



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Corporación Académica Ambiental

CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES Y CLOROFILA DURANTE LAS ÉPOCAS CLIMÁTICAS HÚMEDA 2018 Y SECA 2019, Y SU RELACIÓN CON PROCESOS EUTRÓFICOS EN EL CAÑO DE UVEROS, SAN JUAN DE URABÁ. COLOMBIA.

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE
ECÓLOGA DE ZONAS COSTERAS

María Elena Álvarez Hernández

Estudiante

Mónica María Zambrano Ortiz Ph.D.

Asesor

Co-Asesor

Elkin Darío Castellón Castrillón, Ph.D.

Universidad de Antioquia
Corporación Académica ambiental
Ecología de Zonas Costeras
Turbo, Antioquia

2022



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Corporación Académica Ambiental

Dedicatoria

A quienes han estado siempre ahí, acompañándome y apoyándome. A quienes han sido incondicionales.

Sin ustedes este proceso no hubiese sido posible.

Dedico este trabajo a mis padres:

Alexi Álvarez Mora y Celia Rosa Hernández



Agradecimientos

Primeramente, le agradezco a Dios por la vida y la oportunidad de vivir esta gran experiencia, agradezco a mis padres Alexi Álvarez y Celia Hernández por el apoyo incondicional, a mis hermanos Luis Darío, Juan Carlos y Néstor David Álvarez por creer en mí, y a toda mi familia y amigos por la motivación que me brindaron.

Agradezco a la universidad de Antioquia, al proyecto “*Investigación para la Reversión del Proceso de Erosión en las Costas del mar de Antioquia*” y a cada uno de los profesores por acompañarme en mi proceso académico, a mis compañeros por ser parte del todo el proceso de aprendizaje que iniciamos juntos.

A mis asesores por el acompañamiento y enseñanzas en todo este proceso.

A Nelsy Villalba, Noris Córdoba, Jorge Luis Atencio y Stefania Diaz por todo su apoyo y ánimo en todo este proceso. A Yerys Calderón por acompañarme al inicio de este proceso.



Tabla de Contenido.

Resumen

1. Introducción	1
2. Marco teórico	3
2.1. Pregunta de investigación	6
2.3 Hipótesis	6
2.4 Objetivos	6
3. Área de estudio y métodos	7
3.1 Descripción del área de estudio	7
3.2 Metodología	9
3.3 Estado trófico	13
3.4 Análisis estadístico	15
4. Resultados	15
4.1 Parámetros fisicoquímicos	15
4.2 Clorofila a	20
4.3 Correlaciones	21
4.4 Nutrientes	22
4.3 Estado trófico	24
5. Discusión	26
6. Conclusiones	35
7. Recomendaciones	36
8. Referencias	36

Índice de tablas.

Tabla 1. Métodos analíticos para el análisis de nutrientes.	11
Tabla 2. Nivel trófico y calidad del agua asociado al índice de TRIX.	14
Tabla 3. Resumen de estadística descriptiva para los parámetros fisicoquímicos en los sitios de muestreo.	16
Tabla 4. Correlación de Spearman para la variable Clorofila a con parámetros fisicoquímicos en el Caño Uveros y la Zona marina.	22
Tabla 5. Concentración de nutrientes en el caño Uveros y la Zona marina. Septiembre 2018 (temporada húmeda), diciembre 2018 y marzo 2019 (temporada seca).	23
Tabla 6. Estado trófico del Caño Uveros y la Zona marina	24

Índice de figuras.

Figura 1. Zona de muestreo. Caño Uveros y Zona marina, Corregimiento de Uveros – San Juan de Urabá.	8
Figura 2. Toma de muestras para determinación de Clorofila a, nutrientes y registro de parámetros fisicoquímicos en los sitios de muestreo. A) y B). Caño de Uveros C) Zona marina.	10
Figura 3. Filtrado y extracción de pigmentos para el análisis de Clorofila a.	12
Figura 4. Comportamiento de la temperatura registrada en los puntos muestreados.	17
Figura 5. Comportamiento de la salinidad en cada uno de los puntos de muestreos	18
Figura 6. Comportamiento del pH, en cada uno de los puntos muestreados.	19
Figura 7. Comportamiento del OD en cada uno de los puntos muestreados.	20
Figura 8. Comportamiento de la Clorofila a, en los sitios de muestreo.	21
Figura 6. Concentración de nutrientes en el Caño y la Zona Marina en Uveros – San Juan de Urabá: a) N- amoniacal, b) Nitritos, c) Nitratos y d) Ortofosfatos.	25



Resumen

Se determinó la concentración de nutrientes y Clorofila a en un punto ubicado en el tramo final del Caño Uveros, municipio de San Juan de Urabá, y la en la Zona marina frente al mismo, en un punto ubicado perpendicularmente con respecto a la zona litoral. El periodo de estudio abarcó las épocas climáticas seca y húmeda; se evaluó la relación de los parámetros monitoreados con procesos eutróficos que se presentan durante la época climática seca y se tomaron muestras de agua en el Caño y en la Zona marina con periodicidad mensual entre septiembre 2018 y marzo de 2019 determinando la concentración de Clorofila a, se registraron los parámetros fisicoquímicos (temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto); trimestralmente se determinó la concentración de nutrientes. Se comparó el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y Clorofila a entre sitios de muestreo y épocas climáticas. Los parámetros fisicoquímicos presentaron mayor variación en el Caño, y una tendencia similar en ambos puntos de muestreo excepto la salinidad durante el primer trimestre de 2019. Solo la salinidad presentó diferencias entre sitios ($p = 0,038$). Los parámetros fisicoquímicos no presentaron diferencias entre las épocas climáticas analizadas en los sitios de muestreo. La clorofila a en el Caño varió entre 42 mg.L^{-1} y 830 mg.L^{-1} para noviembre y febrero respectivamente, en la Zona marina entre 36 mg.L^{-1} y 41 mg.L^{-1} para octubre y enero, presentando diferencias entre sitios de muestreo ($p = 0,001$). El N- amoniacal alcanzó la mayor concentración entre los nutrientes con $37,8 \text{ mg.L}^{-1}$ para la Zona marina y una tendencia a disminuir hacia la época seca, seguido del nitrato N-NO₃⁻ con $1,11 \text{ mg.L}^{-1}$ durante el mes de marzo en el Caño, periodo correspondiente a la época seca. De acuerdo con el índice trófico TRIX el Caño presentó condiciones hipertróficas, y la Zona marina condiciones eutróficas.

