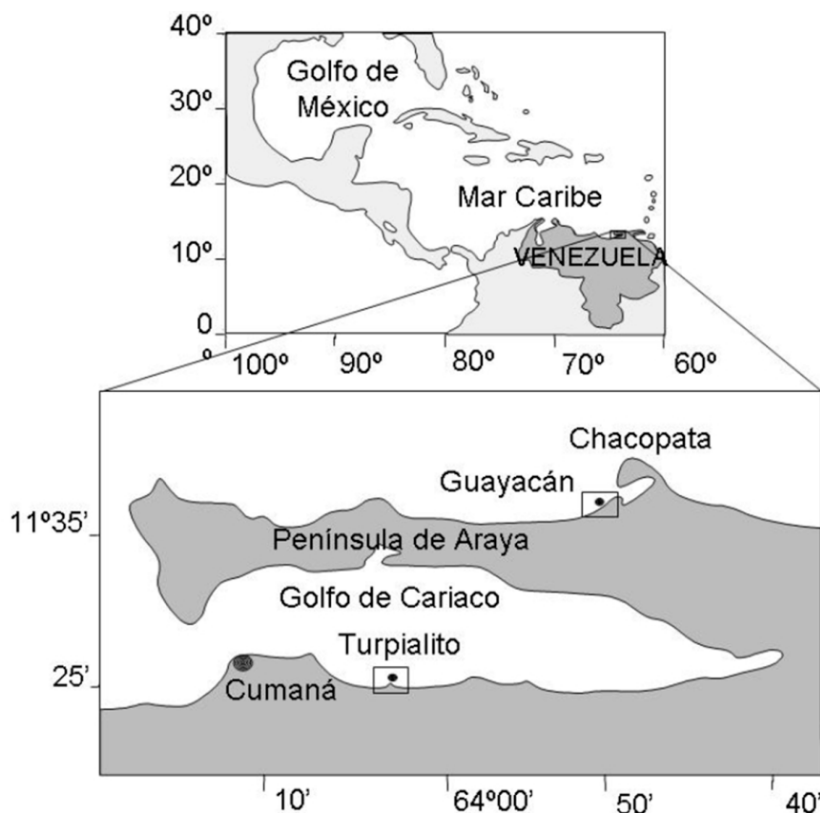


Figura 1.- Zona de estudio mostrando la estación de la ensenada de Turpialito, golfo de Cariaco

Figure 1. Study area showing the Turpialito Cove station, Gulf of Cariaco

Recolección y análisis de muestras

Se utilizaron datos de los años 2018 y 2019 (octubre 2018 hasta diciembre 2019) recolectados en la estación establecida en el área de estudio. Se realizaron treinta muestreos (dos muestreos por cada mes) para recolectar las muestras desde la superficie hasta la profundidad de 16 metros (superficie, 4, 8 y 16 m) en una columna que alcanza los 20 m de profundidad. Estas profundidades se escogieron para evaluar la columna de agua y por encontrarse a esas profundidades los cultivos de mitílicos (mejillones) llevados a cabo por el Grupo de Biología de Moluscos del Instituto Oceanográfico de Venezuela.

Las muestras de agua fueron recolectadas mediante botella NISKIN (5 L) a las diferentes profundidades de muestreo, luego transferidas a botellas de policarbonato de 1 L para las determinaciones de nitrito, nitrato, amonio y fosfato. Las muestras fueron filtradas con membranas nucleopore de 0,80 μm , luego se congelaron a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta los análisis. La temperatura se determinó

Sample Collection and Analysis

Data from 2018 and 2019 (October 2018 to December 2019) were collected at the established station in the study area. Thirty samplings were conducted (two per month), collecting samples from the surface down to a depth of 16 meters (surface, 4, 8, and 16 m) in a water column that reaches 20 meters deep. These depths were chosen to assess the water column and because mussel farms managed by the Mollusk Biology Group of the Oceanographic Institute of Venezuela are located at these depths.

Water samples were collected using a 5-liter NISKIN bottle at the different sampling depths, then transferred into 1-liter polycarbonate bottles for the determination of nitrite, nitrate, ammonium, and phosphate. Samples were filtered using 0.80 μm nucleopore membranes and then frozen at $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ until analysis. Temperature was measured *in situ* using a Waterproof Tester EZDO Model 7200

in situ mediante una sonda multiparamétrica *Waterproof Tester* EZDO modelo 7200. La precisión para la temperatura fue de $\pm 0,10$ °C. La salinidad fue estimada *in situ* utilizando una sonda multiparamétrica YSI, modelo 600R.

La concentración de oxígeno disuelto fue determinada por el método de Winkler. La precisión del método es de $\pm 0,03$ mL/L (AMINOT & CHAUSSEPIED, 1983). La saturación de oxígeno disuelto (%) se obtuvo mediante una ecuación empírica (WEISS, 1970). La determinación de nitritos se realizó por el método de BENDSCHNEIDER y ROBINSON (1952), detallado por STRICKLAND y PARSONS (1972). Los nitratos se determinaron según el método descrito por TREGUER y LE CORRE (1975), y optimizados en STRICKLAND & PARSONS (1972). La determinación del amonio, se hizo por el método de KOROLEFF (1976), que mide la totalidad del nitrógeno amoniacal $N-NH_3^+$ $N-NH_4$. Los compuestos de nitrógeno se analizaron de manera automatizada, utilizando un autoanalyzer Technicon II AC-100 (*Scientific Instruments*, USA). El nitrógeno inorgánico total (NI) fue calculado mediante la sumatoria de las concentraciones de nitratos, nitritos y amonio. Los límites de detección analíticos para la determinación de diferentes formas del nitrógeno son amonio 0,10 $\mu\text{mol/L}$, nitrito 0,01 $\mu\text{mol/L}$, nitrato 0,04 $\mu\text{mol/L}$.

La concentración de fosfato (PI) se determinó por el método colorimétrico de MURPHY y RILEY (1962). La concentración de silicatos se cuantificó por el método de TREGUER & LE CORRE (1975), bajo los fundamentos de MULLIN y RILEY (1955) y la optimización de STRICKLAND y PARSONS (1972). Las muestras se analizaron de manera automatizada en un autonalizador Technicon II AC-100 (*Scientific Instruments*, USA). El límite de detección para silicato es 0,40 $\mu\text{mol/L}$.

La clorofila-*a* se determinó por el método de LORENZEN (1966) descrito en STRICKLAND y PARSONS (1972). Las mediciones se realizaron en celdas de 13 mm utilizando un fluorómetro *Turner Designs* 10-AU-005, con filtros de excitación para 340 nm-500 nm y de emisión >665 nm. Este método se puede aplicar en todos los rangos de concentración de clorofila-*a* que se encuentran en el mar. El límite de detección del método es de 0,01 $\mu\text{g/L}$.

multiparameter probe, with an accuracy of ± 0.10 °C. Salinity was measured *in situ* with a YSI 600R multiparameter probe.

Dissolved oxygen concentration was determined using the Winkler method, with an accuracy of ± 0.03 mL/L (AMINOT & CHAUSSEPIED, 1983). Oxygen saturation (%) was calculated using an empirical equation (WEISS, 1970). Nitrite levels were determined using the method by BENDSCHNEIDER & ROBINSON (1952), as described by STRICKLAND & PARSONS (1972). Nitrate was measured following the method of TREGUER & LE CORRE (1975), optimized in STRICKLAND & PARSONS (1972). Ammonium was determined by the KOROLEFF method (1976), which measures the total ammonia nitrogen ($N-NH_3^+$ $N-NH_4$). Nitrogen compounds were analyzed automatically using a Technicon II AC-100 autoanalyzer (*Scientific Instruments*, USA). Total inorganic nitrogen (NI) was calculated as the sum of nitrate, nitrite, and ammonium concentrations. The detection limits for the different forms of nitrogen were as follows: ammonium 0.10 $\mu\text{mol/L}$, nitrite 0.01 $\mu\text{mol/L}$, and nitrate 0.04 $\mu\text{mol/L}$.

Phosphate concentration (PI) was determined using the colorimetric method by MURPHY & RILEY (1962). Silicate concentrations were quantified using the method by TREGUER & LE CORRE (1975), based on the work of MULLIN & RILEY (1955), with optimization by STRICKLAND & PARSONS (1972). Samples were analyzed automatically using a Technicon II AC-100 autoanalyzer (*Scientific Instruments*, USA), with a detection limit for silicate of 0.40 $\mu\text{mol/L}$.

