



**Análisis de las concentraciones de nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal y ortofosfato y su
relación con los géneros fitoplanctónicos más abundantes reportados en el caño Waffe
durante las épocas climáticas de los años 2019 a 2023**

Liyen Yomali Chico Santos

Asesora

Nelsy Patricia Villalba Negrete, Magíster (MSc) en Ciencias del Mar

Universidad de Antioquia
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Oceanografía
Turbo, Antioquia, Colombia
2024

Cita

(Chico Santos & Villalba Negrete, 2024)

Referencia

Estilo APA 7 (2020)

Chico Santos, L.Y. & Villalba Negrete, N.P. (2024). Análisis de las concentraciones de nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal y ortofosfato y su relación con los géneros fitoplanctónicos más abundantes reportados en el caño Waffe durante las épocas climáticas de los años 2019 a 2023. [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Turbo, Colombia.



Grupo de Investigación Sistemas Marinos y Costeros (GISMAC).

Centro de Investigaciones Seccional Urabá.



Seleccione biblioteca, CRAI o centro de documentación UdeA (A-Z)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A Dios por ser mi mayor guía espiritual y quien siempre me llenó de fuerzas para realizar este hermoso sueño.

A mi familia y mi pareja que siempre estuvieron ahí y junto a mí no nos dimos por vencidos, aunque hubo una y mil batallas para lograr hacer efectivo el cumplimiento de esta meta.

A todos mis amigos, compañeros y demás personas que siempre me apoyaron y creyeron que sería capaz de lograrlo.

Agradecimientos

A Dios mi razón de ser

A mi familia y pareja que con su gran esfuerzo y amor proporcionaron en la permanencia de la carrera.

A la Universidad de Antioquía, el personal de psicorientación que fueron parte clave de todo el proceso estudiantil.

A la corporación Ambiental los profesores que por su empeño y dedicación.

A el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico – IIAP y el Grupo de Investigación en Sistemas Marinos y Costeros GISMAC por su apoyo en el proceso de desarrollo del trabajo de grado.

A mi asesora Nelsy Villalba por su amabilidad, comprensibilidad, cariño y amor en su labor.

A los profesores Pedro Vallejo y Mónica Zambrano por su disposición y atención en el proceso.

A mis compañeros Erica Zapata, María José Pacheco, Jhon Wilmer Santero, Héctor Urango, Daniel Paso, Jhon Janes Perlet, Adriana Fuquen y demás compañeros que aportaron un grano de arena en el proceso.

Tabla de contenido

Resumen	9
Abstract	10
Introducción	11
Objetivos.....	12
Objetivo general.....	12
Objetivos específicos.....	12
Area de estudio y metodología.....	12
Área de estudio.....	12
Toma de muestras.....	14
Análisis estadístico.....	14
Resultados y discusión.....	15
Nitrato.....	16
Nitrito.....	17
Nitrógeno amoniacal.....	19
Ortofosfato.....	20
Géneros fitoplanctónicos más abundantes en el área de estudio.....	22
Concentración de nutrientes y géneros fitoplanctónicos más abundantes.....	25
Conclusión.....	26
Recomendaciones.....	28

Lista de tablas

Tabla 1 Localización de los puntos de muestreo.....	14
Tabla 2 Concentraciones de nutrientes registrados en el caño Waffe durante pleamar y bajamar para la época seca y húmeda de los años 2019 a 2023.	16
Tabla 3 Matriz de correlación de Spearman.....	25

Lista de figuras

Figura 1 Área de estudio	13
Figura 2 Concentración de nitrato en S1, S2, S3 en bajamar y pleamar de época húmeda y seca desde el año 2019 a 2023.....	17
Figura 3 Concentración de nitrito en S1, S2, S3 en bajamar y pleamar de época húmeda y seca desde el año 2019 a 2023.....	18
Figura 4 Concentración de nitrógeno Amoniacal en S1, S2, S3 en bajamar y pleamar de época húmeda y seca desde el año 2020 a 2023.....	20
Figura 5 Concentración de ortofosfato en S1, S2, S3 en bajamar y pleamar de época húmeda y seca desde el año 2019 a 2023.....	21
Figura 6 Abundancia de géneros fitoplanctónicos mayores a 5.000 C/L en S1, S2, S3 con respecto a las mareas.....	23
Figura 7 Mapa de Análisis correspondencia canónica ACC.....	26

Siglas, acrónimos y abreviaturas

Max	Máximos
MED	Marine Environment Division
Media±DE	Media y desviación estándar
Min	Mínimos
NH₄⁺	Amonio
NO₂-	Nitrito
NO₃-	Nitrato
PO₄³⁻	Ortofosfato
S1	Sitio 1
S2	Sitio 2
S3	Sitio 3
ZCIT	Zona de convergencia intertropical

Resumen

El caño Waffe, ubicado en Turbo, Antioquia, es un ecosistema costero y un entorno complejo y productivo que depende de factores físicos, químicos y biológicos para mantener su estabilidad. Lamentablemente, la creciente presión de las actividades humanas ha aumentado las descargas de aguas residuales sin tratamiento previo lo que impacta negativamente el equilibrio de este sistema. En este estudio se analizaron las concentraciones de nutrientes como nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amonio (NH_4^+) y ortofosfato (PO_4^{3-}), se analizaron además los géneros fitoplanctónicos más abundantes en tres sitios de muestreo distribuidos en el caño Waffe; estos datos abarcan los años 2019 a 2023 y se tuvieron en cuenta las épocas climáticas y los regímenes de mareas. Entre los géneros más abundantes se encontró *Euglena*, *Pleurosigma*, *Coscinodiscus*, *Trachelomonas*, *Scrippsiella*, *Pseudonitzschia* y *Skeletonema*, todos con una densidad superior a 5.000 cel/L, en al menos un sitio durante todo el monitoreo, mostrando una relación con las concentraciones de nutrientes según el Coeficiente de Correlación de Spearman. Es así como la abundancia del género *Euglena* tiene una relación positiva con NO_2^- y NH_4^+ ; los géneros *Pseudonitzschia*, *Scrippsiella*, *Skeletonema* y *Trachelomonas* con NO_3^- , *Coscinodiscus* y *Pleurosigma* con PO_4^{3-} según el Análisis de Correspondencias Canónicas. Lo que indica que las altas concentraciones de nutrientes producto de la descarga de aguas residuales sin tratamiento previo favorecen la proliferación de las algas fitoplanctónicas del caño Waffe, presentando en algunos casos eventos de floraciones.

Palabras clave: nutrientes, fitoplancton, Caño Waffe, aguas residuales, épocas climáticas.

Abstract

The Caño Waffe, located in Turbo, Antioquia, is a coastal ecosystem and a complex and productive environment that depends on physical, chemical and biological factors to maintain its stability. Unfortunately, the increasing pressure of human activities has increased the discharges of wastewater without prior treatment, which negatively impacts the balance of this system. In this study, the concentrations of nutrients such as nitrate (NO_3^-) nitrite (NO_2^-), ammonium (NH_4^+) and orthophosphate (PO_4^{3-}) were analyzed, the most abundant phytoplankton genera were also analyzed in three sampling sites distributed in the Waffe channel; these data cover the years 2019 to 2023 and the climatic epochs and tidal regimes were taken into account. Among the most abundant genera, *Euglena*, *Pleurosigma*, *Coscinodiscus*, *Trachelomonas*, *Scrippsiella*, *Pseudonitzschia* and *Skeletonema* were found, all with a density greater than 5,000 cel/L, in at least one site during the entire monitoring, showing a statistically significant relationship with nutrient concentrations (Spearman p-value). This is how the abundance of the genus *Euglena* has a positive relationship with NO_2^- and NH_4^+ ; the genera *Pseudonitzschia*, *Scrippsiella*, *Skeletonema* and *Trachelomonas* with NO_3^- , *Coscinodiscus* and *Pleurosigma* with PO_4^{3-} according to Canonical Correspondence Analysis. Which indicates that the high concentrations of nutrients resulting from the discharge of wastewater without prior treatment favor the proliferation of phytoplankton algae from the Waffe channel, presenting in some cases flowering events.