Palabras clave: Nutrientes, Clorofila, Eutrofización, Calidad del agua, Índice de TRIX.



1. Introducción

La calidad del agua hace referencia a la descripción de las variaciones temporales y espaciales debidas a factores internos y externos al cuerpo de agua (Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine pollution - GESAMP, 1988), esta se ve afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas (Montoya, 2008). A nivel mundial, el desafío más frecuente al que se enfrenta la calidad del agua es la carga de nutrientes, que según la región se asocia a menudo con la carga de patógenos (WWDR, 2018).

En condiciones normales, los ambientes acuáticos presentan diversos procesos naturales, uno de ellos es la eutrofización, el cual se origina por el incremento en el aporte de nutrientes (Vollenweider, 1992; Richadson, 1997; Ratore et al., 2016); las señales asociadas a este proceso varían en los diferentes cuerpos de agua, pero es el crecimiento excesivo de malezas acuáticas y fitoplancton (aguas turbias), floraciones de algas dañinas (tóxicas) y efectos en las poblaciones de peces que causan mayor preocupación pública (Withers et al., 2014).

Los procesos de eutrofización generan retroceso en los sistemas en términos de la sucesión, a un estado inicial de florecimiento súbito de algas y macrófitas, produciendo deterioro en la calidad del agua (Odum, 1987), esta condición se ve afectada por los cambios climáticos ocasionando incremento en los flujos de nutrientes, las relaciones de nutrientes, la producción fitoplanctónica, el desarrollo de algas tóxicas y nocivas, la reducción de la calidad del agua, pérdida de los hábitat y recursos naturales, y el recrudescimiento de la hipoxia (Justic, et al., 2005). Los incrementos en la concentración de nutrientes en cuerpos de agua con escaso recambio pueden conducir a concentraciones de clorofila *a* más elevadas que las normalmente observadas, indicando esto una alta biomasa de fitoplancton, situación que se acentúa ante condiciones climáticas en que se incrementa la temperatura.



Bajo condiciones naturales se destacan entre los nutrientes que se encuentran en los cuerpos de agua los compuestos nitrogenados: nitrógeno amoniacal (NH_3), nitritos (NO_2) nitratos (NO_3) y el fósforo en la forma ortofosfatos (PO_4) los cuales ayudan al crecimiento de la comunidad fitoplanctónica. El aporte descontrolado de nutrientes en estos ambientes es el resultado del uso indiscriminado de agroquímicos y el mal manejo que se le da a las aguas residuales (Corona, 2013) generando un exceso en los ecosistemas acuáticos y un deterioro variable de acuerdo con las características del cuerpo de agua receptor; pese a que los incrementos de nutrientes pueden producirse de manera natural, la problemática derivada de dicho incremento suele estar influenciada por la acción antrópica.

En los océanos, el suministro de nutrientes se genera desde las profundidades; en aguas más someras (continentales y costeras) son consecuencia de las actividades humanas (Ruiz-Vanoye y Díaz-Parra., 2015), dando a los cuerpos de agua una apariencia turbia, mal olor y fondos oscuros, asociados a la descomposición de materia orgánica; los nutrientes que ocasionan los procesos eutróficos son principalmente drenados desde tierras altas (Chapa-Balcorta, 2010).

Teniendo en cuenta la importancia del recurso hídrico, evaluar su calidad es una actividad prioritaria la cual puede realizarse de acuerdo con (Ruiz, et al 2007) con base en la estimación de índices que utilizan varios parámetros fisicoquímicos que permiten reducir la información a una expresión más sencilla como índices de calidad del agua; es así como para la estimación del estado trófico o la calidad del agua de un ecosistema se han utilizado como indicadores parámetros como la concentración de oxígeno disuelto (OD) (Justić, 1991; Viaroli & Christian, 2003), el nitrógeno total (NT), el fósforo total (PT) (Karydis et al., 1996; Ignatiades et al., 1992) la clorofila *a* (Carlson, 1977; Contreras-Espinoza et al., 1996) y la productividad primaria (Nixon, 1995).

La calidad del agua se mide de acuerdo con distintos parámetros mediante los cuales se cuantifica el grado de alteración de las cualidades naturales y se la clasifica para un uso determinado (Castro et al., 2014), resultando la estimación del

estado trófico importante al momento de valorar los cuerpos de agua en función de su productividad biológica. En cuanto a los índices de calidad, estos son de uso común y entre los parámetros requeridos para su estimación se incluyen al menos tres de las siguientes variables: OD, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), nitrógeno en forma amoniacal y de nitratos, fósforo en forma de ortofosfato, pH y sólidos suspendidos (SS), para generar un valor adimensional de fácil interpretación (Casanova, et al., 2015).