Chlorophyll-*a* was determined using the LORENZEN method (1966), described in STRICKLAND & PARSONS (1972). Measurements were taken in 13 mm cells using a Turner Designs 10-AU-005 fluorometer, equipped with excitation filters for 340 nm-500 nm and emission filters for wavelengths greater than 665 nm. This method is applicable across all chlorophyll-*a* concentration ranges found in the ocean, with a detection limit of 0.01 $\mu\text{g/L}$.

Tabla 1.- Propuesta de clasificación del estado trófico (CONTRERAS *et al.*, 1994)

Table 1. Proposed trophic state classification (CONTRERAS *et al.*, 1994)

Categoría /Category	Intervalo de concentración de Chla /Chla concentration range	Índice Trófico /Trophic Index
Ultraoligotrófico	0,000-0,122	0-9
α Oligotrófico	0,123-0,340	010-19
β Oligotrófico	0,350-0,940	20-29
γ Oligotrófico	0,950-2,600	30-39
α Mesotrófico	2,700-7,200	40-49
β Mesotrófico	7,300-20,000	50-59
α Eutrófico	21,000-55,000	60-69
β Eutrófico	56,000-1,555	70-79
γ Eutrófico	156,000-425,000	80-89
Hipereutrófico	>426,000	>90

Evaluación del estado trófico

El primer método utilizado fue la propuesta de clasificación de CONTRERAS *et al.* (1994) basándose en intervalos de las concentraciones de clorofila-*a* (Tabla 1).

El segundo método utilizado fue el índice de eutrofización (IE) según KARYDIS *et al.* (1983). Se utilizó la sumatoria de las concentraciones de nutrientes: nitrógeno inorgánico (NI = NH₄⁺ + NO₂⁻ + NO₃⁻) y fósforo inorgánico reactivo PI= [PO₄³⁻]. Esta combinación es señalada en la ecuación como C (NI+PI). Las concentraciones están expresadas en μmol/kg. La ecuación IE es:

$$IE = \frac{C}{C - \log xi} + \log A$$

Donde IE= índice de eutrofización por nutriente de cada estación de muestreo, para campaña.

A: número de estaciones de muestreo durante el periodo de estudio (1)

C: logaritmo de la concentración total del nutriente durante el período de estudio; es la suma de las concentraciones Xij del nutriente obtenidas en cada una de las estaciones de Ai durante los muestreos de Mj. La escala de clasificación es la siguiente: si IE < 3 indican estado oligotrófico, para 3 ≤ IE ≤ 5 para estado mesotrófico e IE > 5 para estado eutrófico.

El tercer método utilizado fue el índice multivariado TRIX (VOLLENWEIDER *et al.*, 1998). La ecuación principal es:

$$TRIX = \frac{\log (Chla * D\%O * NI * PI) + 1,5}{1,2}$$

Assessment of Trophic Status

The first method applied was the classification proposed by CONTRERAS *et al.* (1994) based on intervals of chlorophyll-*a* concentrations (Table 1).

The second method was the Eutrophication Index (IE) by KARYDIS *et al.* (1983). This method used the sum of nutrient concentrations: inorganic nitrogen (NI = NH₄⁺ + NO₂⁻ + NO₃⁻) and reactive inorganic phosphorus PI= [PO₄³⁻]. This combination is represented in the equation as C (NI + PI). The concentrations are expressed in μmol/kg. The IE equation is:

$$IE = \frac{C}{C - \log xi} + \log A$$

Where IE is the eutrophication index for nutrients at each sampling station, for the study period.

A: number of sampling stations during the study period (1)

C: logarithm of the total nutrient concentration during the study period. It is the sum of nutrient concentrations Xij obtained at each station Ai during Mj sampling. The classification scale is as follows: IE < 3 indicates an oligotrophic state, 3 ≤ IE ≤ 5 represents a mesotrophic state, and IE > 5 is a eutrophic state.

The third method used was the multivariate TRIX index (VOLLENWEIDER *et al.*, 1998). The main equation is:

$$TRIX = \frac{\log (Chla * D\%O * NI * PI) + 1,5}{1,2}$$

Donde, Chla= concentración de clorofila-*a* µg/L

D%O= valor absoluto de la desviación del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto [100 – % OSat]

NI= sumatoria del nitrógeno inorgánico disuelto N como: $[N-NO_3^- + N-NO_2^- + N-NH_4^+]$, PI= fósforo inorgánico disuelto $PI= [PO_4^{3-}]$, todas las concentraciones en (µg/L).

El índice TRIX clasifica cuatro calidades o categorías de agua: Calidad de agua Alta (0-4) con nivel de estado trófico oligotrófico (aguas poco productivas, nivel trófico bajo); calidad de agua Buena (4-5) con nivel de estado trófico mesotrófico (agua moderadamente productiva, nivel trófico medio), calidad de agua Mala (5-6) con nivel de estado trófico eutrófico (agua entre moderada y altamente productiva, nivel trófico alto) y calidad de agua Pobre (6-10) con nivel de estado trófico hipertrófico (aguas altamente productivas, nivel trófico más alto) (PENNA *et al.*, 2004; SEISDED0 *et al.*, 2014; MUCIÑO-MÁRQUEZ *et al.*, 2017).

Análisis estadísticos

Para el análisis estadístico de los parámetros hidroquímicos, primero se validó la normalidad de los datos mediante las pruebas de Shapiro-Wilk & Anderson-Darlin, los cuales indicaron que los datos no fueron paramétricos. Luego, se determinó la existencia de diferencias estadísticas con la profundidad, mensualidad, temporada de surgencia y relajación de los parámetros hidroquímicos e hidrográficos, mediante prueba de Kruskal-Wallis a $P < 0,05$. También se determinó la existencia de diferencias estadísticas de los índices (IE, TRIX) en la temporada de surgencia-relajación mediante prueba de Kruskal-Wallis a $P < 0,05$. Para seleccionar las temporadas, definidas como surgencia y relajación, se consideró como meses de surgencia, aquellos en los cuales, las temperaturas en el perfil vertical fueron inferiores a 24,60 °C (MÁRQUEZ, 2015; MÁRQUEZ *et al.*, 2024). Las asociaciones entre los distintos parámetros se realizaron con Análisis de Componentes Principales (ACP) a partir de la matriz de correlación (JOHNSON & WICHERN, 1992). Los valores de los parámetros fisicoquímicos y biológicos en la columna de agua fueron promediados y graficados; representándose las medias de cada parámetro.

Where, Chla= chlorophyll-*a* concentration in µg/L

D%O= absolute value of the deviation in the percentage of dissolved oxygen saturation [100 – % OSat]

NI= sum of dissolved inorganic nitrogen N as: $[N-NO_3^- + N-NO_2^- + N-NH_4^+]$, PI= dissolved inorganic phosphorus $PI= [PO_4^{3-}]$, with all concentrations expressed in µg/L.

The TRIX index classifies water into four quality categories: High water quality (0-4) with an oligotrophic trophic state (low productivity), Good water quality (4-5) with a mesotrophic state (moderately productive), Poor water quality (5-6) with a eutrophic state (moderate to high productivity), and Very Poor water quality (6-10) indicating a hypertrophic state (high productivity) (PENNA *et al.*, 2004; SEISDED0 *et al.*, 2014; MUCIÑO-MÁRQUEZ *et al.*, 2017).

Statistical analysis

For the statistical analysis of hydrochemical parameters, normality was first validated using the Shapiro-Wilk and Anderson-Darlin tests, which showed that the data were non-parametric. Differences in hydrochemical and hydrographic parameters by depth, month, and upwelling-relaxation seasons were then assessed using the Kruskal-Wallis test at $P < 0.05$. Additionally, differences in the indices (IE, TRIX) during the upwelling-relaxation periods were analyzed using the Kruskal-Wallis test at $P < 0.05$. To define upwelling and relaxation seasons, months where vertical temperature profiles were below 24.60 °C were considered upwelling months (MÁRQUEZ, 2015; MÁRQUEZ *et al.*, 2024). Associations between different parameters were explored through Principal Component Analysis (PCA) based on the correlation matrix (JOHNSON & WICHERN, 1992). The values of physicochemical and biological parameters in the water column were averaged and plotted, with the means of each parameter represented graphically.

3. RESULTADOS

Los parámetros hidrográficos e hidroquímicos de la ensenada de Turpialito presentaron variaciones significativas durante los meses de estudio y durante la temporada de surgencia, excepto las concentraciones de nitrito. Estas variaciones también son apreciadas en las concentraciones de nitrato y fosfato con la profundidad (Tabla 2).