Key words: nutrients, phytoplankton, caño waffe, wastewater, climatic seasons.

1. Introducción

Los ecosistemas costeros son entornos altamente productivos que se sustentan principalmente en grandes concentraciones de material orgánico suspendido y microorganismos asociados, que comprenden la base de la red trófica estuarina (Katin *et al.*, 2021); generalmente son impactados por la actividad humana porque se utilizan como puertos; drenajes de residuos producto de las actividades domésticas, industriales y agrícolas; áreas de acuicultura; áreas de pesca artesanal y comercial; navegación y diversas actividades recreativas. Por lo tanto, estas áreas están sujetas a altos índices de contaminación (Simboura *et al.*, 2016).

Es por ello, que las aguas costeras tienen alta probabilidad de presentar procesos de eutrofización e hipoxia, resultado de la alta descarga de nutrientes debido al crecimiento de la población humana y la expansión agrícola, ganadera e industrial (Douglas *et al.*, 2021). Aunque nutrientes como el nitrato (NO_3^-) nitrito (NO_2^-), nitrógeno amoniacal (NH_4^+) y fosfatados (PO_4^{3-}) son base fundamental para el sustento del primer eslabón de la cadena trófica estuarina, su presencia y concentración en el medio puede determinar el funcionamiento del sistema (Zambrano *et al.*, 2022).

El caño el Waffe, es el resultado de la unión del caño Puerto Tranca y el caño Veranillo antes de la llegada a la Bahía de Turbo (Mejía, 2004). Está ubicado hacia el centro del casco urbano, al interior de la Bahía de Turbo; en él descargan las aguas residuales de algunos sectores del Distrito sin tratamiento previo, evidenciando problemas de degradación en este ambiente relacionados con los aportes de materia orgánica (Zambrano, *et al* 2022), a este comportamiento se le suma el hecho de que el Waffe se encuentra rodeado de urbanizaciones y de un sector comercial, lo cual genera un aporte adicional en relación al vertimiento de desechos y aguas residuales.

Es por ello que se analizarán las concentraciones de los nutrientes como (NO_3^- , NO_2^-) y (NH_4^+) y (PO_4^{3-}) su relación con la estructura de la comunidad fitoplanctónica durante los monitoreos realizados en los años 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023 en tres sitios del caño Waffe, debido a que las altas concentraciones de estos compuestos son las principales responsables de floraciones algales, entre ellas, algunas tóxicas para la vida acuática, lo que a su vez puede representar problemas de salud pública por el consumo de organismos contaminados.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Analizar las concentraciones de NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ y PO_4^{3-} y su relación con los géneros fitoplanctónicos más abundantes registrados en el caño Waffe, Turbo Antioquía, teniendo en cuenta las épocas climáticas durante los años 2019 a 2023.

2.2 Objetivos específicos

- Analizar las concentraciones de NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ y PO_4^{3-} en tres sitios distribuidos en el caño Waffe durante la época húmeda y seca en el periodo comprendido entre 2019 y 2023.
- Identificar los géneros fitoplanctónicos más abundantes registrados en tres sitios distribuidos en el caño Waffe durante la época húmeda y seca en el periodo comprendido entre 2019 y 2023.
- Relacionar las concentraciones de NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ y PO_4^{3-} con los géneros fitoplanctónicos más abundantes identificados en los tres sitios de muestreo en el caño Waffe durante la época húmeda y seca en el periodo comprendido entre 2019 y 2023.

3. Área de estudio y Metodología

3.1 Área de estudio

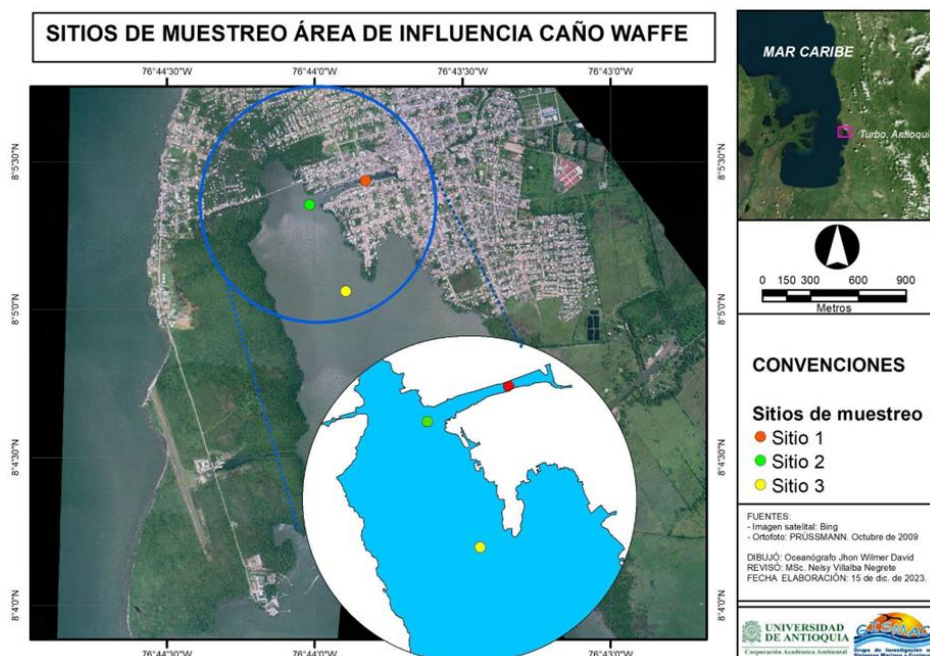
El golfo de Urabá es la entrada de mar más grande a lo largo de la costa Caribe colombiana, ocupa aproximadamente 2000 km², su temperatura fluctúa entre 24 y 32 °C, anualmente la precipitación promedio es de 2,500 mm impulsada por vientos húmedos desde el Pacífico chocoano. Debido a la oscilación de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) el área presenta dos épocas climáticas definidas: época seca, que comprende los meses de diciembre a marzo, con predominio de los vientos alisios del norte y noreste, y época húmeda, que comienza en el mes de abril pasando por un periodo de transición (lluvias ligeras) entre agosto y septiembre caracterizada por vientos de dirección variable, finalizando en el mes de noviembre (Chevillot *et al.*, 1993; Montoya y Toro, 2006; Ortiz y Blanco, 2012).

En el Golfo se presenta un régimen micro mareal de tipo semidiurno mixto con amplitudes máximas de 40 cm (Escobar, 2011; Montoya *et al.*, 2017), es un estuario rico en recursos naturales, con una amplia diversidad de ecosistemas como manglares y lagunas costeras que son altamente productivos. Teniendo en cuenta las características que presenta la zona, esta soporta el desarrollo de diversas actividades económicas como pesca, agricultura, ganadería, minería y transporte marítimo (Vallejo *et al.*, 2016).

En la zona suroriental del golfo de Urabá, se encuentra localizado el caño El Waffe, específicamente en las coordenadas $8^{\circ} 5' 23,2''$ N y $76^{\circ} 43' 57,0''$ W, en el Distrito de Turbo departamento de Antioquia (**Figura 1**). Su cauce ha sido modificado debido al dragado continuo con el objetivo de facilitar la navegación, este caño se caracteriza por sus aguas lentas, alta turbidez y altas concentraciones de sedimentos fangosos, coliformes fecales, nutrientes y sólidos, lo que afecta sus condiciones físicas y su funcionamiento (Rúa *et al.*, 2019). Recibe descargas directas de aguas residuales y residuos sólidos de ocho barrios cercanos, además desembocan surtidores como Puerto Tranca y Veranillo, trayendo consigo los contaminantes vertidos por las actividades que se desarrollan en sus respectivas áreas de influencia (Pemberthy *et al.*, 2020).

Figura 1

Ubicación geográfica de caño Waffe, Distrito de Turbo Antioquia, Golfo de Urabá.