2. Marco teórico

La zona costera es un complejo conjunto de interacciones y procesos fisicoquímicos, biológicos, atmosféricos y antrópicos que ponen de manifiesto la intrincada relación que existe entre el medio marino y terrestre, las cuales entran en contacto a través de lo que se conoce como litoral (Ortiz et al., 2010). Las actividades antrópicas generan diversos grados de alteración en las distintas matrices ambientales, siendo para los cuerpos de agua superficiales un factor de alto riesgo para la salud y para el medio ambiente el que se presente la práctica generalizada de emplearlos como receptores de aguas residuales, ya que sobre los mismos se genera deterioro en su calidad, limitando así su uso potencial, alterando a la vez las condiciones ambientales naturales, factor importante para el desarrollo de la vida acuática (Hooker, 1999).

Según el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas - (WWAP 2017), en los países pobres, sólo el 8% de las aguas residuales urbanas e industriales recibe algún tipo de tratamiento. Estas estimaciones apoyan la aproximación frecuentemente citada según la cual, a nivel mundial, más del 80% del total de las aguas residuales se vierten sin tratar.

Los diversos usos del recurso hídrico inciden en su calidad, por lo que en los cuerpos de agua afectados por procesos eutróficos el enriquecimiento de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, condiciona su utilización y ejerce grandes

impactos ecológicos, sanitarios y económicos a escala regional (Ledesma et al., 2013); provocando cambios en la composición de la población de organismos acuáticos y en su productividad primaria (Martini et al., 2006), repercutiendo en beneficio de los procesos fotosintéticos (Espinoza et al., 2001).

Los efectos sobre el recurso hídrico en términos de deterioro relacionados por actividades como la producción agrícola se asocian con contaminación originada en gran medida por el uso de fertilizantes y plaguicidas. Adicionalmente, de acuerdo con el WWAP (2017), la agricultura también puede ser fuente de varios otros tipos de contaminantes, incluyendo materia orgánica, patógenos, metales y contaminantes emergentes. En los últimos 20 años han aparecido nuevos contaminantes agrícolas, como antibióticos, vacunas, activadores del crecimiento y hormonas, que pueden liberar las granjas de ganado y acuicultura.

En la Región de Urabá existe predominancia hacia el desarrollo agrícola, teniendo como principal producto el cultivo de banano y plátano, y otros como el cultivo de arroz, yuca, ñame (García-Valencia, 2007). Estas actividades son las principales fuentes de contaminación que llega a los ríos y al mar por escorrentía, que arrastra los residuos de los productos utilizados en la producción agrícola, afectando la calidad de las aguas (Espinoza y Betancourt, 2011; Blanco-Libreros et al., 2013).

De acuerdo con el (Martínez-Campo y Garcés-Ordóñez, 2019), la calidad de las aguas en las costas de Antioquia presentaba para el periodo 2013 - 2015 valores que indicaron una condición entre pésima y aceptable de acuerdo con su destinación como recurso para la preservación de la flora y fauna marina o estuarina, de acuerdo con el Índice de Calidad Ambiental de aguas marinas con fines de preservación de flora y fauna (ICAM_{PFF}) (Aguas-Vivas. L.J 2011) esto a partir de la determinación de altos contenidos de materia orgánica, sólidos suspendidos y nutrientes generados por los vertimientos de aguas residuales.

El deterioro en la calidad del agua marina en el departamento de Antioquia se hace evidente particularmente en el sector del caño El Waffe, es así como (Hinestroza, et al., 2013) determinaron la presencia de aguas residuales domésticas e

industriales, y, por tanto, concentraciones elevadas de nutrientes, indicando que el cuerpo de agua estaba eutrofizado, por ende, las condiciones en este lugar no resultan benéficas para el desarrollo de las comunidades biológicas al interior del ecosistema.

De otra parte, en el corregimiento de Uveros, San Juan de Urabá, se han registrado procesos eutróficos causantes de desequilibrios en el cuerpo de agua del caño que recorre el corregimiento, que derivan en situaciones de florecimientos algales que de manera recurrente se presenta durante la última década, este evento fue reportado por Martínez, et al., (2017). La situación que se presenta en el cuerpo de agua se ha registrado durante el primer cuatrimestre de cada año desde 2016, específicamente durante el periodo correspondiente a la época climática seca, un cambio en el color aparente del agua en el tramo final del caño que cruza este corregimiento, la cual se torna de tonalidad rosa; fenómeno que podría asociarse a procesos eutróficos.

La presente investigación abordó un punto de influencia antrópica en el caño que desemboca en la zona litoral del municipio de San Juan de Urabá, que evidencia aportes de aguas negras y residuales de la población a los cuerpos de agua canalizados hacia el caño de Uveros. El periodo de investigación abarcó el periodo comprendido entre septiembre de 2018 a marzo de 2019, y se ejecutó en el marco del proyecto de *“Investigación para la reversión del proceso de erosión en las costas del mar de Antioquia”*.

El presente estudio contribuye al conocimiento de las condiciones de calidad del cuerpo de agua del Caño de Uveros que descarga sus aguas al mar Caribe en la zona norte del departamento de Antioquia, la información generada será útil como herramienta de base para futuras investigaciones encaminadas a abordar la problemática generada por el vertimiento de aguas residuales sin tratamiento previo a este cuerpo de agua, y que de otra parte evalúen los organismos asociados al florecimiento o “Bloom” que se registra periódicamente en este cuerpo de agua, dado que estos eventos podrían llegar a ser perjudiciales de acuerdo con la



destinación del recurso hídrico en términos de uso, en especial por contacto primario, ya que podría implicar repercusiones en la salud de las personas que interactúan con él.