3. RESULTS

The hydrographic and hydrochemical parameters of the Turpialito inlet exhibited significant variations during the study months and the upwelling season, except for nitrite concentrations. These variations are also evident in nitrate and phosphate concentrations with depth (Table 2).

Tabla 2.- Valores de P obtenidos en el K. Wallis ($P < 0,05$) aplicado a los parámetros hidrográficos e hidroquímicos de la ensenada de Turpialito

Tabla 2. P values obtained in the K. Wallis test ($P < 0.05$) applied to the hydrographic and hydrochemical parameters of the Turpialito Cove

		NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+	PO_4^{3-}	Chl a	t	S	O_2
Mes	P	0	0	0	0	0	0	0	0
Temporada	Kw	54,54	62,86	59,9	41,51	64,14	87,61	103,33	53,28
	P	0	0,15	0	0	0	0	0	0
Profundidad	Kw	44,88	2,08	2,53	3,54	33,21	84,92	48,69	6,52
	P	0,01	0,05	0,47	0,07	0,44	0,24	1	0,18
	Kw	12,09	7,71	2,52	7	2,68	4,18	0,003	12,73

Los valores de la temperatura variaron entre 21,5 y 27,1 °C, el patrón de distribución mostró un descenso desde octubre 2018 hasta julio 2019, causado por las aguas de menor temperatura que emergen desde el fondo durante el evento de surgencia costera, y una posterior elevación hasta diciembre 2019. En la costa nororiental venezolana, los meses de surgencia más intensa se ubican entre febrero y abril del 2019, con un segundo pico en julio del mismo año. La salinidad osciló entre 36,88 y 39,65, de manera similar a lo que sucede con la temperatura, muestra sus mínimos valores durante los meses de surgencia, con aumento gradual y con valores más altos a finales de año cuando las temperaturas son más altas (Fig. 2). Las concentraciones de nutrientes oscilaron entre 1,28 y 23,04 $\mu\text{mol/kg}$ para NI ($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$); y para PI (PO_4^{3-}) entre 0,14 y 0,56 $\mu\text{mol/kg}$; mientras que, la concentración de la clorofila-a (Chla) osciló entre 0,22 y 5,26 mg/m^3 .

Temperature values ranged between 21.5 and 27.1 °C, with a downward trend observed from October 2018 to July 2019, due to cooler waters rising from the bottom during the coastal upwelling event, followed by an increase until December 2019. In northeastern Venezuela, the most intense upwelling months occurred between February and April 2019, with a second peak in July of the same year. Salinity ranged between 36.88 and 39.65, similar to temperature, showing its lowest values during the upwelling months, with a gradual increase and higher values towards the end of the year when temperatures were also higher (Fig. 2). Nutrient concentrations ranged from 1.28 to 23.04 $\mu\text{mol/kg}$ for NI ($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$), and from 0.14 to 0.56 $\mu\text{mol/kg}$ for PI (PO_4^{3-}), while chlorophyll-a (Chla) concentrations fluctuated between 0.22 and 5.26 mg/m^3 .

Las máximas concentraciones de nutrientes se determinaron durante los primeros meses del año cuando la surgencia es más intensa, lo que produce un incremento de las concentraciones de los nutrientes en las aguas superficiales, debido al afloramiento de las aguas de fondo (Fig. 3).

The highest nutrient concentrations were recorded during the early months of the year when upwelling was more intense, leading to an increase in nutrient concentrations in surface waters due to the upwelling of deeper waters (Fig. 3).

La concentración de oxígeno disuelto fluctuó entre 148,87-254,26 $\mu\text{mol/kg}$ con máximos (254,26 $\mu\text{mol/}$

Dissolved oxygen concentrations fluctuated between 148.87-254.26 $\mu\text{mol/kg}$, with the highest

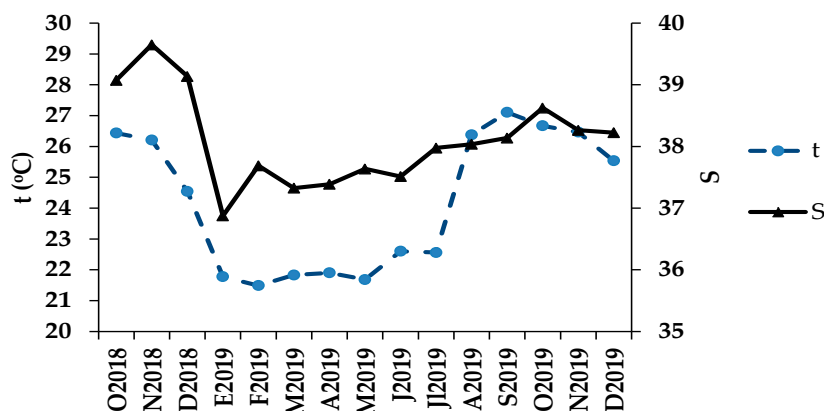


Figura 2.- Variación mensual de la temperatura y la salinidad, en aguas de la ensenada de Turpialito

Figure 2. Monthly variation of temperature and salinity in the waters of Turpialito Cove

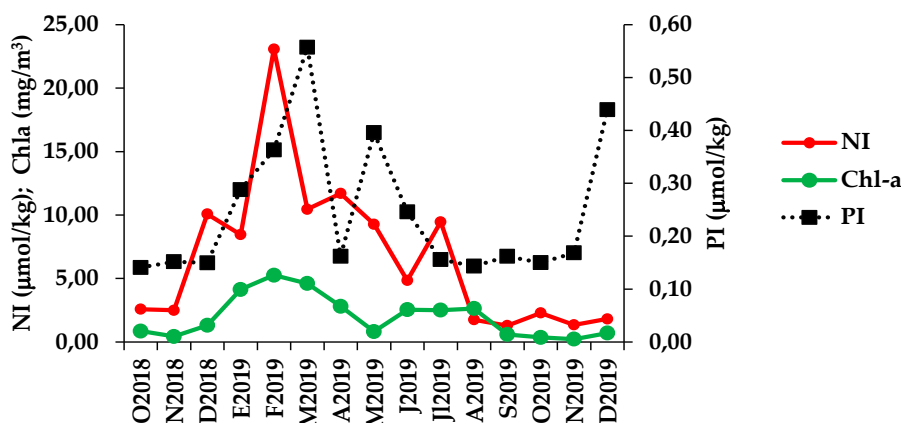


Figura 3.- Variación mensual de la concentración de nitrógeno inorgánico (NI), fósforo inorgánico (PI) y clorofila a (Chl-a) en aguas de la ensenada de Turpialito

Figure 3. Monthly variation of inorganic nitrogen (NI), inorganic phosphorus (PI) and chlorophyll-a (Chl-a) concentration in waters of Turpialito Cove

kg) durante los primeros meses del año, cuando las aguas muestran menor temperatura ($<24\text{ }^{\circ}\text{C}$), lo que permite mayor solubilidad y también cuando los procesos fotosintéticos son mayores, lo cual es tipificado por mayor concentración de clorofila-*a*. Los porcentajes de saturación del oxígeno disuelto oscilaron entre 72,15% y 118%. Los valores superan el 100% en noviembre 2018, diciembre, enero, abril, mayo, junio y septiembre 2019 (Fig. 4). El oxígeno disuelto desempeña un papel fundamental, impulsando múltiples procesos biogeoquímicos e influye en el equilibrio de otros elementos como el carbono, el nitrógeno y el fósforo. Los meses en los que el porcentaje de saturación de oxígeno es inferior al 100%, se absorberá oxígeno de la atmósfera, e indicará también consumo por respiración de los organismos bacterianos, y si es superior al 100%, el oxígeno saldrá del mar a la atmósfera; también indicará incremento en la actividad fotosintética de los organismos (YOSHIKAWA *et al.*, 2007; MÁRQUEZ *et al.*, 2024).

values ($254.26\text{ }\mu\text{mol/kg}$) occurring during the first months of the year when water temperatures were lower ($<24\text{ }^{\circ}\text{C}$), allowing for higher solubility and increased photosynthetic processes, indicated by higher chlorophyll-*a* concentrations. Dissolved oxygen saturation levels ranged from 72.15% to 118%, exceeding 100% in November 2018, December, January, April, May, June, and September 2019 (Fig. 4). Dissolved oxygen plays a crucial role in regulating various biogeochemical processes and affects the balance of key elements like carbon, nitrogen, and phosphorus. When oxygen saturation drops below 100%, the ocean absorbs oxygen from the atmosphere, which is typically linked to bacterial respiration. Conversely, when saturation exceeds 100%, oxygen is released from the ocean into the atmosphere, signaling an increase in photosynthetic activity by marine organisms (YOSHIKAWA *et al.*, 2007; MÁRQUEZ *et al.*, 2024).