Tomado de Monitoreo de la calidad fisicoquímica y ecológica de las aguas costeras en la bahía de Turbo- sector de influencia del caño el Waffe III. IIAP-GISMAC.

3.2.1 Toma de muestras

La toma de muestras se realizó en el marco del proyecto Monitoreo de la calidad fisicoquímica y ecológica de las aguas costeras de Turbo-sector de influencia del caño Waffe, en el marco de ejecución del Plan Operativo Anual del Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico IIAP, coordinado y administrado por la Corporación Ambiental de la Universidad de Antioquia. Estos monitoreos se realizaron en noviembre de 2019, diciembre de 2020, noviembre de 2021, junio y noviembre de 2022, y marzo de 2023. Los sitios de recolección de muestras se relacionan en la (Tabla 1, Figura 1).

Tabla 1

Localización de los puntos de muestreo

SITIO	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS (N-W)
1	Punto 1 de intersección entre el caño Waffe y la Bahía	8°5'23.2'' - 76°43'57.0''
2	Punto 2 intersección caño Waffe Bahía + 100m	8°5'13.9'' - 76°43'57.0''
3	Punto 3 intersección caño Waffe Bahía + 200m	8°4'55.0'' - 76°43'51.5''

Tomado de Monitoreo de la calidad fisicoquímica y ecológica de las aguas costeras en la bahía de Turbo- sector de influencia del caño el Waffe III. IIAP-GISMAC.

3.2.2 Toma de información de nutrientes y fitoplancton

Se revisaron las bases de datos del proyecto y se tomaron los resultados de los nutrientes (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ y PO_4^{3-}), se tomó además la información de los géneros fitoplanctónicos que registraron abundancias superiores a 5.000 células/litro. Esto con el fin de cumplir con el objetivo principal de este trabajo.

3.2.3 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se tuvo en cuenta las bases de datos de las épocas húmedas de 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023.

Inicialmente se agruparon los datos de la siguiente manera: época húmeda (2019), época húmeda influenciada por el fenómeno de La Niña (2020, 2021 y 2022), época seca influenciada por el fenómeno de La Niña (2022) y época seca (2023). Para comprobar si había diferencias estadísticamente significativas entre las épocas influenciadas por el fenómeno de La Niña y las

épocas que no (seca y húmeda), se realizaron pruebas no paramétricas (Kruskal-Wallis) empleando el software IBM SPSS v. 25.

Los resultados indicaron que no existen diferencias significativas entre la época seca influenciada por el fenómeno de La Niña y época seca sin influencia, tampoco existen diferencias significativas entre la época húmeda influenciada por el fenómeno de La Niña y época húmeda sin influencia (Kruskal-Wallis $p < 0,05$), por esta razón los datos se agruparon en dos bloques; época seca y época húmeda para los respectivos análisis.

Para comparar entre épocas aplicó la prueba U de Mann-Whitney con punto de corte $p < 0,05$. El tratamiento estadístico de los datos se realizó empleando el software IBM SPSS v. 25. Para la comparación de medias entre sitios y muestreos de variables y covariables se aplicó un análisis de Kruskal-Wallis, considerando los sitios de muestreo como factores independientes.

Para relacionar las abundancias de los géneros fitoplanctónicos con la concentración de nutrientes se utilizó el Coeficiente de Correlación de Spearman y Análisis de Correspondencias Canónicas.

Algunos parámetros no pudieron evaluarse estadísticamente, debido a que las técnicas analíticas de cuantificación no tienen la capacidad de detectar concentraciones muy bajas y, por tanto, no se asigna un valor de concentración.

4. Resultados y Discusión

En el medio marino la concentración o comportamiento de los nutrientes se encuentra ligada a múltiples factores como el nivel, consumo e inmovilización, presencia de fuentes directas (naturales y humanas), remineralización, mareas, resuspensión, entre otros (Libes, 2009); estos son agentes que constituyen parte fundamental de los ciclos biogeoquímicos.

El nitrógeno (N) y el fósforo (P) son necesarios para el crecimiento de los organismos, estos se suministran al océano principalmente a través de la escorrentía de los ríos, a causa de esto, los valores más altos de productividad se encuentran en los márgenes continentales (Rentería y Ortega, 2012); siendo los sistemas estuarinos los principales receptores de nutrientes provenientes de la descarga de los ríos, los cuales recogen y transportan a lo largo de la zona hidrográfica aportes significativos generados por acción antropogénica (Noriega *et al.*, 2009). En la (Tabla 2) se

muestran los estadísticos descriptivos de los nutrientes discriminados por mareas durante los años 2019 a 2023.

Tabla 2

Concentraciones de nutrientes registrados en el caño Waffe durante pleamar y bajamar para la época seca y húmeda de los años 2019 a 2023. Donde se representan los valores mínimos (Min), máximos (Max), la media y desviación estándar (Media±DE).

NUTRIENTES (mg/L)	PLEAMAR			BAJAMAR		
	Min	Max	Media±DE	Min	Max	Media±DE
Nitrato	0,12	0,61	0,15±0,26	0,12	2,21	0,30±0,38
Nitrito	0,0062	0,078	0,007±0,001	0,003	0,0353	0,0090±0,0057
Nitrógeno amoniacal	0,02	2,2	0,56±0,22	0,02	2,48	0,24±0,64
Ortofosfato	0,12	0,52	0,12±0,22	0,11	0,52	0,22±0,13

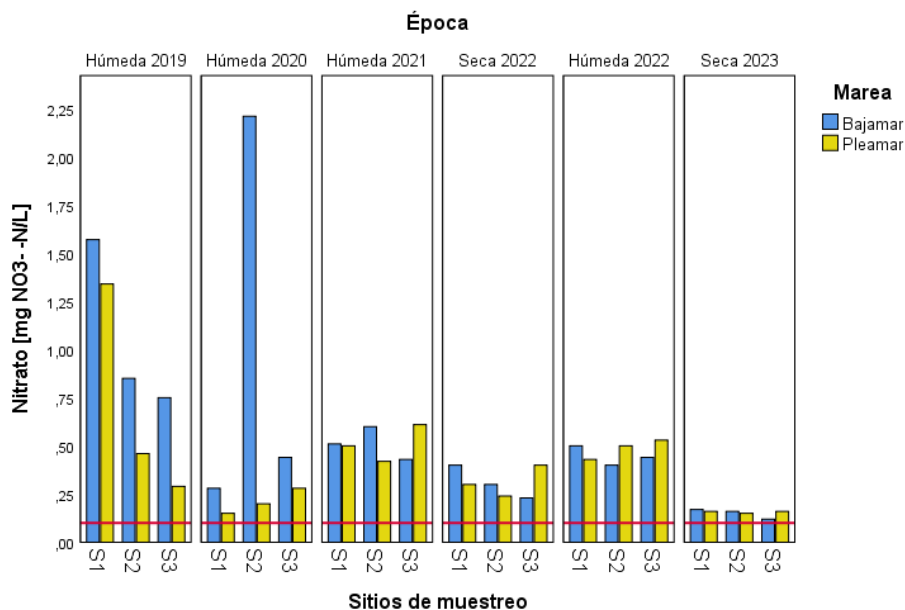
4. 1 Nitratos

Los nitratos son una forma de nitrógeno altamente biodisponible y probablemente provienen de la descomposición de la materia orgánica mediada por microorganismos, constituyen el último estado de oxidación del N y es la forma como lo utilizan directamente las plantas y las algas para sintetizar las proteínas (Morales *et al.*, 2017).

Las concentraciones de NO₃⁻ oscilaron entre 0,12 y 2,21 mg/L encontrando el valor más bajo en S3 durante la época seca de 2023 y el más alto en S2 en la época húmeda de 2020; ambos durante bajamar (**Figura 2**). Estadísticamente se encontraron diferencias significativas entre épocas climáticas (U Mann-Withney; p<0.05); por el contrario, no se encontraron diferencias significativas entre sitios de muestreo (Kruskal-Wallis p>0.05).