2.1. Pregunta de investigación

¿Cómo es el comportamiento de los nutrientes y la Clorofila a entre el Caño de Uveros y la Zona marina de acuerdo con la época climática, y durante los procesos eutróficos que se presentan en el Caño en época seca?

2.3 Hipótesis

Los cambios que presenta el caño de Uveros de acuerdo con la época climática, se relacionan con procesos de deterioro en la calidad del agua debidos a los aportes de aguas residuales sin tratamiento previo y en general, a las actividades antrópicas que inciden sobre el mismo.

Teniendo en cuenta lo anterior, se plantea la siguiente hipótesis:

El comportamiento en la concentración de nutrientes y Clorofila a difiere entre épocas climáticas en el caño de Uveros, generando procesos eutróficos durante la temporada seca, por represamiento y menor dilución de las aguas residuales aportadas.

2.4 Objetivos

2.3.1 Objetivo general

Evaluar la concentración de nutrientes y Clorofila a , asociados a la calidad del agua entre la época húmeda y seca, y su relación con los procesos eutróficos en el caño de Uveros.

2.2.1 Objetivos específicos

- Estimar la concentración de nutrientes (nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y fosfatos) y Clorofila *a* en la zona de desembocadura del caño Uveros y en la zona marina a la que este aporta sus aguas entre la época climática húmeda y seca.
- Analizar las diferencias en la concentración de nutrientes entre el caño y la zona marina.
- Evaluar los cambios registrados entre la época climática húmeda y seca en la concentración de nutrientes y clorofila *a*.
- Estimar el estado trófico del cuerpo de agua en la zona de desembocadura del caño y en la zona marina, de acuerdo con los estados de clasificación del índice de TRIX.

3. Área de estudio y métodos

3.1 Descripción del área de estudio

El departamento de Antioquia cuenta con nueve subregiones; una de ellas es la subregión de Urabá, localizada en la parte noroccidental, la cual limita al norte y noroeste con el mar Caribe, en el que se encuentra el Golfo de Urabá, al oriente con el departamento de Córdoba y al suroeste con la subregión del departamento de Antioquia denominada “Occidente”, hacia el sur y occidente limita con el departamento del Chocó (Pérez et al., 2014). Administrativamente, la región consta de once municipios clasificados en tres zonas: zona norte, zona centro y Atrato medio (Pérez et al., 2014).

En la zona norte se encuentra el municipio de San Juan de Urabá, localizado en la franja costera, en la parte baja del río San Juan, con coordenadas de 8°45’40” N 76°31’43” W, y una extensión costera de 21 km; limita al oriente y sur con el municipio de Arboletes, al occidente con Necoclí y al norte con el mar Caribe

(Orozco et al., 2017). El municipio está clasificado según el sistema de zonas de vida Holdridge como bosque seco tropical (bs-T) con temperaturas mayores a 24°C (González, 2017). De acuerdo con la Universidad de Antioquia y la Gobernación de Antioquia (2012) San Juan de Urabá presenta un régimen pluviográfico monomodal con una época seca entre diciembre y marzo y una época lluviosa que se extiende desde abril a noviembre con precipitaciones que oscilan entre los 1000 y 2000 mm año⁻¹.

El corregimiento de Uveros, de acuerdo con lo descrito en el Plan de desarrollo municipal de San Juan de Urabá (2016 – 2019), se encuentra ubicado al occidente del municipio (**figura 1**) a una distancia de 7 Km de la cabecera municipal, en las coordenadas 8°45'40" N 76° 31'43" W (Orozco et al. 2017).



Figura 1. Zona de muestreo. Caño Uveros y Zona marina, Corregimiento de Uveros – San Juan de Urabá.



En cuanto a la cobertura vegetal que presenta la zona, esta se encuentra dominada por dos especies de bejuco de playa del género *Ipomoea*, y por dos especies de mangle que se encuentran a lo largo del caño Uveros, estas especies son el mangle rojo (*Rhizophora sp*) y el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*).

El corregimiento es atravesado por un caño que desemboca en el mar Caribe; en el área de desembocadura se registra mezcla del agua dulce con agua de mar y, por tanto, presenta condiciones estuarinas, las cuales se mantienen durante la mayor parte del año. Sin embargo, en los periodos de época climática seca (mediados de diciembre a mediados de abril), la conexión del caño con el mar se pierde y esto genera un represamiento que altera la calidad del cuerpo de agua.

3.2 Metodología

3.2.1 Fase de campo

Se establecieron dos puntos de muestreo, el primero de ellos en el caño, cerca de la zona de desembocadura y el segundo, a unos metros frente al mismo, en la zona marina (Figura 2). Ambos puntos fueron monitoreados a nivel de parámetros fisicoquímicos durante siete meses (septiembre de 2018 a marzo de 2019), así mismo se tomaron muestras de agua para el análisis de Clorofila *a* (Cla *a*) con periodicidad mensual, y nutrientes (Nitratos, Nitritos, Nitrógeno amoniacal y Ortofosfatos) con periodicidad trimestral.

Las muestras de agua destinadas al análisis de Clorofila *a* y nutrientes fueron recolectadas en recipientes plásticos de 4L de capacidad, rotuladas debidamente y almacenadas para el traslado hacia los laboratorios de la Universidad de Antioquia para el posterior análisis. La determinación de las variables fisicoquímicas (Temperatura, Salinidad, Oxígeno disuelto y pH) se realizó *in situ* mediante el uso de un equipo multiparamétrico HANNA H198194.