La evaluación del estado trófico a partir de las concentraciones de clorofila-*a* en las aguas de la ensenada de Turpialito, mostró valores de Chla entre 5-45, estableciéndose cinco categorías, α Oligotrófico, Ultraoligotrófico, γ Oligotrófico, β Oligotrófico y α Mesotrófico (Tabla 3). El índice IE presentó valores entre 1,01-2,50 que cataloga las aguas de la ensenada de Turpialito como un ecosistema oligotrófico (Fig. 5A), mientras que mediante el método TRIX presentó valores de 3, 4, 5 y 6, lo que indica que la calidad de las aguas presenta características altas (desde agosto hasta diciembre 2019), buena (octubre a diciembre 2018) y mala (enero hasta julio 2019) (Fig. 5B).

The evaluation of the trophic status based on chlorophyll-*a* (Chla) concentrations in the waters of Turpialito Cove revealed values between 5-45, leading to five categories: α Oligotrophic, Ultraoligotrophic, γ Oligotrophic, β Oligotrophic, and α Mesotrophic (Table 3). The IE index ranged from 1.01 to 2.50, classifying the cove's waters as an oligotrophic ecosystem (Fig. 5A). The TRIX index produced values of 3, 4, 5, and 6, indicating that water quality ranged from high (August to December 2019), good (October to December 2018), to poor (January to July 2019) (Fig. 5B).

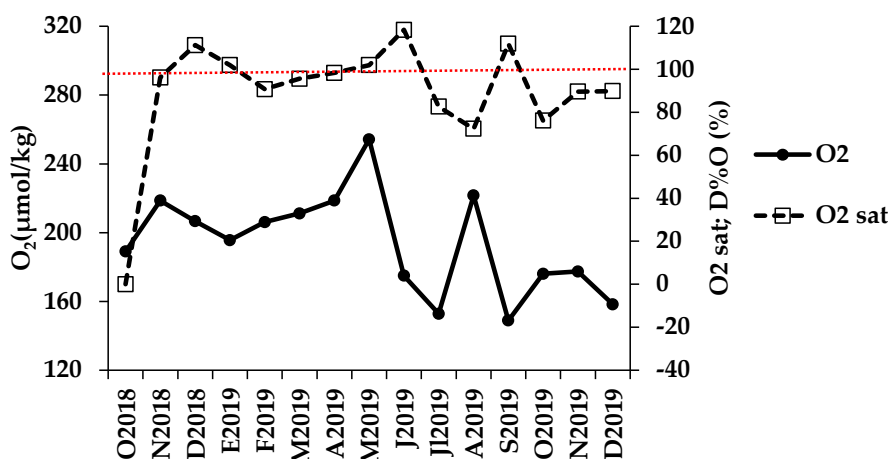


Figura 4.- Variación mensual de la concentración de oxígeno disuelto (O₂) y % de oxígeno de saturación (O₂sat), en aguas de la ensenada de Turpialito

Figure 4. Monthly variation of dissolved oxygen (O₂) and % oxygen saturation (O₂sat), in waters of the Turpialito Cove

Tabla 3.- Evaluación del estado trófico de las aguas durante surgencia y relajación en la ensenada de Turpialito, a partir de la propuesta de CONTRERAS *et al.* (1994)

Table 3. Evaluation of the trophic status of waters during upwelling and relaxation in Turpialito Cove, based on the proposal of CONTRERAS *et al.* (1994)

Temporada/ Phase	Muestreo/ Sampling	Chla (µg/L)	Índice Trófico/ Trophic Index
Surgencia	O2018	0,85	β Oligotrófico
Surgencia	N2018	0,43	β Oligotrófico
Surgencia	D2018	1,30	α Oligotrófico
Surgencia	E2019	4,14	α Mesotrófico
Surgencia	F2019	5,26	α Mesotrófico
Surgencia	M2019	4,61	α Mesotrófico
Surgencia	A2019	2,80	α Oligotrófico
Surgencia	M2019	0,82	β Oligotrófico
Surgencia	J2019	2,54	γ Oligotrófico
Surgencia	Jl2019	2,50	γ Oligotrófico
Relajación	A2019	2,63	γ Oligotrófico
Relajación	S2019	0,58	Ultraoligotrófico
Relajación	O2019	0,36	α Oligotrófico
Relajación	N2019	0,22	α Oligotrófico
Relajación	D2019	0,70	β Oligotrófico

El comportamiento general de la calidad de las aguas de la ensenada de Turpialito durante la temporada de surgencia costera y relajación de la misma, presentó variaciones significativas (Tabla 4); al mismo tiempo de acuerdo a los índices IE y TRIX, las aguas presentan características oligotróficas (según IE) y una calidad que va desde alta (durante la temporada relajación de la surgencia), nivel de estado trófico oligotrófico, (aguas poco productivas, nivel trófico bajo) y buena (nivel de estado trófico mesotrófico, agua moderadamente productiva, nivel trófico medio) durante la surgencia costera (Fig. 6).

El análisis de componentes principales ACP (Fig. 7) muestra que los dos primeros componentes explican el 80,24% de la varianza. La varianza del componente uno (C1) es de 57,98% y la del dos (C2) es igual a 22,26%. En el componente C1, las mayores contribuciones la tienen la temperatura, NI (inorgánico nitrogen), and Chla.

Overall, water quality in Turpialito Cove showed significant variations during the coastal upwelling season and its subsequent relaxation phase (Table 4). Based on the IE and TRIX indices, the waters demonstrated oligotrophic traits (as indicated by IE), with water quality ranging from high (during the relaxation phase, characterized by low trophic levels and low productivity) to good (during the upwelling, reflecting moderate productivity and mesotrophic conditions) (Fig. 6).

The Principal Component Analysis (PCA) (Fig. 7) showed that the first two components explained 80.24% of the variance. The first component (C1) accounted for 57.98%, while the second (C2) explained 22.26%. In C1, the most significant contributors were temperature, NI (inorganic nitrogen), and Chla.

Tabla 4.- Parámetros de KW (P<0,50) durante la temporada de surgencia y relajación en aguas de la ensenada de Turpialito

Table 4. KW parameters (P<0.50) during the upwelling and relaxation season in waters of Turpialito Cove

Índice	Temporada	Media	K.W	P	Estado trófico
I Chla	Relajación	18,5		0,038*	α Oligotrófico
	Surgencia	33,5			γ Oligotrófico
IE	Relajación	1,11	9,37	0,0022*	Oligotrófico
	Surgencia	1,72			Oligotrófico
TRIX	Relajación	3,32	9,37	0,0022*	Alto
	Surgencia	5,29			Bueno

*=significativo; KW=Kruskal-Wallis

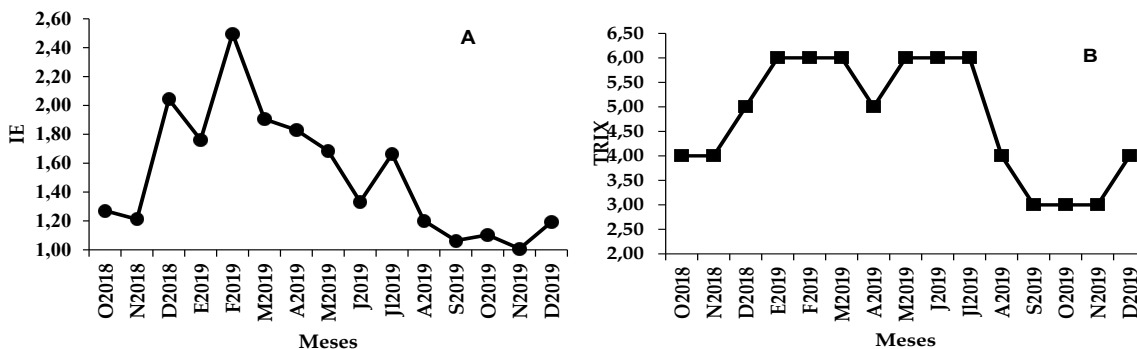


Figura 5.- Variación mensual del índice IE (5A) y TRIX (5B) en aguas de la ensenada de Turpialito

Figure 5. Monthly variation of the IE (5A) and TRIX (5B) indices in waters of Turpialito Cove