Figura 2

Concentración de nitrato en S1, S2, S3 en bajamar y pleamar en época húmeda y seca años 2019 a 2023



Todas las concentraciones registradas estuvieron por encima de 0,06 mg/L, concentración de referencia de acuerdo con los criterios de calidad admisible para aguas marinas y estuarinas (MED, 1999; ASEAN, 2008), valor señalado en la (Figura 2) por la línea de color rojo. Este comportamiento se relaciona con el hecho de que el caño Waffe se encuentra rodeado de urbanizaciones y de un sector comercial, lo cual genera un aporte adicional en relación con el vertimiento de desechos y aguas residuales que se suman a los transportados por los caños que desembocan en este sector.

4.2 Nitritos

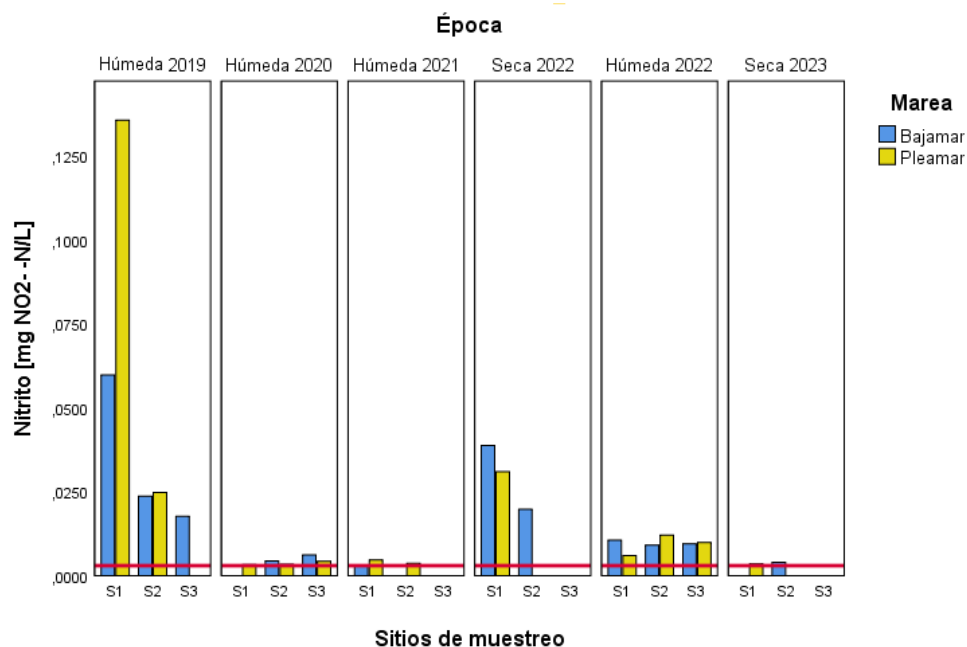
La presencia de NO₂- indica, por lo regular, procesos activos biológicos en el agua, ya que es fácil y rápidamente transformado en NO₃- siendo esta última la especie de nitrógeno empleada por los autótrofos. Su concentración puede ser considerada como un índice de la cantidad de nitrógeno orgánico intermedio. Consecuentemente el estudio de las concentraciones de NO₂- puede servir como indicador de inestabilidad del sistema. La inestabilidad de este compuesto hace que sus concentraciones sean relativamente bajas, porque se halla en estado de oxidación intermedio entre el NH₄⁺ y el NO₃⁻, y se puede presentar como indicador de la reducción de NH₄⁺ y del NO₃⁻ en los ciclos biogeoquímicos del N entre los procesos de nitrificación y desnitrificación (Trejos de

Suescum y Okuda, 1983; Bianchi, 2007). Los NO_2^- también se utilizan como indicador de contaminación fecal en aguas naturales por ello se constituye en un importante indicador de la calidad del agua (Cabrera *et al.*, 2003).

Las concentraciones de NO_2^- oscilaron entre 0,0031 y 0,1357 mg/L encontrando el valor más bajo en bajamar y el más alto en pleamar, ambos en S1 y durante la época húmeda; 2021 y 2019 respectivamente, con una diferencia de 0,1326 mg/L entre ambos valores. Es importante resaltar que se reportaron valores por debajo del límite de detección del método ($<0,003$ mg/L) durante la época húmeda de 2019, 2020, 2021 y la época seca de 2022 y 2023 (**Figura 3**). Estadísticamente no se encontraron diferencias significativas entre épocas climáticas (U Mann-Withney; $p>0.05$) e igualmente entre sitios de muestreo (Kruskal-Wallis $p>0.05$).

Figura 3

Nitrato en S1, S2, S3 en bajamar y pleamar de época húmeda y seca desde el año 2019 a 2023



Los registros obtenidos en algunos sitios presentaron concentraciones inferiores a los 0,055 mg NO_2^- /L, concentración de referencia en los criterios de calidad admisibles para aguas marinas y estuarinas (MED, 1999; ASEAN, 2008) valor señalado en la (Figura 3) por la línea de color rojo. En general, en S3 se evidencia la menor incidencia de las aguas continentales aportadas sobre este sector, presentando concentraciones más bajas de NO_2^- en este punto de muestreo con respecto a

los sitios restantes, lo que puede relacionarse con una dilución a medida que se va desplazando el volumen de agua al interior del caño.

En aguas superficiales bien oxigenadas el NO_2^- no suele superar concentraciones equivalentes a 0,1 mg/L (Stumm y Morgan, 1996; Galvín, 1995), situación que raras veces se presenta, pese a ello, este valor fue sobrepasado en S1 alcanzando una concentración de 0,1357 mg NO_2^-/L durante la época húmeda de 2019, indicando una muy mala calidad del agua en este sector, asociada a el ingreso de aguas residuales sin tratamiento previo, y una retención de las mismas en la zona por efecto de la marea, lo cual incrementa la concentración y guarda estrecha relación con el hecho de que la presencia de NO_2^- en el agua es indicativo de contaminación de carácter fecal reciente (Catalán, 1981), pues a los afluentes del caño Waffe le aportan aguas residuales que son vertidas a estos cuerpos de agua de manera directa debido a la carencia de un sistema de alcantarillado, siendo este tipo de contaminación y la derivada de actividades industriales las que pueden generar estas altas concentraciones de NO_2^- (Prat *et al.*, 1999).

Este comportamiento resulta muy importante en los sistemas acuáticos dado que NO_2^- es bastante tóxico, lo que hace que estos iones sean considerados entre los principales responsables de la toxicidad para los animales. Su acción tóxica es debida fundamentalmente a la conversión de los pigmentos respiratorios (hemoglobina, hemocianina) en formas que son incapaces de transportar y liberar oxígeno (meta-hemoglobina, meta-hemocianina), lo cual puede causar asfixia y en último término la muerte (Camargo y Alonso, 2007).