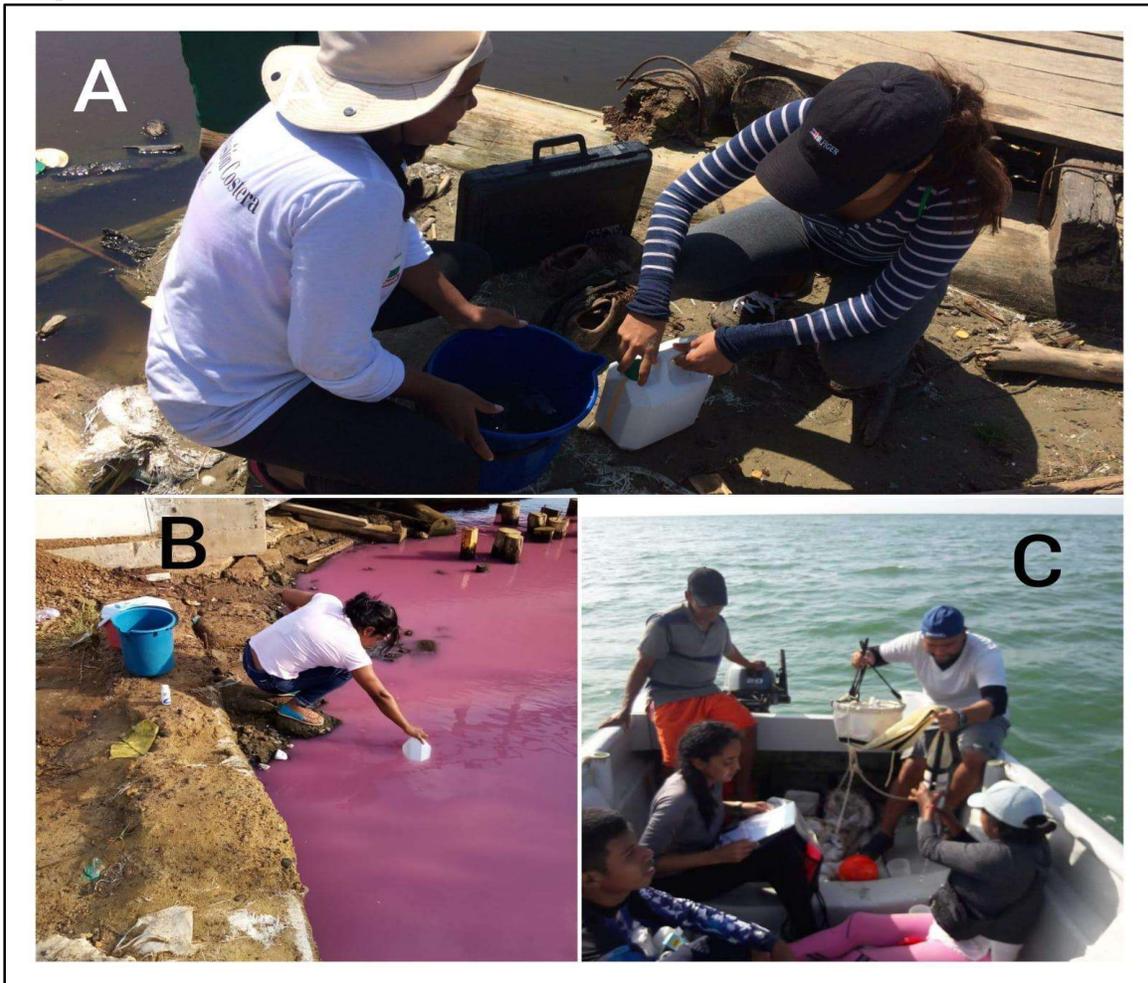


Figura 2. Toma de muestras para determinación de Clorofila a , nutrientes y registro de parámetros fisicoquímicos en los sitios de muestreo. A) y B). Caño de Uveros C) Zona marina.

3.2.2 Fase de laboratorio

Los análisis para la determinación de nutrientes se adelantaron empleando métodos analíticos establecidos en el laboratorio de CORPOURABA, siguiendo los protocolos descritos en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017); los métodos empleados de acuerdo con cada parámetro se relacionan en la **tabla 1**.

Tabla 1. Métodos analíticos para el análisis de nutrientes.

Nitrógeno Amoniacal (NH₃).	Ion selectivo, ISENH4181 HACH Referencia Método Analítico: Standard Methods Edition 23, 2017.
Nitritos (NO₂)	Colorimétrico, SM 4500-NO ₂ - B ed. 23-2017
Nitratos (NO₃)	Reducción de cadmio, SM 4500-NO ₃ -E ed. 23-2017
Ortofosfato (PO₄)	Método del Ácido ascórbico, 4500-P E ed. 23-2017

Fuente: Propia

Para el análisis de clorofila *a* se utilizó una adaptación del método propuesto por Strickland y Parsons (1972), obtenido a partir de modificaciones al método inicial formulado por Richards y Thompson (1952); la concentración se estimó mediante espectrofotometría, para ello, un litro de agua fue filtrado empleando un filtro sintético. Como parte del procedimiento los pigmentos fueron extraídos mediante el uso de acetona al 90% para destruir las células mecánicamente y alcanzar una completa extracción.