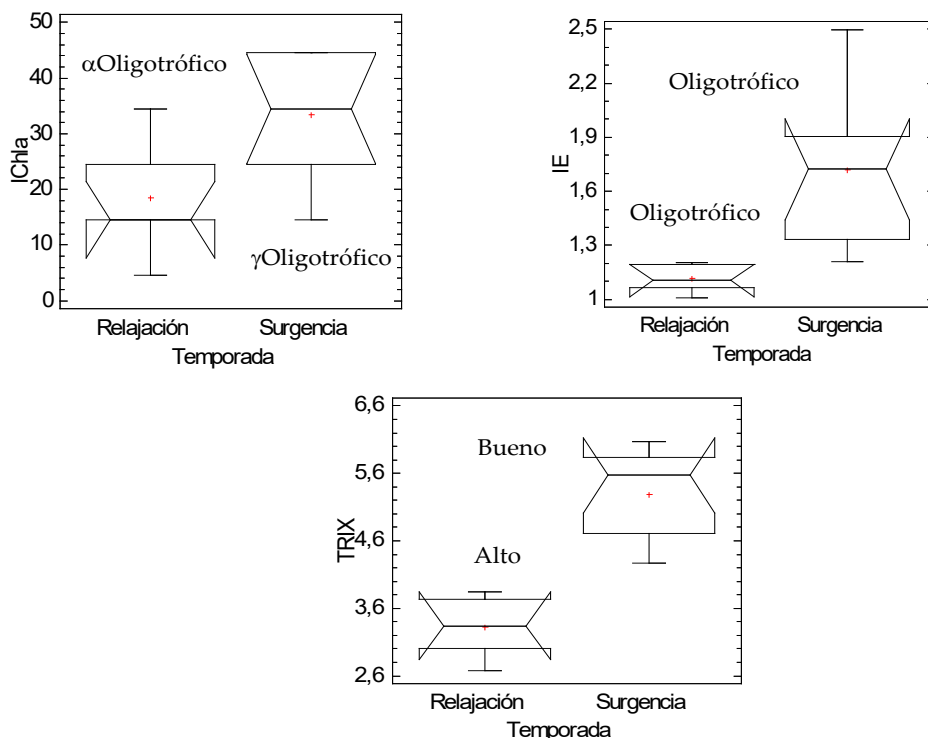


Figura 6.- Comportamiento general de los índices, Chla, IE, y TRIX durante la temporada de surgencia-relajación en aguas de la ensenada de Turpialito

Figure 6. General behavior of Chla, IE, and TRIX indices during the upwelling-relaxation season in the waters of Turpialito Cove

La temperatura se correlaciona positivamente y significativamente con la salinidad ($r=0,69$) y negativamente con los nutrientes y clorofila-*a* (NI, $r=-0,83$; PI, $r=-0,61$ y con la clorofila-*a*, $r=-0,75$), eso es indicativo de que las aguas más frías, menos salinas provenientes de la surgencia, están enriquecidas en nutrientes derivados de la degradación de la materia orgánica que incrementan la concentración de clorofila-*a*; esto se corrobora con las distribuciones observadas para estos parámetros en las figuras 2 y 3. También se correlacionan entre sí, los índices EI-TRIX ($r=0,82$) lo cual es indicativo de que los dos índices pueden ser utilizados en conjunto para describir el estado trófico de la ensenada de Turpialito. En el componente C2 se aprecia que la clorofila-*a* se correlaciona con los compuestos nitrogenados ($r=0,73$) no mostrando correlación con PI ($r=0,30$), lo que sugiere que los compuestos nitrogenados juegan un rol de mayor importancia en el desarrollo de los organismos fotosintéticos, en relación con el fósforo. Los índices EI y TRIX muestran correlación positiva con el NI ($r=0,95$ y $r=0,81$, respectivamente), no correlacionándose con PI, lo cual indica que las concentraciones del nitrógeno inorgánico tienen mayor contribución en los valores de estos índices.

Temperature showed a strong positive correlation with salinity ($r=0.69$) and a negative correlation with nutrients and chlorophyll-*a* (NI, $r=-0.83$; PI, $r=-0.61$; Chla, $r=-0.75$), indicating that cooler, less saline waters from upwelling are nutrient-rich, leading to increased chlorophyll-*a* concentrations. These findings align with the parameter distributions observed in Figures 2 and 3. The IE and TRIX indices were positively correlated ($r=0.82$), suggesting that both indices are useful for describing the trophic status of Turpialito Cove. In C2, Chla was positively correlated with nitrogen compounds ($r=0.73$) but showed no significant correlation with PI ($r=0.30$), implying that nitrogen plays a more critical role in the development of photosynthetic organisms compared to phosphorus. Both the IE and TRIX indices correlated strongly with NI ($r=0.95$ and $r=0.81$, respectively), but not with PI, indicating that inorganic nitrogen concentrations have a greater influence on these indices.

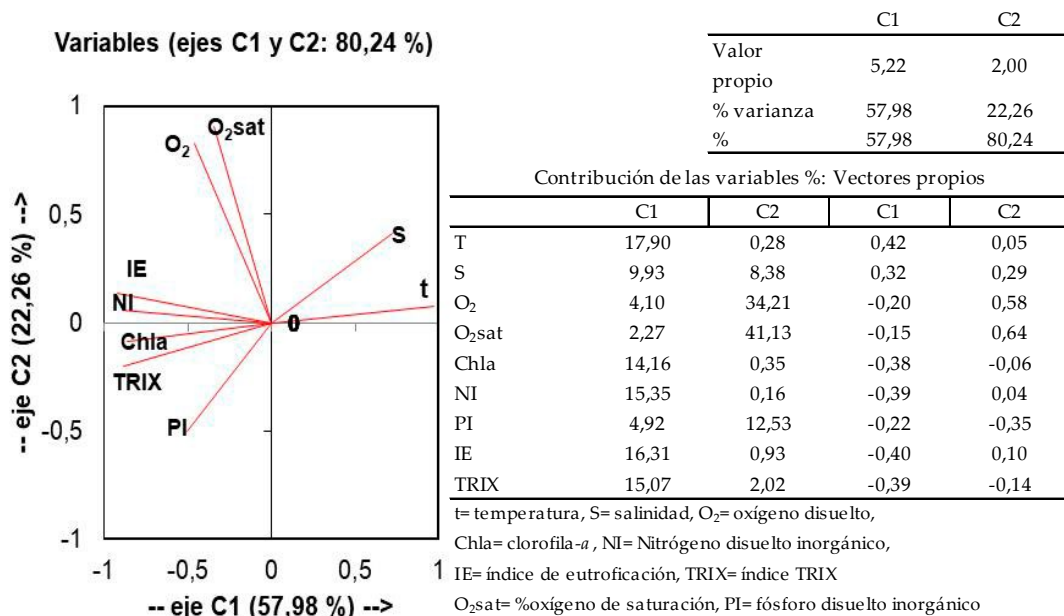


Figura 7.- Ordenación entre parámetros fisicoquímicos, hidrográficos e índices tróficos en aguas de la ensenada de Turpialito en base a los meses, en los primeros dos componentes principales

Figure 7. Ordering between physicochemical, hydrographic parameters, and trophic indices in the waters of Turpialito Cove on a monthly basis, in the first two principal components

4. DISCUSIÓN

Los parámetros hidrográficos e hidroquímicos presentaron variabilidad mensual que están asociados a las variaciones climáticas de la región que afecta la hidrodinámica de las aguas costeras y a los aportes de nutrientes por las escorrentías continentales en el período de lluvia (en el período de lluvia disminuyen los alisios del noreste y es época de calma y no hay surgencia), y también a la surgencia costera debida al aumento de la intensidad de los vientos alisios del Noreste (estación de sequía), que ocurre durante los primeros meses del año (temporada de sequía), lo cual incrementa las concentraciones de nutrientes en las aguas superficiales (THUNELL *et al.*, 2004; SCRANTON *et al.*, 2006; MÁRQUEZ *et al.*, 2024).

Durante la surgencia costera, la biomasa fitoplanctónica se incrementó debido al aporte de nutrientes, esto es confirmado en las distribuciones apreciadas en las figuras 2 y 3, y en las asociaciones observadas en el ACP (Fig. 7). En los sistemas costeros, de manera general los niveles de nutrientes pueden ser altos, lo que favorece el crecimiento de fitoplancton (GAGO *et al.*, 2003). En la evaluación del estado trófico a partir de las concentraciones de clorofila-a en las aguas de la ensenada de Turpialito, se identificaron cinco categorías, α Oligotrófico,

4. DISCUSSION

Hydrographic and hydrochemical parameters exhibited significant monthly variability, driven by the region's climatic changes. These variations impact the coastal water dynamics and nutrient inputs, particularly from continental runoff during the rainy season (when northeastern trade winds weaken, creating calm conditions with no upwelling). In contrast, during the dry season, stronger northeastern trade winds trigger coastal upwelling, typically occurring in the early months of the year. This process increases nutrient concentrations in surface waters (THUNELL *et al.*, 2004; SCRANTON *et al.*, 2006; MÁRQUEZ *et al.*, 2024).