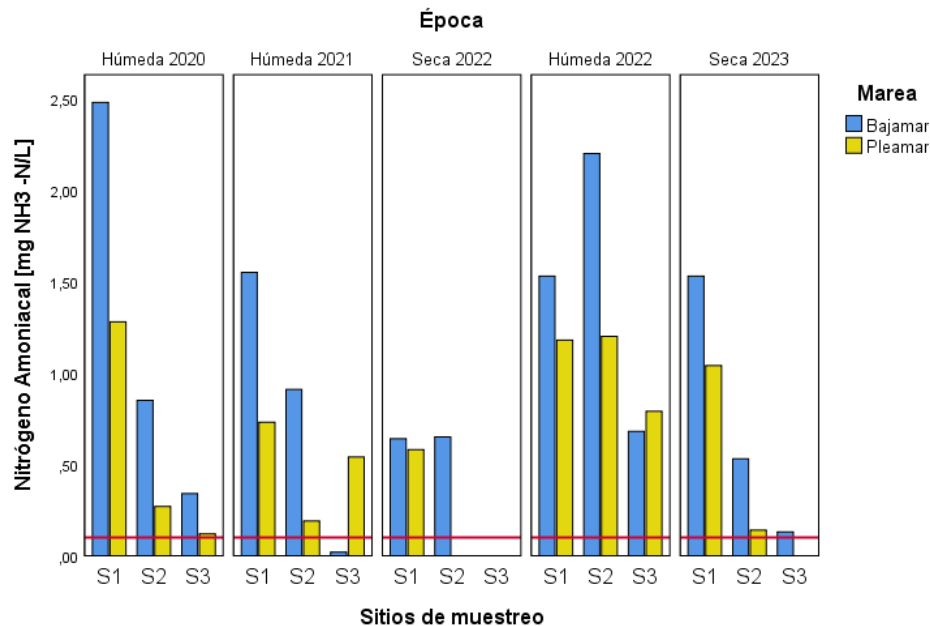
4.3 Nitrógeno Amoniacal

El NH_4^+ en los ecosistemas acuáticos es producto de la descomposición de la materia organonitrogenada y del intercambio de gases con la atmósfera. Normalmente las concentraciones más altas se encuentran en los puntos de influencia de descargas de aguas residuales y desembocaduras de ríos, y presentan un gradiente de disminución hacia mar adentro (Casanova-Rosero *et al.*, 2015).

En los sitios de estudio las concentraciones de NH_4^+ oscilaron entre 2,48 y 0,02 mg/L encontrando el valor más alto en el S1 en la época húmeda de 2020 y el más bajo en el S3 en la época húmeda de 2022; ambos durante bajamar. Estadísticamente no se encontraron diferencias significativas entre épocas climáticas (U Mann-Withney; $p > 0.05$); en cambio entre sitios de muestreo si se encontraron diferencias (Krusal-Wallis; $p < 0.05$).

Figura 4

Concentraciones de nitrógeno amoniacal en S1, S2 y S3 en bajamar y pleamar en época húmeda y seca.



La mayor parte de los registros obtenidos durante los muestreos superaron la concentración de 0,07 mg/L establecida como referencia para este compuesto valor señalado en la (Figura 4) por la línea de color rojo, de acuerdo con los criterios de calidad admisibles para aguas marinas y estuarinas (MED, 1999; ASEAN, 2008), evidenciando problemas de degradación en este ambiente, relacionados con los aportes de materia orgánica transportada por los caños que desembocan en el sector del Waffe, sobre los cuales se vierten a lo largo de su curso aguas residuales domésticas sin ningún tipo de tratamiento.

4.4 Ortofosfato

El PO_4^{3-} es uno de los nutrientes que resultan más necesarios para el crecimiento del fitoplancton y, por ende, es considerado como un limitante para la producción primaria. En los estuarios se introduce a partir de la descarga de aguas residuales domésticas, la escorrentía agroindustrial y la erosión de las rocas que se mezclan con el agua del río en su curso (Liu *et al.*, 2009; Baliarsingh *et al.*, 2021).

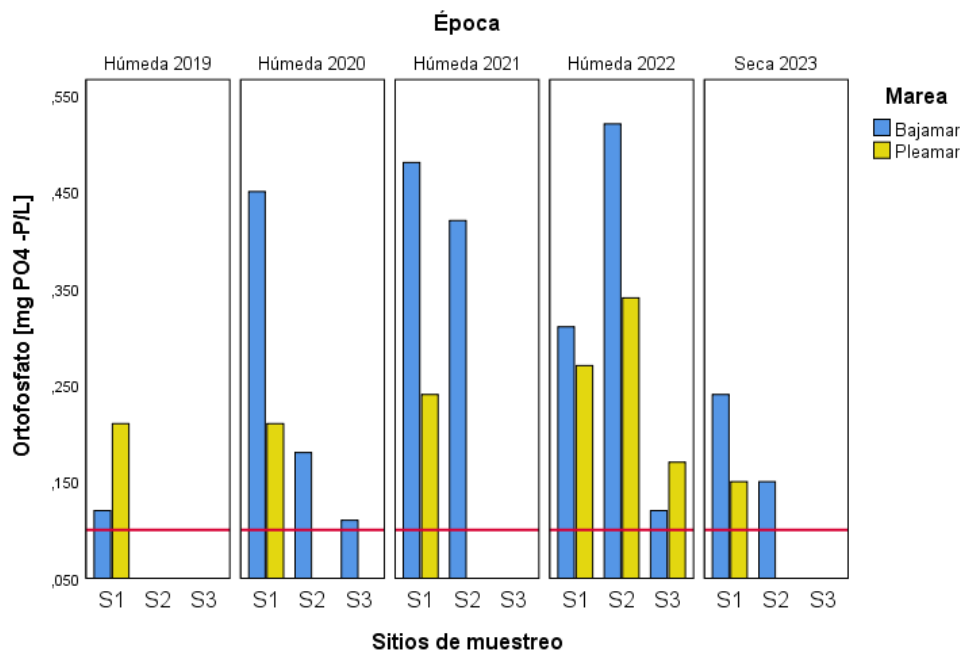
Las concentraciones de PO_4^{3-} oscilaron entre 0,11 y 0,52 mg/L encontrando el valor más bajo en el S3 durante la época húmeda de 2020 y el más alto en el S2 en la época húmeda de 2022; ambos valores registrados durante bajamar. Es importante resaltar que se reportaron valores por

debajo del límite de detección del método ($<0,1$ mg/L) durante la época húmeda de 2019, 2020, 2021 y la época seca de 2023 (Figura 5). Estadísticamente no se encontraron diferencias significativas entre épocas climáticas (U Mann-Withney; $p>0.05$) e igualmente, no se encontraron diferencias significativas entre sitios de muestreo (Kruskal-Wallis $p>0.05$).

En general, todas las concentraciones registradas en todos los sitios y épocas monitoreadas representan una mala calidad del agua en el sector, pues superan los $0,045$ mg/L, valor referenciado como criterio de calidad admisible para aguas marinas y estuarinas (MED, 1999; ASEAN, 2008), ratificando los impactos negativos que los aportes de los caños Puerto tranca y Veranillo generan sobre este cuerpo de agua receptor.

Figura 5

Concentraciones de ortofosfato en S1, S2 y S3 en bajamar y pleamar de época húmeda y seca desde el año 2019 a 2023



La concentración de PO_4^3 tiende a ser menor a medida que se toma distancia de la zona de aportes de aguas residuales a través de los caños que desembocan en el Waffe, razón por la cual los sitios S2 y S3 han registrado regularmente niveles inferiores al establecido como límite de detección del método ($<0,1$ mg/L), particularmente durante los periodos de pleamar, en los que se incrementa la dilución, tal y como se puede observar en presenta en la (Figura 5). De otra parte, los bajos niveles de PO_4^3 pueden relacionarse con lo descrito en estudios realizados en aguas someras,

en los que se ha concluido que su tiempo de residencia es bajo debido a una alta demanda biótica (Libes 2011; Emerson y Hedges, 2008).

Las actividades de dragado incrementan la turbidez y los sólidos en suspensión, lo que produce un cambio importante en el clima lumínico, que puede llegar a afectar a la zona fótica, reduciendo la penetración de la luz. De forma paralela es previsible que el aumento de los nutrientes (amonio y fósforo) incrementen la producción en las zonas en las que llega luz suficiente (Armengol, 1998), lo cual se puede asociar con el comportamiento registrado en el caño a unos meses de las actividades de dragado, durante la época seca de 2022 en la que todos los sitios de muestreo estuvieron por debajo del límite de detección del método para este nutriente, lo que indica un importante proceso de asimilación por parte de los organismos, reflejado en el incremento en la abundancia de autótrofos asociado a un proceso de floración algal, situación similar a la presentada en 2019.