3.2.3. Fijación y almacenamiento

Se filtró la muestra (1L) con la ayuda de una bomba de vacío y se adicionaron unas pocas gotas de suspensión de carbonato de magnesio para evitar la acidificación del filtro (figura 3 a, b), posteriormente se almacenó en el refrigerador a -20°C, se colocó en un vial, se cubrió con 2-3 ml de solución acuosa de acetona al 90% y se maceró con el homogenizador, seguidamente se enjuagó el homogenizador y se ajustó el volumen total a un nivel constante, 5-10 ml. Tras realizar este procedimiento la muestra se mantuvo toda la noche en la oscuridad.

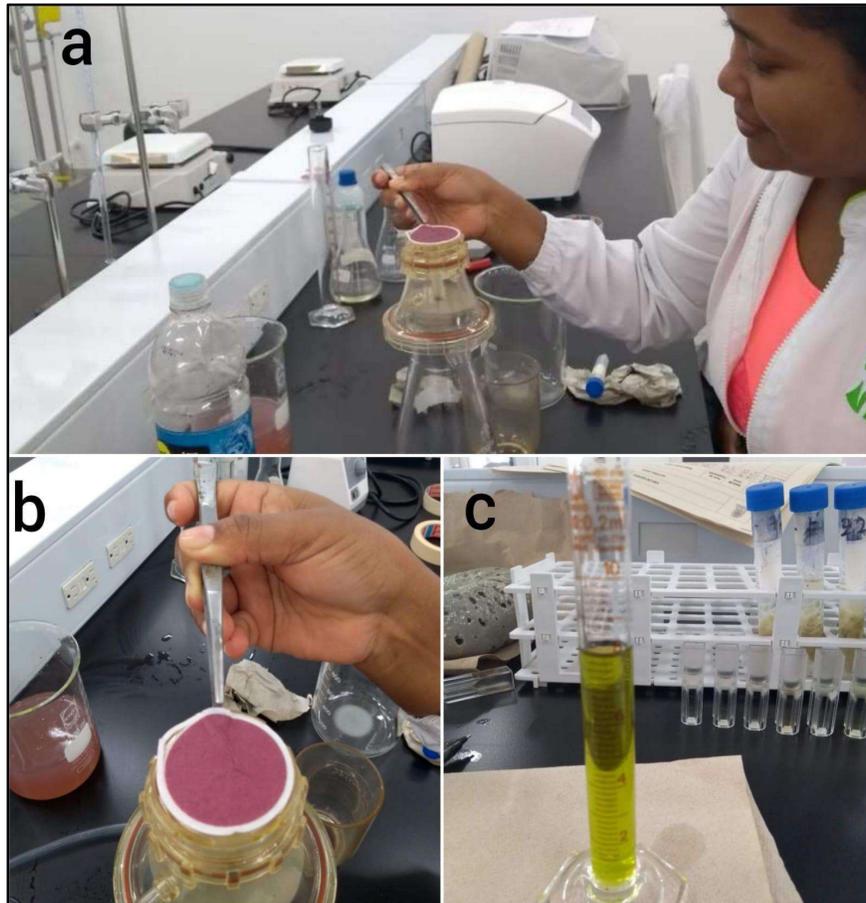


Figura 3. Filtrado y extracción de pigmentos para el análisis de Clorofila α .

Se clarificó el extracto centrifugando los tubos tapados por 10 minutos a 1000 rpm; se decantó el extracto clarificado a un tubo de centrifuga limpio de 15 ml y se midió el volumen total del extracto (**figura 3c**). El extracto se transfirió desde un tubo de ensayo a una celda de 1cm^3 , para medir la densidad óptica (DO) a 750, 663, 645, y 630 nm. Se seleccionó una dilución que arrojará a 663 nm una DO mayor que 0,2 y menor que 1,0., se sustrajo esa lectura de cada uno de los valores de densidad óptica de las otras longitudes de onda antes de usarlos en las ecuaciones de cálculo.

3.2.5.3. Cálculos

Para realizar el cálculo de la cantidad de Clorofila α en cada extracto utilizando los valores de DO corregidos se empleó la siguiente ecuación:



$$\text{Clorofila } \alpha = \text{cla} = 11.64(\text{DO}_{663\text{nm}}) - 2.16(\text{DO}_{645\text{nm}}) + 0.10(\text{DO}_{630\text{ nm}})$$

Donde:

cla = Clorofila α

DO = Densidad óptica

La concentración de clorofila a se determinó por medio de la siguiente fórmula:

$$[\text{Cla}], \text{mg/L} = \frac{\text{Cla} \times \text{Volumen del extracto (mL)}}{\text{Volumen de muestra (L)}}$$

3.3 Estado trófico

Para establecer el grado de eutrofia en que se encuentra el sistema acuático se empleó el índice de estado trófico TRIX, propuesto por Vollenweider et al (1998), este índice multivariado combina cuatro variables que representan un estado trófico:

- Concentración de Clorofila
- Oxígeno disuelto
- Nitrógeno inorgánico
- Fósforo

y se determina a partir de la ecuación:

$$\text{TRIX} = \frac{\text{Log } 10 (\text{Cla} \times \% \text{O}_d \times \text{NID} \times \text{PRS}) + \text{K}}{\text{M}}$$

Donde se tiene como factores de productividad:

Cla: Concentración de Clorofila a

$|\%O_d|$: Valor absoluto de la desviación del porcentaje de oxígeno disuelto, es decir [100-% O_d]

Factores nutricionales:

NID: nitrógeno inorgánico disuelto como N como: [N-NO₃+N-NO₂+N-NH₄], en (μ g N/L)

PRS: fósforo total (μ g P/L)

Constantes:

K: 1.5

m: 12/10=1.2

Las constantes son valores introducidos para ajustar el valor límite más bajo del índice y la extensión de la escala trófica de 0 a 10 unidades (Tabla 2), a partir de este índice que cubre cuatro estados tróficos y de calidad del agua (alta, buena, pobre y mala) se determinó a cuál de ellos corresponden los puntos evaluados.