During periods of upwelling, phytoplankton biomass increases as a direct result of nutrient enrichment, a relationship confirmed by the data presented in Figures 2 and 3, and supported by the associations observed in the PCA (Fig. 7). In coastal systems, high nutrient levels generally promote phytoplankton growth (GAGO *et al.*, 2003). In evaluating the trophic status of the waters in Turpialito Cove based on chlorophyll-a concentrations, five categories were identified: α Oligotrophic, Ultraoligotrophic, γ Oligotrophic, β Oligotrophic,

Ultraoligotrófico, γ Oligotrófico, β Oligotrófico y α Mesotrófico, mientras que el índice de eutrofización (EI), catalogó las aguas de la ensenada de Turpialito como un ecosistema oligotrófico, al mismo tiempo que TRIX señaló que la calidad de las aguas presenta tres categorías que van desde altas (agosto hasta diciembre 2019), buena desde octubre a diciembre del 2018, y mala entre enero y julio del 2019.

En este último renglón el nivel de estado trófico, es eutrófico con agua entre moderada y altamente productiva. Sin embargo, este comportamiento no es causado por fuentes externas, sino, por las altas concentraciones inyectadas desde nivel sub-superficial debido a la surgencia costera, tal como se aprecia en la figura 7. Según la *Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD, 1982) los valores de NI, PI y Chla para ecosistemas eutróficos son 1875 $\mu\text{g/L}$ NI, 84,4 $\mu\text{g/L}$ PI y 14,3 4 $\mu\text{g/L}$ de Chla, respectivamente; para mesotrófico son: 753 $\mu\text{g/L}$ NI; 26,7 $\mu\text{g/L}$ PI; 4,7 $\mu\text{g/L}$ Chla y para oligotrófico 661 $\mu\text{g/L}$ NI; 8 $\mu\text{g/L}$ PI; 1,7 $\mu\text{g/L}$ Chla. En esta investigación los máximos de NI, PI y Chla alcanzan los 739,50 $\mu\text{g/L}$ NI; 54,33 $\mu\text{g/L}$ PI y 5,26 $\mu\text{g/L}$ Chla, respectivamente. Los más altos valores de Chla están relacionados con valores mayores de NI y PI. Los resultados apreciados mediante la distribución temporal de los nutrientes ponen de manifiesto que el aporte principal de nutrientes dentro de la ensenada de Turpialito, proviene en su mayor proporción de la surgencia costera y no de fuentes antrópicas externas.

Comportamiento similar en la distribución temporal de los nutrientes para la zona nororiental de Venezuela ha sido señalada por SCRANTON *et al.* (2006) y por MÁRQUEZ *et al.* (2011). Los resultados muestran también una correspondencia temporal entre los valores máximos de los índices de las variables causales (NI) y de respuesta (Chla), lo que sugiere que el sistema de la ensenada de Turpialito tiene una respuesta inmediata a los cambios en los niveles de los nutrientes, especialmente a los nitrogenados. Generalizando el comportamiento de la calidad de las aguas de la ensenada de Turpialito, las mismas presentan características oligotróficas (calidad de agua Alta según EI y Chla) y una calidad que va desde alta durante relajación de la surgencia, y buena durante la surgencia costera (nivel de estado trófico mesotrófico y calidad de agua moderadamente productiva según TRIX). Dichas características van a depender de la intensidad de los vientos alisios que ocurren en la zona.

and α Mesotrophic. The eutrophication index (EI) classified the waters as oligotrophic, while the TRIX index revealed three levels of water quality: high (from August to December 2019), good (from October to December 2018), and poor (from January to July 2019).

In the latter period, the trophic status was eutrophic, with waters being moderately to highly productive. However, this behavior was driven not by external sources, but by elevated nutrient concentrations introduced from subsurface layers during coastal upwelling, as illustrated in Figure 7. According to the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD, 1982), eutrophic ecosystems typically exhibit values of 1875 $\mu\text{g/L}$ NI, 84.4 $\mu\text{g/L}$ PI, and 14.3 $\mu\text{g/L}$ Chla. For mesotrophic systems, these values are 753 $\mu\text{g/L}$ NI, 26.7 $\mu\text{g/L}$ PI, and 4.7 $\mu\text{g/L}$ Chla, while oligotrophic systems show lower concentrations: 661 $\mu\text{g/L}$ NI, 8 $\mu\text{g/L}$ PI, and 1.7 $\mu\text{g/L}$ Chla. In this study, the maximum recorded concentrations were 739.50 $\mu\text{g/L}$ NI, 54.33 $\mu\text{g/L}$ PI, and 5.26 $\mu\text{g/L}$ Chla. The highest Chla values were linked to elevated levels of NI and PI, indicating that nutrient distribution within Turpialito Cove primarily results from coastal upwelling, rather than external anthropogenic sources.

A similar pattern of nutrient distribution has been reported for northeastern Venezuela by SCRANTON *et al.* (2006) and MÁRQUEZ *et al.* (2011). The findings also highlight a temporal correlation between the peak values of causal variables (NI) and response variables (Chla), suggesting that the Turpialito Cove system responds swiftly to changes in nutrient levels, particularly nitrogen. In general, the water quality of Turpialito Cove is characterized as oligotrophic (high water quality according to EI and Chla) and fluctuates between high quality during upwelling relaxation and good quality during active coastal upwelling (mesotrophic trophic status and moderately productive water quality according to TRIX). These conditions depend heavily on the intensity of the trade winds in the region.

Various indices are used to assess the trophic status of coastal marine waters, often yielding

Diferentes índices son utilizados para evaluar el estado trófico de las aguas marinas costeras, lo que a menudo arroja resultados diferentes para el mismo sistema acuático (SEISDEDO *et al.*, 2014). SALAS *et al.* (2008), utilizando el índice TRIX para evaluar el estado trófico de las aguas en dos ecosistemas estuarinos de España y Portugal, señalaron la existencia de inconsistencia de los resultados respecto de las aguas estuarinas; por otra parte, SEISDEDO *et al.* (2014) encontraron falta de correspondencia espacial entre los valores máximos de los índices de las variables causales (IN, IP) y de respuesta (Chla) en la bahía de Cienfuegos, Cuba, lo que sugiere que la respuesta de este sistema a los cambios en los niveles de nutrientes no fue inmediata, esto es contrario a lo apreciado en la ensenada de Turpialito.

GÓMEZ *et al.* (2014) señalaron para el sistema lagunar Chantuto-Panzacola en México, que el índice trófico TRIX ubica a este ecosistema en un rango de 6-8 con calidad del agua pobre, altamente productiva y un nivel trófico más alto. MUCIÑO-MÁRQUEZ *et al.* (2017) para los sistemas fluvio-lagunares Pom-Atasta y Palizada del Este, Campeche, México señalaron que estos sistemas se caracterizaron como sistemas oligotróficos con tendencia mesotrófica. PRADO-ESPAÑA *et al.* (2017), y TROCCHI-GHINAGLIA (2017), analizaron el estado trófico de la zona costera de la provincia del Guayas, Ecuador, empleando el índice de Karydis y determinaron que la zona se comporta como mesotrófica, e indicaron que en el estuario del golfo de Guayaquil los valores del índice trófico fueron más elevados debido probablemente a que recibe de manera más directa los aportes provenientes de actividades antrópicas. MEDINA GALVÁN *et al.* (2022) evaluaron el estado trófico, la dinámica de nutrientes y el metabolismo neto de una laguna costera subtropical (Laguna) Santa María ubicada en la costa este del golfo de California y determinaron que la laguna mantiene un estado mesotrófico en ambas estaciones del año mostrando sin manifestar procesos adversos de eutrofización.

5. CONCLUSIONES

Los parámetros hidrográficos e hidroquímicos presentaron variabilidad mensual que están asociados a la variación climática de la región que afecta la hidrodinámica de las aguas costeras y a los aportes de nutrientes por las contribuciones de las escorrentías continentales en el período de lluvia y a la surgencia costera durante el periodo de sequía. Los aportes

different results for the same aquatic system (SEISDEDO *et al.*, 2014). SALAS *et al.* (2008), applying the TRIX index to estuarine waters in Spain and Portugal, reported inconsistencies in their assessments. Similarly, SEISDEDO *et al.* (2014) found a lack of spatial alignment between the maximum values of causal variables (IN, IP) and response variables (Chla) in Cienfuegos Bay, Cuba, suggesting that this system's response to nutrient changes was not immediate—contrary to the observations in Turpialito Cove.