En general, todas las concentraciones registradas estuvieron por encima de los límites permisibles las concentraciones más altas con respecto a los sitios se encuentran en S1 y S2 debido a que estos eran los puntos más cerca a la desembocadura de los caños Puerto Tranca y Veranillo; el nitrato tuvo un comportamiento más amplio en los valores, se evidenciaron datos en cada una de las épocas y tanto en bajamar como pleamar y en cada uno de los sitios de muestreo, esto puede ser causa de que este nutriente es altamente biodisponible.

Las altas concentraciones registradas en 2021 y en época húmeda de 2022 pueden relacionarse con los procesos de resuspensión presentados en la columna de agua, asociados con las operaciones de dragado, pues esta actividad genera movilización de nutrientes y materiales acumulados en los sedimentos, muchos de ellos tóxicos y, por tanto, se presentó un incremento en la disponibilidad de este nutriente en la columna de agua.

4.5 Géneros fitoplanctónicos más abundantes en el área de estudio

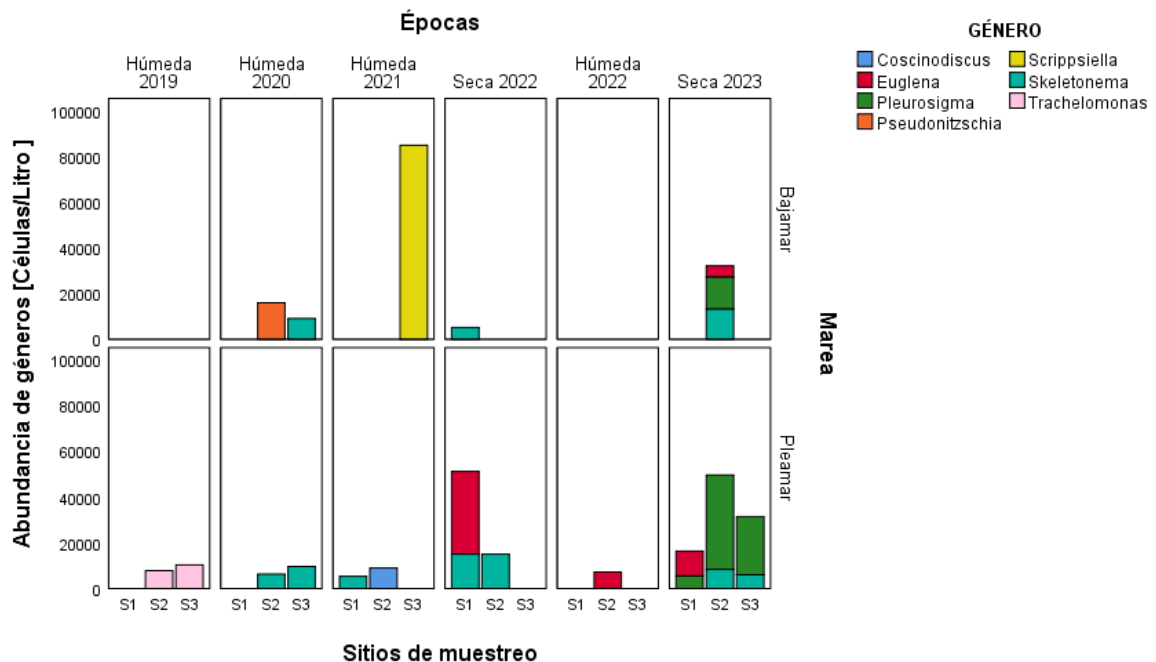
El fitoplancton es el pilar de la cadena alimentaria en todos los ecosistemas acuáticos del mundo, ya sea de agua dulce como los ríos o de agua salada como los océanos, realiza fotosíntesis produciendo oxígeno y actúa como sumidero de carbono (Carvalho *et al.*, 2021; Rivas *et al.*, 2021). Entre los géneros más abundantes reportados en el caño Waffe se encontró *Euglena* con la densidad más alta en S1 durante pleamar en época seca 2022 con 36200 Cel/L, *Coscinodiscus* con 8960

cel/L en S3 durante pleamar en época seca 2023, *Pleurosigma* con 41195 cel/L en S2 durante pleamar en época seca 2023, *Trachelomonas* presentó una densidad de 10323 cel/L en S3 durante pleamar en época húmeda 2019, *Scrippsiella* 84776 en S3 durante pleamar en época húmeda 2021, *Pseudonitzschia* con 16000 cel/L en S2 durante pleamar en época húmeda 2020 y *Skeletonema* con 15000 cel/L en S1 durante pleamar en época seca 2022.

Siendo *Scrippsiella* el género con mayor densidad poblacional reportada en todo el muestreo, sin embargo, todas estas densidades son suficientes para considerarse como eventos de floraciones algales durante el momento de muestreo. A continuación, en la (**Figura 6**) se muestra los siete géneros más abundantes reportados para el caño Waffe, discriminados por épocas, sitios y mareas.

Figura 6

Abundancia de géneros fitoplanctónicos mayores a 5.000 C/L en S1, S2, S3 con respecto a las mareas



Es así, como los géneros *Coscinodiscus*, *Pseudonitzschia*, *Scrippsiella* y *Trachelomonas* son los más abundantes en las épocas húmedas; cuando hay más lluvias y las corrientes arrastran los nutrientes por lo tanto las concentraciones de NO_3^- , NH_4^+ y PO_4^{3-} son más altas durante esta

época. Mientras que, los géneros *Euglena*, *Pleurosigma* y *Skeletonema*, son los más abundantes durante la época seca. Donde el género *Euglena* presentó una abundancia de 36200 cel/L en S1 durante pleamar en 2022 época seca cuando el nitrógeno amoniacal tuvo una concentración de 0,58 mg/L y el nitrito de 0,0388 mg/L, *Pleurosigma* presentó una abundancia de 41,195 cel/L en S2 durante pleamar en 2023 época seca cuando el ortofosfato tuvo una concentración de 0,15 mg/L y *Skeletonema* presentó una abundancia de 15,000 cel/L en S1 durante pleamar en 2022 época seca cuando el nitrato tuvo una concentración de 0,23 mg/L.

La presencia de organismos de la clase *Euglenoidea* (géneros *Trachelomonas* y *Euglena*) es importante al momento de evaluar la calidad de un cuerpo de agua, ya que estos organismos son reconocidos como indicadores de calidad del agua deficiente, pues son afines a sitios caracterizados por baja potabilidad y alto contenido de material orgánico (Alves *et al.*, 2007).

Los *Euglenophytas* son abundantes en charcas y lagunas temporales con alta concentración de materia orgánica, encontrando en Colombia varias especies de los géneros *Euglena*, *Trachelomonas* (Roldan y Ramírez, 2008). Los organismos de esta clase son mixótrofos, tienen la capacidad realizar fotosíntesis, pero también son heterótrofos, por lo que aprovechan la materia orgánica disuelta de la columna de agua para obtener energía (Ollrik, 1998); son así un buen indicador de contaminación por materia orgánica (MO), siendo este grupo muy abundante en nuestras aguas residuales domésticas. También pueden indicar eutrofia en el sistema, dado que en sistemas eutróficos la producción se dispara, con el consecuente exceso de MO (Burgos, 2010), por ello su presencia y abundancia en las muestras analizadas evidencia la situación que presenta en el sector del caño el Waffe en términos de calidad del agua, que tal y como se ha mencionado previamente, se caracteriza por ser la zona receptora de gran una cantidad de aguas residuales que se vierten sin tratamiento previo a los cuerpos de agua que atraviesan el municipio de Turbo, causando un deterioro notable.

Por otro lado, los organismos pertenecientes a la clase *Bacillariophyceae* (géneros *Skeletonema*, *Pseudonitzschia* y *Coscinodiscus*), debido a sus características biológicas y ecológicas reflejan el estado de las aguas superficiales frente a impactos antrópicos, ya que son reconocidos como indicadores de contaminación orgánica y eutrofización (Céspedes *et al.*, 2016; Baylón *et al.*, 2018), mientras que los organismos de la clase *Dinophyceae* (género *Scrippsiella*) pueden formar mareas rojas cuando proliferan excesivamente y producen poderosas toxinas (Gárate *et al.*, 2009).