Tabla 2. Nivel trófico y calidad del agua asociado al índice de TRIX.

Escala TRIX	Nivel de estado trófico	Estado de la calidad del agua	Características del agua
0 - <4	Oligotrófico	Alta	Poco productiva, nivel trófico bajo.
4 - <5	Mesotrófico	Buena	Moderadamente productiva, nivel trófico medio.
5 - <6	Eutrófico	Mala	Entre moderado y altamente productivo. Nivel trófico alto.
6-10	Hipertrófico	Pobre	Altamente productiva, nivel trófico más alto.

Fuente: Vollenweider et al (1998).

3.4 Análisis estadístico

A partir de los datos obtenidos y con el fin de establecer si existían diferencias significativas entre las concentraciones de nutrientes, Clorofila *a* y las variables fisicoquímicas entre los sitios de muestreo y entre épocas climáticas (seca y húmeda), se realizó un análisis estadístico para determinar si los mismos cumplían los supuestos de normalidad para adelantar pruebas paramétricas de comparación entre dos grupos (puntos de muestreo, épocas climáticas); al no presentar normalidad en los datos se descartó la prueba t-Student y se empleó la prueba no paramétrica U-Mann Withney. El análisis incluyó un nivel de significación (p) y las diferencias se consideraron significativas cuando $p \leq 0,05$; este análisis se adelantó empleando el software IBM SPSS Statistics.

De otra parte, para establecer la relación entre los parámetros fisicoquímicos y la Clorofila *a*, y teniendo en cuenta que no se cumplieron los supuestos de normalidad en la distribución de estos, se realizó el cálculo del coeficiente de correlación de Spearman, el cual adopta valores reales entre +1 y -1, según sea la relación, positiva (relación directa), negativa (relación inversa) o cero (relación nula), como lo describen Martínez y Campos (2015).

4. Resultados

4.1 Parámetros fisicoquímicos

La calidad de diferentes tipos de agua se ha valorado a partir de variables físicas, químicas y biológicas, evaluadas individualmente o en forma grupal (Samboni et al., 2007), por ello la medición de parámetros fisicoquímicos permitió analizar su comportamiento en los sitios muestreados a lo largo del periodo de estudio.

En la **tabla 3** se presentan los datos de estadística descriptiva relacionados con los valores máximos, mínimos y media de los parámetros fisicoquímicos registrados en ambos sitios de muestreo, evidenciando que estos en general, presentaron mayor

variación en el Caño (temperatura, el pH y el O.D) con excepción de la salinidad, parámetro que registró una variación similar en ambos puntos de muestreo.

Tabla 3. Resumen de estadística descriptiva para los parámetros fisicoquímicos en los sitios de muestreo.

	Temperatura °C		Salinidad (PSU)		pH		OD (mg/L)	
	Caño Uveros	Zona marina	Caño Uveros	Zona marina	Caño Uveros	Zona marina	Caño Uveros	Zona marina
Máximo	30,9	30,6	26,9	33,4	9,2	9,3	7,05	5,8
Mínimo	27,2	28,4	15,9	24,4	7,6	8,0	0,67	3,3
Media	28,8	29,5	21,0	27,9	8,2	8,6	3,38	4,5

Fuente: propia

4.1.1 Temperatura

El comportamiento de la temperatura en los sitios de muestreo (**figura 4**) presentó valores que variaron entre 27.2°C y 30.9°C en los meses de febrero y diciembre respectivamente en el Caño y, entre 28.4°C para febrero y 30.6°C en septiembre en la Zona marina. El mes de enero registró un descenso que se acentuó en el mes de febrero, con un consecuente incremento en el mes de marzo.

Este parámetro no presentó diferencias significativas entre los sitios con un valor de significancia de 0,535 ($p \geq 0,05$), tampoco se presentaron diferencias entre las épocas climáticas, pues se determinó un valor de significancia de 0,229 en la zona marina y uno equivalente a 0,400 para el Caño.