GÓMEZ *et al.* (2014) found that the TRIX trophic index classified the Chantuto-Panzacola lagoon system in Mexico as having poor water quality, high productivity, and a higher trophic level (TRIX values between 6 and 8). MUCIÑO-MÁRQUEZ *et al.* (2017) classified the Pom-Atasta and Palizada del Este river-lagoon systems in Campeche, Mexico, as oligotrophic with mesotrophic tendencies. Similarly, PRADO-ESPAÑA *et al.* (2017) and TROCCHI-GHINAGLIA (2017) used the Karydis index to assess the trophic status of the coastal zone in Guayas Province, Ecuador, determining that the area is mesotrophic. They noted that the estuary of the Gulf of Guayaquil exhibited higher trophic index values, likely due to direct inputs from human activities. MEDINA GALVÁN *et al.* (2022) evaluated the trophic status, nutrient dynamics, and net metabolism of the Santa María coastal lagoon on the eastern coast of the Gulf of California, concluding that the lagoon remains mesotrophic throughout the year, without showing signs of adverse eutrophication.

5. CONCLUSIONS

Hydrographic and hydrochemical parameters exhibited monthly variability, which was linked to the region's climatic changes. These variations affect the hydrodynamics of coastal waters and nutrient inputs, both from continental runoff during the rainy season and from coastal upwelling during the dry season. These nutrient inputs lead to increased chlorophyll-a concentrations in Turpialito Cove.

de estos nutrientes aumentan las concentraciones de clorofila-*a*, en la ensenada de Turpialito.

Este estudio mostró la correspondencia temporal entre los valores máximos de los índices de las variables causales (NI) y de respuesta (Chla), lo que sugiere que la respuesta de este sistema a los cambios en los niveles de nutrientes nitrogenados es inmediata.

Las evaluaciones promedio de los tres índices utilizados, mostraron condiciones oligotróficas-mesotróficas (Chla e IE) con tendencia a eutróficas (TRIX), esta última durante los meses de sequía. Sin embargo, este comportamiento eutrófico no pareciera ser causado por fuentes externas, sino, por las altas concentraciones aportadas por la surgencia costera.

Agradecimientos

Al Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente, por el financiamiento a través del proyecto: Estudio base del sistema carbónico en aguas de la ensenada de Turpialito, estado Sucre, Venezuela (CI.52-0307001856-13).

The study revealed a clear temporal correlation between the peak values of causal variables (NI) and response variables (Chla), suggesting that the system responds immediately to changes in nitrogen nutrient levels.

The average assessments from the three indices applied indicated oligotrophic to mesotrophic conditions (based on Chla and IE), with a tendency toward eutrophic conditions (according to TRIX) during the dry months. Nevertheless, this eutrophic behavior does not appear to be caused by external sources, but rather by the high nutrient concentrations brought in by coastal upwelling.

Acknowledgments

Special thanks are extended to the Research Council of the Universidad de Oriente for funding this project: Baseline study of the carbon system in the waters of Turpialito Cove, Sucre State, Venezuela (CI.52-0307001856-13).

6. REFERENCIAS

- AFPE, H. M. J., CONCEIÇÃO, L. P., ROCHA, D. S., PROENÇA, L. A. & NUNES, J. M. (2021). Phytoplankton community in a tropical estuarine gradient after an exceptional harmful bloom of *Akashiwo sanguinea* (Dinophyceae) in the Todos os Santos Bay. *Ocean and Coastal Research*, 69, e21008. <http://doi.org/10.1590/2675-2824069.20-004hmdja>
- ALVERA-AZCARATE, A., BARTH, A., WEISBERG, R. H., CASTAÑEDA, J. J., VANDENBULCKE, L. & BECKERS, J. M. (2011). Thermocline characterization in the Cariaco basin: A modelling study of the thermocline annual variation and its relation with winds and chlorophyll-*a* concentration. *Continental Shelf Research*, 31(1), 73-84. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.11.006>
- AMINOT, A. & CHAUSSEPIED, M. (1983). Dosage de l'Oxygène dissous. In: *Manuel des Analyses Chimiques en milieu Marin* (Cap. XI, pp. 125-134). Centre National Pour L'Exploitation des Océans (CNEXO).
- ARANDA CIREROL, N. (2004). *Eutrofización y calidad del agua de una zona costera tropical* [Tesis de Doctorado, Universitat de Barcelona]. Dipòsit Digital de la Universitat de Barcelona. <http://hdl.handle.net/2445/35296>
- BEIRAS, R. (2018). Nonpersistent Inorganic Pollution. In R. Beiras, *Marine Pollution: Sources, Fate and Effects of Pollutants in Coastal Ecosystems* (Chapter 3, pp. 31-39). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813736-9.00003-9>
- BENDSCHNEIDER, K. & ROBINSON, R. J. (1952). A new spectrophotometric determination of nitrite in sea water. *Journal of Marine Research*, 11(1), 87-96. https://elischolar.library.yale.edu/journal_of_marine_research/761
- BRUGNOLI, E., AROCENA, R., CABRERA-LAMANNA, L. & MUNIZ, P. (2022). Management and Monitoring of Eutrophication: Trophic State Indexes on the Río de la Plata Northern Coast. In W. L. Filho, A. M. Azul, L. Brandli, A. L. Salvia, T. Wall. (Eds.), *Life Below Water, Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals* (pp. 539-551). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-98536-7_114
- CARNEIRO, L., OSTROSKI, A. & MERCURI, E. G. F. (2020). Trophic state index for heavily impacted watersheds: modeling the influence of diffuse pollution in water bodies. *Hydrological Sciences Journal*, 65(15), 2548-2560. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1828588>
- CONTRERAS, F., CASTAÑEDA, O. & GARCÍA, A. (1994). La clorofila-*a* como base para un índice trófico en lagunas costeras mexicanas. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 21(1-2), 55-66.
- FIORI, E., ZAVATARELLI, M., PINARDI, N., MAZZIOTTI, C. & FERRARI, C. R. (2016). Observed and simulated trophic index (TRIX) values for the Adriatic Sea basin. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16, 2043-2054. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-2043-2016>
- GAGO, J., GILCOTO, M., PÉREZ, F. F. & RÍOS, A. F. (2003). Short-term variability of CO₂ in seawater and air-sea CO₂ fluxes in a coastal upwelling system (Ría de Vigo, NW Spain). *Marine Chemistry*, 80(4), 247-264. [https://doi.org/10.1016/S0304-4203\(02\)00117-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4203(02)00117-2)