4.6 Concentración de nutrientes y géneros fitoplanctónicos más abundantes

Para comprobar si existe una correlación entre la concentración de nutrientes y la abundancia de los géneros fitoplanctónicos se utilizó el Coeficiente Correlación de Spearman. Los resultados se muestran en la (**Tabla 3**) donde se resaltan las correlaciones positivas entre los géneros fitoplanctónicos y las concentraciones de nutrientes, aunque los valores positivos estuvieron cercanos a cero, se resalta una débil correlación entre las concentraciones de nitrógeno amoniacal y los géneros *Euglena*, *Pseudonitzschia* y *Pleurosigma*; las concentraciones de ortofosfato con los géneros *Euglena* y *Pleurosigma*, y las concentraciones de nitritos y nitratos con el género *Trachelomonas*.

Tabla 3

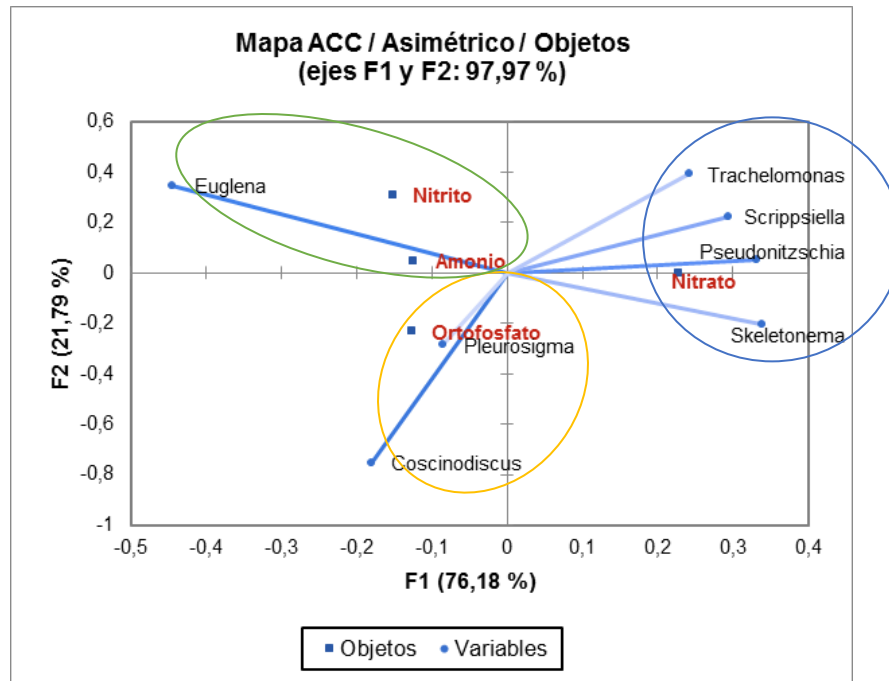
Matriz del Coeficiente de correlación de Spearman

Géneros/Nutrientes	Nitrógeno amoniacal	Ortofosfato	Nitrato	Nitrito
Coscinodiscus	-0,168	-0,065	-0,373	-0,600
Euglena	0,122	0,093	-0,415	-0,189
Pseudonitzschia	0,151	-0,021	-0,147	-0,040
Scripsiella	-0,012	-0,133	-0,134	-0,130
Skeletonema	-0,362	-0,266	-0,332	-0,277
Trachelomonas	-0,173	-0,164	0,270	0,137
Pleurosigma	0,036	0,075	-0,486	-0,316

Se realizó además un Análisis de Correspondencias Canónicas (ACC), para relacionar la abundancia de los géneros fitoplanctónicos con las concentraciones de nutrientes, resultado que se muestra en la (**Figura 7**).

Figura 7

Mapa de Análisis Correspondencia Canónica ACC.



El ACC indica que las concentraciones de nitratos determinaron la abundancia de cuatro de los siete géneros objeto de estudio, esto podría explicar los eventos de floración debido a que las concentraciones de este nutriente siempre superaron las concentraciones de referencia de acuerdo con los criterios de calidad admisible para aguas marinas y estuarinas, además es la forma biodisponible para las algas fitoplanctónicas.

5. Conclusiones

En el presente trabajo se concluye que existe una relación entre la concentración de nutrientes y la abundancia de los géneros fitoplanctónicos del caño Waffe. Los resultados mostraron que en la época húmeda hay una mayor concentración de nutrientes en comparación con la época seca, lo cual está relacionado con el aumento de descargas de aguas residuales y la escorrentía superficial de los caños aledaños. Esta disponibilidad de nutrientes favorece las floraciones algales. Las altas concentraciones de los nutrientes reflejaron un deterioro en la calidad del agua debido a los vertimientos, dado que se evidenció que todos superaron los valores

referenciados como criterio de calidad admisible para aguas marinas y estuarinas, esto indica que los géneros encontrados en el caño Waffe son altamente tolerantes a la contaminación y aprovechan estas condiciones para proliferar.

Finalmente se confirma la hipótesis ya que se observó una relación entre la abundancia de los géneros fitoplanctónicos y la concentración de nutrientes.

6. Recomendaciones

Es fundamental generar un sistema de monitoreo continuo de los niveles de nutrientes y el fitoplancton en el Caño Waffe. Esto permitirá que se pueda identificar el daño por eutrofización, lo cual afecta en gran manera al ecosistema.

Fortalecer el sistema de alcantarillado lo cual ayudará en la descarga de nutrientes que son vertidos al caño e implementar conciencia ambiental a través de charlas educativas a la comunidad aledaña y de esta forma cuidar este recurso natural.

Fomentar proyectos de restauración de hábitat, donde se brinde apoyo y atención a este ecosistema para así poder generar un lugar más habitable, no solo para las especies presentes capaz de resistir esos niveles de contaminación; y también que la comunidad se pueda beneficiar de lo que puede brindar este sistema ecológico.

7. Referencias

- Alves-da-Silva, S. M., Hermany, G. & Oliveira, M. A. (2007). Diversity and ecological considerations on pigmented Euglenophyceae in the state park of the Jacuí delta, Rio Grande do Sul, southern Brazil. *Biociências*, 15, 8-20.
- ASEAN. (2008). *Marine Water Quality: Management Guidelines and Monitoring Manual*, 1st ed.; AusAID. Australia. 432 pp.
- Baliarsingh, S.K., Lotliker, A.A., Srichandan, S., Roy, R., Sahu, B.K., Samanta, A., & Jena, A.K. (2021). Evaluation of hydro-biological parameters in response to semi-diurnal tides in a tropical estuary. *Ecohydrology & Hydrobiology*.
- Baylón, M., Roa, K., Libio, T., Tapia, L., Jara E., Macedo, D., Salvatierra, A. & Dextre, A. (2018). Evaluation of the diversity of phytoplanktonic algae as water quality indicators in high andean lakes of the department of Pasco (Peru). *Ecología Aplicada*, 17(1).
- Bianchi, T.S. (2007). *Biogeochemistry of estuaries*. Oxford University Press on Demand.
- Burgos, M.D. (2010). *Atlas de organismos planctónicos en los humedales de Andalucía*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía (Ed). 1era Ed. Editorial Sevilla, España. 251 pp.
- Cabrera, E., Hernández, L., Gómez, H., Cañizares & Macías, M.P. (2003). Determinación de nitratos y nitritos en agua: Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar. *Revista de la Sociedad Química de México*, 47(1), 88-92.
- Camargo, J.A. & Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Ecosistemas*, 16(2), 98-110.
- Carvalho, C.O., Kerr, R., Mendes, R.B., Azevedo, L.L. & Tavano, V.M. (2021). Phytoplankton strengthen CO₂ uptake in the South Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography*, 190(June 2020), 102476. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2020.102476>.
- Catalán, J.G. (1981). *Química del agua*. Fuentelabrada, Talleres Gráficos Alonso S. A. Madrid, España, 355 pp.
- Céspedes, E., Umaña, G. & Silva, A. (2016). Tolerancia de diez especies de diatomeas (Bacillariophyceae) a los factores físico-químicos del agua en el Río Sarapiquí, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* vol. 64 (1): 105-115.
- CORPOURABA (2007). *Establecimiento de los objetivos de calidad de las cuencas de los ríos Turbo, Currulao, Río Grande y otras corrientes receptoras de vertimientos del municipio de Turbo*. Subdirección Gestión y Administración Ambiental 100-09-0301-0001(pp. 99).

Chevilot, P., Giraldo, L., Molina, C. & Molina, A. (1993). Estudio geológico e hidrológico del Golfo de Urabá. *Boletín Científico CIOH* (14), 79-90. <https://doi.org/ghwcn3>

Douglas, A. R., Murgulet, D., & Montagna, P. A. (2021). Hydroclimatic variability drives submarine groundwater discharge and nutrient fluxes in an anthropogenically disturbed, semi-arid estuary. *Science of The Total Environment*, 755, 142574. <https://doi.org/gsqtsz>

Escobar, S., & Carlos, A. (2011). Relevancia de Procesos Costeros en la Hidrodinámica del Golfo de Urabá (Caribe Colombiano). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 40 (2), 327– 346.

Galvín, R.M. (1995). Análisis de aguas y ensayos de tratamiento: principios y aplicaciones. *Gestión i Promoció Editorial*.

Gárate, I., Band, C.J., Lopez, D.J. & Muneton, M.S. (2009). Floración de *Scrippsiella trochoidea* (Gonyaulacaceae) en un estanque camaronero en el suroeste del Golfo de California, México. *Boletín de Contaminación Marina*. 58 (1): 145-149.

INVEMAR. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras. (2020). Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Luisa F. Espinosa, Paola Obando y Ostin Garcés (Eds). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM: INVEMAR, MinAmbiente, CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, CRC y CORPONARIÑO. Informe técnico 2019. Serie de Publicaciones Periódicas No. 4 del INVEMAR, Santa Marta. 171 p.

Katin, A., Giudice, D., Hall, N. S., Paerl, H. W., & Obenour, D. R. (2021). Simulating algal dynamics within a Bayesian framework to evaluate controls on estuary productivity. *Ecological Modelling*, 447. <https://doi.org/gmcf3h>

Libes, S. (2009). *Introduction to marine biogeochemistry*. Academic Press.

Liu, S.M., Hong, G.H., Ye, X.W., Zhang, J. & Jiang, X.L. (2009). Nutrient budgets for large Chinese estuaries and embayment. *Biogeosciences Discussions*, 6 (1).

Logo universidad de Antioquía. <http://www.udea.edu.co>

Llorente, A. J. (2018). Calidad del agua en la desembocadura y muelle del Canal el Waffe – Turbo, durante las épocas climáticas seca y húmeda 2016-2017. Universidad de Antioquia. Corporación académica ambiental. Turbo, Colombia 68 pp.

MED. Marine Environment Division. (1999). Water Quality Management Bureau, Pollution Control Department. Marine Water Quality Criteria For The Asian Region. En: Betancourt Portela, J.M., Sánchez DíazGranados, J.G., Mejía-Ladino, L.M. y Cantera Kintz, J.R. (2011). Calidad de las aguas superficiales de Bahía Málaga, Pacífico colombiano. *Acta Biológica Colombiana* 16(2), 175-192.

- Mejía, P. L. (2004). El muelle de «El Waffe», Turbo, Antioquia, Colombia. On the waterfront, 137-385. <https://raco.cat/index.php/Waterfront/article/view/216972>
- Montoya, L. J., & Toro, M. (2006). Calibración de un modelo hidrodinámico para el estudio de los patrones de circulación en el Golfo de Urabá, Colombia. *Avance de Recursos Hidráulicos*, 13, 37 – 54. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/arh/article/view/9338>
- Montoya, L. J., Toro, F. M., & Gomez, A. (2017). Study of Atrato river plume in a tropical estuary: Effects of the wind and tidal regime on the gulf of Urabá, Colombia, *Dyna*, 84(200), 367-375. <https://doi.org/gg3wxc>
- Morales, E.A, Rivera, S.F., Vildoza, L.H., & Pol, A. (2017). Floración algal nociva (FAN) producida por cianobacterias en la laguna Alalay, Cochabamba, Bolivia. *Acta Nova*, 8(1), 50-75.
- Noriega, C.E., Muniz, K., Flores, M.J., Macêdo, S.J., Araujo, M., Feitosa, F.A. & Lacerda, S.R. (2009). Series temporales de variables hidrobiológicas en un estuario tropical (Brasil). *Revista de biología marina y oceanografía*, 44(1), 93-108.
- Olrik, K. (1998). Ecology of mixotrophic flagellates with special reference to Chrysophyceae in Danish lakes. In *Phytoplankton and Trophic Gradients* (pp. 329-338). Springer, Dordrecht.
- Ortiz L. F., & Blanco J. F. (2012). Distribución de los gasterópodos del manglar, *Neritina virgínea* (Neritidae) y *Littoraria angulifera* (Littorinidae) en la Ecorregión Darién, Caribe colombiano. *Biología Tropical*, 60, 219 – 232.
- Prat, N., Rieradevall, M. & Munné, A. (1999). La qualitat ecològica del Llobregat, el Besos i el Foix. Informe 1997. *Diputació de Barcelona*, 154 pp.
- Pemberthy, D., Padilla, Y., Echeverri, A., & Peñuela, G. A. (2020). Monitoring pharmaceuticals and personal care products in water and fish from the Gulf of Urabá, Colombia. *Heliyon* 6(6). <https://doi.org/nhqm>.
- Rentería, W. & Ortega, J. (2012). Notas acerca de la fertilización por hierro. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 17(1), 163-170.
- Rivas, D., Rouco, J., Carballeira, R., Penedo, M.G. & Novo, J. (2021). Fully automatic detection and classification of phytoplankton specimens in digital microscopy images. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 200. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2020.105923>.
- Roldán, G. & Ramírez, J.J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. 2da. Universidad de Antioquia.
- Rúa, A., Zambrano, M. M., Córdoba, N. I., Villalba, N. P., Llorente, A. J. & Garcés, H. (2019). Monitoreo fisicoquímico y ecológico de aguas costeras en la bahía de Turbo como instrumento de análisis de las cargas contaminantes del caño Waffe. Informe final. Convenio Interadministrativo 006 Universidad de Antioquia - Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP). 68 pp.

Simboura, N., Pavlidou, A., Bald, J., Tsapakis, M., Pagou, K., Zeri, C. & Panayotidis, P. (2016). Response of ecological indices to nutrient and chemical contaminant stress factors in Eastern Mediterranean coastal waters. *Ecological Indicators*, 70, 89–105. <https://doi.org/gm8zt6>

Stumm, W. & Morgan, J. J. (1996). *Aquatic chemistry: chemical Equilibria and rates in natural waters (environmental science and technology)*. Wiley.

Trejos de Suescum, R. & Okuda, T. (1983). Distribución del Nitrito en las aguas costeras ecuatorianas. *Acta Oceanográfica del Pacífico*. 2 (1), 13-23.

Vallejo, P. P., Vásquez, L. F., Correa, I. D., Bernal, G. R., Alcántara, J. & Palacio, J. A. (2016). Impact of terrestrial mining and intensive agriculture in pollution of estuarine surface sediments: Spatial distribution of trace metals in the Gulf of Urabá, Colombia. *Marine Pollution Bulletin*, 111(1–2), 311–320. <https://doi.org/f8635v>.

Vidal, L. (2010). *Manual de fitoplancton hallado en la Ciénaga grande de Santa Marta y cuerpos de agua aledaños*. Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Zambrano, M. M., Villalba, N. P. & David, J.W. (2022). Monitoreo de la calidad fisicoquímica y ecológica de las aguas costeras en la bahía de Turbo- sector de influencia del caño el Waffe III. IIAP-GISMAC.