- GIOVANARDI, F. & VOLLENWEIDER, R. A. (2004). Trophic conditions of marine coastal waters: experience in applying the Trophic Index TRIX to two areas of the Adriatic and Tyrrhenian seas. *Journal of Limnology*, 63(2), 199-218.
- GÓMEZ, R., TOVILLA, C., BARBA, E., CASTAÑEDA, O., VALLE, F. J., ROMERO, E. I. & RAMOS, E. (2014). Índices tróficos de importancia ecológica y su relación con algunas variables físico-químicas en el sistema lagunar estuarino Chantuto-Panzacola, Chiapas, México. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 31(2), 47-57. <http://hdl.handle.net/1834/9096>
- JOHNSON, R. A. & WICHEHN, D. W. (1992). *Applied multivariate statistical analysis*. Prentice Hall International Editions.
- JURY, M. R. (2018). Eastern Venezuela coastal upwelling in context of regional weather and climate variability. *Regional Studies in Marine Science*, 18, 219-228. <https://doi.org/10.1016/j.RSMA.2017.10.010>
- KARYDIS, M., IGNTIADIS, L. & MOSCHOPULOU, N. (1983). An index associated with nutrient eutrophication in the marine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 16, 339-344. [https://doi.org/10.1016/0272-7714\(83\)90151-8](https://doi.org/10.1016/0272-7714(83)90151-8)
- KOROLEFF, F. (1976). Determination of nutrients. In K. Grasshoff (Ed.), *Methods of Seawater Analysis*. Verlag Chemie.
- KRATZER, C. R. & BREZONIK, P. L. (1981). A Carlson-type trophic state index for nitrogen in Florida lakes. *Water Resources Bulletin*, 17(4), 713-715. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1981.tb01282.x>
- LODEIROS SEIJO, C. & FREITAS VALBUENA, L. (2008). Estado actual y perspectivas del cultivo de moluscos bivalvos en Venezuela. En A. Lovatelli, A. Farías & I. Uriarte (Eds.), *Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina* (Nº 12, pp. 135-150). FAO Actas de pesca y acuicultura. <https://documentatiecentrum.waflab.be/imis.php?module=ref&refid=133485>
- LORENZEN, C. J. (1966). A method for the continuous measurement of *in vivo* chlorophyll concentration. *Deep-Sea Research*, 13(2), 223-227. [https://doi.org/10.1016/0011-7471\(66\)91102-8](https://doi.org/10.1016/0011-7471(66)91102-8)
- MÁRQUEZ, A. (2015). *Dinámica de nutrientes y del sistema carbónico en la depresión oriental de la cuenca de Cariaco, Venezuela* [Tesis de Doctorado]. Universidad de Oriente.
- MÁRQUEZ, A., ROMERO, J., TROCCOLI GHINAGLIA, L., SENIOR, W., LEMUS, A. & GONZÁLEZ, Á. (2024). Variación del sistema carbónico en una zona costera del Caribe dedicada al cultivo de mitílidos: Caso golfo de Cariaco. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 6(1), 65-82. <https://doi.org/10.54140/raop.v6i1.76>
- MÁRQUEZ, A., SENIOR, W., BENÍTEZ, A., FERMÍN, I., MARTÍNEZ, G., GONZÁLEZ, Á., CASTAÑEDA, J., ALCALÁ, L. & DE LA CRUZ, R. (2011). Sector oriental del golfo de Cariaco, Venezuela. Una descripción de su dinámica hidroquímica, procesos, y del rol de la surgencia costera estacional. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 50(2), 255-272. <https://doi.org/10.31219/osf.io/mt5ny>
- MEDINA GALVÁN, J., OSUNA-MARTÍNEZ, C. C., PADILLA-ARREDONDO, G., FRÍAS-ESPERICUETA, M. G., BARRAZA GUARDADO, R. H., LEÓN-CAÑEDO, J. A. & ARREOLA-LIZÁRRAGA, J. A. (2022). Estado trófico, dinámica de nutrientes y metabolismo neto de una laguna costera subtropical (golfo de California) receptora de aguas residuales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 38, 429-443. <https://doi.org/10.20937/RICA.54396>
- MORENO-ARBELÁEZ, D. P. & RAMÍREZ-RESTREPO, J. J. (2010). Variación temporal de la condición trófica del lago del Parque Norte, Medellín (Antioquia), Colombia. *Actualidades Biológicas*, 32(92), 75-87. <http://www.scielo.org.co/pdf/acbi/v32n92/v32n92a7.pdf>
- MUCIÑO-MÁRQUEZ, R. E., AGUIRRE-LEÓN, A. & FIGUEROA-TORRES, M. G. (2017). Evaluación del estado trófico en los sistemas fluvio-lagunares Pom-Atasta y Palizada del Este, Campeche, México. *Hidrobiológica*, 27(3), 281-291. <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbshidro/2017v27n3/Mucino>
- MULLIN, J. & RILEY, J. (1955). The spectrophotometric determination of silicate-silicon in natural waters with special reference to sea water. *Analytica Chimica Acta*, 46, 491-501.
- MURPHY, J. & RILEY, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27, 31-36. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)88444-5](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5)
- NEVEROVA-DZIOPAK, E., KOWALEWSKI, Z. & PREISNER, M. (2023). The universal trophic index: new methodological approach to eutrophication monitoring and control. *Aquatic Sciences*, 85(6), 2-16. <https://doi.org/10.1007/s00027-022-00901-3>
- NÚÑEZ, J. G., ARIZA, L. A. & JIMÉNEZ, M. (2011). Evaluación de la estructura de las comunidades coralinas en la franja sublitoral de la zona costera sur del golfo de Cariaco, Venezuela. Parte I: Eje Turpialito-Quetepe. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 50(2), 149-159.
- ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT [OECD]. (1982). *Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control*. OECD.
- PENNA, N., CAPELLACCI, S. & RICCI, F. (2004). The influence of the Po River discharge on phytoplankton bloom dynamics along the coastline of Pesaro (Italy) in the Adriatic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 48(3-4), 321-326. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2003.08.007>
- PRADO-ESPAÑA, M., TROCCOLI-GHINAGLIA, L. & CAJAS-FLORES, J. (2017). Análisis del estado trófico y microfitoplancton de la zona costera de la provincia del Guayas, Ecuador. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 46(2), 91-114. <http://hdl.handle.net/1834/10807>
- REYNOLDS, C. S. (2006). *Ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511542145>
- SALAS, F., TEIXEIRA, H., MARCOS, C., MARQUES, J. C. & PÉREZ-RUZAFÁ, A. (2008). Applicability of the trophic index TRIX in two transitional ecosystems: The Mar Menor lagoon (Spain) and the Mondego estuary (Portugal). *ICES Journal of Marine Science*, 65(8), 1442-1448. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn123>
- SCRANTON, M. I., MCINTYRE, M., ASTOR, Y., TAYLOR, G. T., MÜLLER-KARGER, F. & FANNING, K. (2006). Temporal variability in the nutrient chemistry of

- the Cariaco basin. In L. N. Neretin (Ed.), *Past and present water column anoxia* (pp. 139-160). Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-4297-3_06
- SEISDEDDO LOSA, M., MOREIRA GONZÁLEZ, A. R. & CARLES HURTADO, D. (2022). Assessment of water quality with emphasis on trophic status in bathing areas from the central-southern coast of Cuba. *Ocean and Coastal Research*, 70, e22019. <http://doi.org/10.1590/2675-2824070.21096msl>
- SEISDEDDO, M., MOREIRA, A. R., COMAS, A. A. & ARENCIBIA, G. (2014). Analysis of tools for trophic status assessment of water in Cienfuegos bay, Cuba. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 9(2), 103-111. [https://panamjas.org/pdf_artigos/panamjas_9\(2\)_103-111.pdf](https://panamjas.org/pdf_artigos/panamjas_9(2)_103-111.pdf)
- STRICKLAND, J. D. H. & PARSONS, T. R. (1972). *A practical Handbook of seawaters analysis* (Bulletin 167, 2°ed.). Fisheries Research Board of Canada. <http://dx.doi.org/10.25607/OBP-1791>
- SUMAN, A., ANUJA, P. K. & ADARSH, S. (2023). Development and prediction of a robust multivariate trophic state index for the classification of lentic water bodies. *Results in Engineering*, 20, 101586. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101586>
- THUNELL, R. C., SIGMAN, D. M., MULLER-KARGER, F., ASTOR, Y. & VARELA, R. (2004). Nitrogen isotope dynamics of the Cariaco Basin, Venezuela. *Global Biogeochemical Cycles*, 18(3), 1-13. <https://doi.org/10.1029/2003GB002185>
- TREGUER, P. & LE CORRE, P. (1975). *Manual d'analyses des sels nutritifs dans l'eau de mer. Utilisation de l'Auto-Analyzer II*. Techicon R (2° ed.). LOC-UBO.
- TROCCOLI-GHINAGLIA, L. & PRADO-ESPAÑA, M. (2017). Estado trófico y estructura comunitaria del microfitoplancton en un sector del golfo de Guayaquil, Ecuador. *Biota Colombiana*, 18(2), 145-163. <https://doi.org/10.21068/c2017.v18n02a09>
- VOLLENWEIDER, R. A. (1968). *Scientific fundamentals of lake and stream eutrophication, with particular reference to phosphorus and nitrogen as eutrophication factors* (Technical Report DAS/ DSI/68.27). Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD).
- VOLLENWEIDER, R. A., GIOVANARDI, F., MONTANARI, G. & RINALDI, A. (1998). Characterization of the Trophic Conditions of Marine Coastal Waters with Special Reference to the NW Adriatic Sea: Proposal for a Trophic Scale, Turbidity and Generalized Water Quality Index. *Environmetrics*, 9, 329-357. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-095X\(199805/06\)9:3<329::AID-ENV308>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-095X(199805/06)9:3<329::AID-ENV308>3.0.CO;2-9)
- WEISS, R. F. (1970). The solubility of nitrogen, oxygen and argon in water and seawater. *Deep-Sea Research*, 17(4), 721-735. [https://doi.org/10.1016/0011-7471\(70\)90037-9](https://doi.org/10.1016/0011-7471(70)90037-9)
- YOSHIKAWA, T., MURATA, O., FURUYA, K. & EGUCHI, M. (2007). Short-term covariation of dissolved oxygen and phytoplankton photosynthesis in a coastal fish aquaculture site. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 74(3), 515-527. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.05.004>