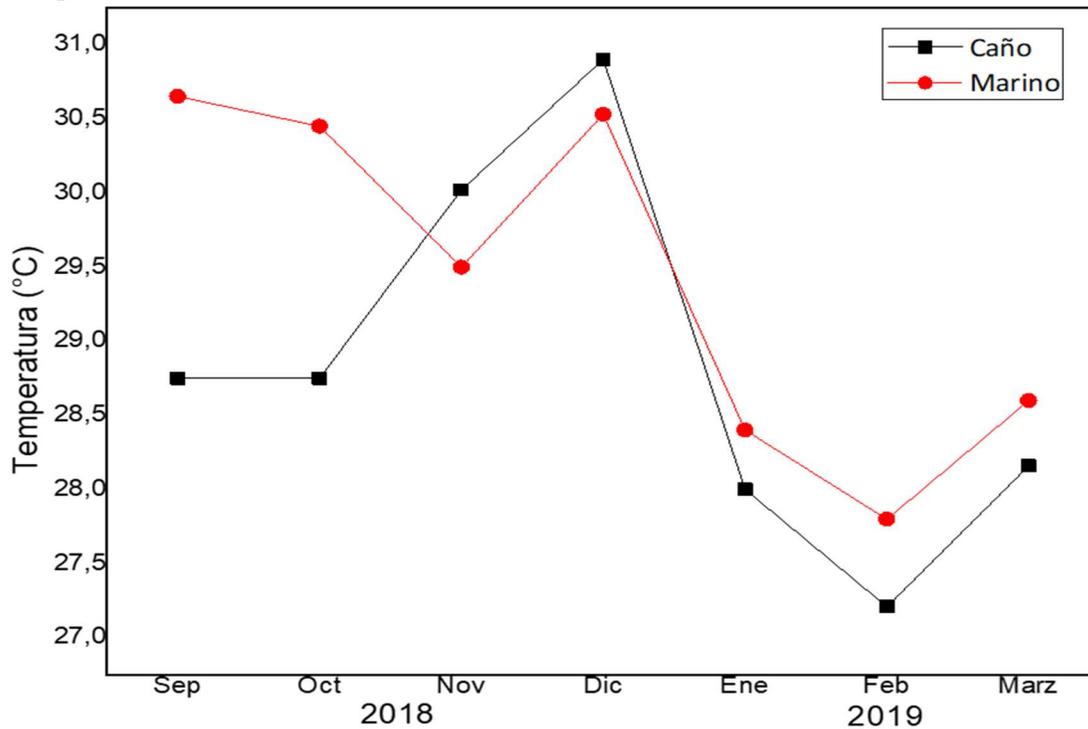


Figura 4. Comportamiento de la temperatura registrada en los puntos muestreados.

4.1.2 Salinidad (PSU)

El comportamiento presentado por la salinidad en el Caño y la Zona marina se puede observar en la **(Figura 5)**, los registros obtenidos variaron entre 15,9 (febrero) y 26,9 (diciembre) en el Caño, mientras que para la Zona marina los valores registrados variaron entre 24,4 (septiembre) y 33,4 psu (noviembre).

Los valores mínimos en el caño se presentaron durante la época seca; a nivel estadístico la salinidad presentó diferencias significativas entre los sitios de muestreo ($p \leq 0,05$) con un valor de significancia de 0,038. Entre las épocas climáticas evaluadas no se presentaron diferencias significativas ni en el Caño ($p=0,229$) ni en la zona marina ($p=1,000$).

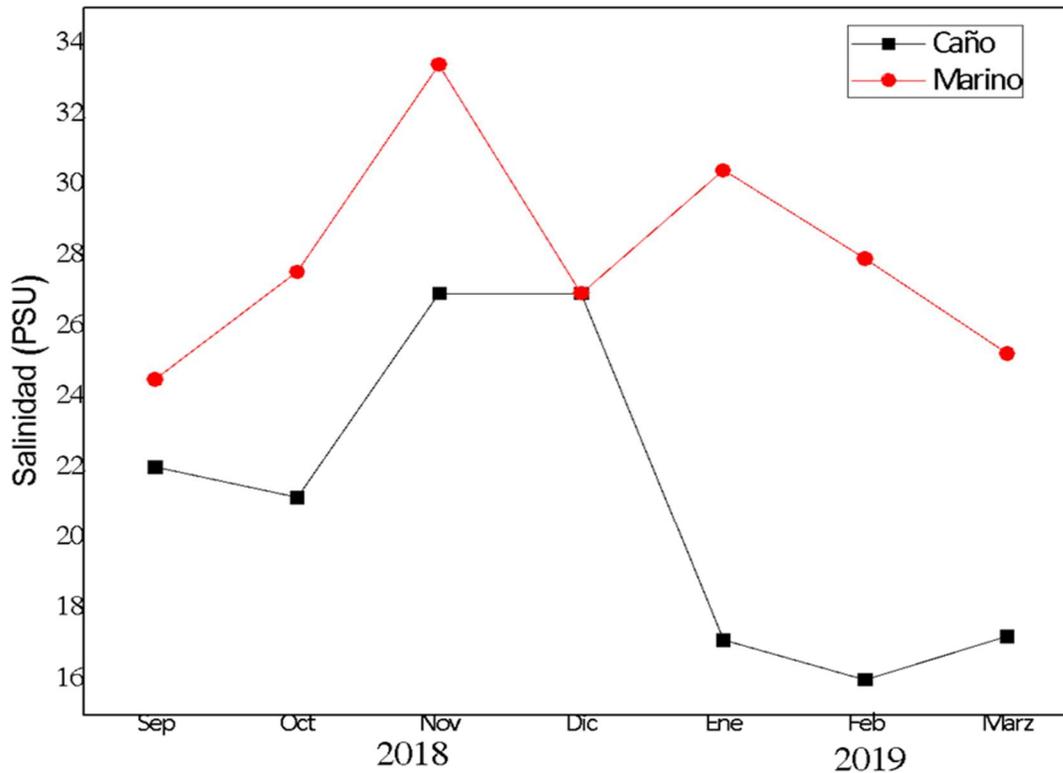


Figura 5. comportamiento de la salinidad en cada uno de los puntos de muestreos

4.1.3 Potencial de Hidrógeno (pH)

El pH presentó valores que variaron entre 7,6 en septiembre y 9,2 para el mes de octubre en el Caño, mientras que para la Zona marina la variación registrada estuvo entre los 8,1 en febrero y 9,3 en octubre (**Figura 6**). No se registraron diferencias significativas entre los sitios de muestreo ($p = 0,165$), y tampoco se registraron diferencias al comparar las épocas climáticas en el Caño ($p = 1,000$) y en la Zona marina ($p = 0,114$).

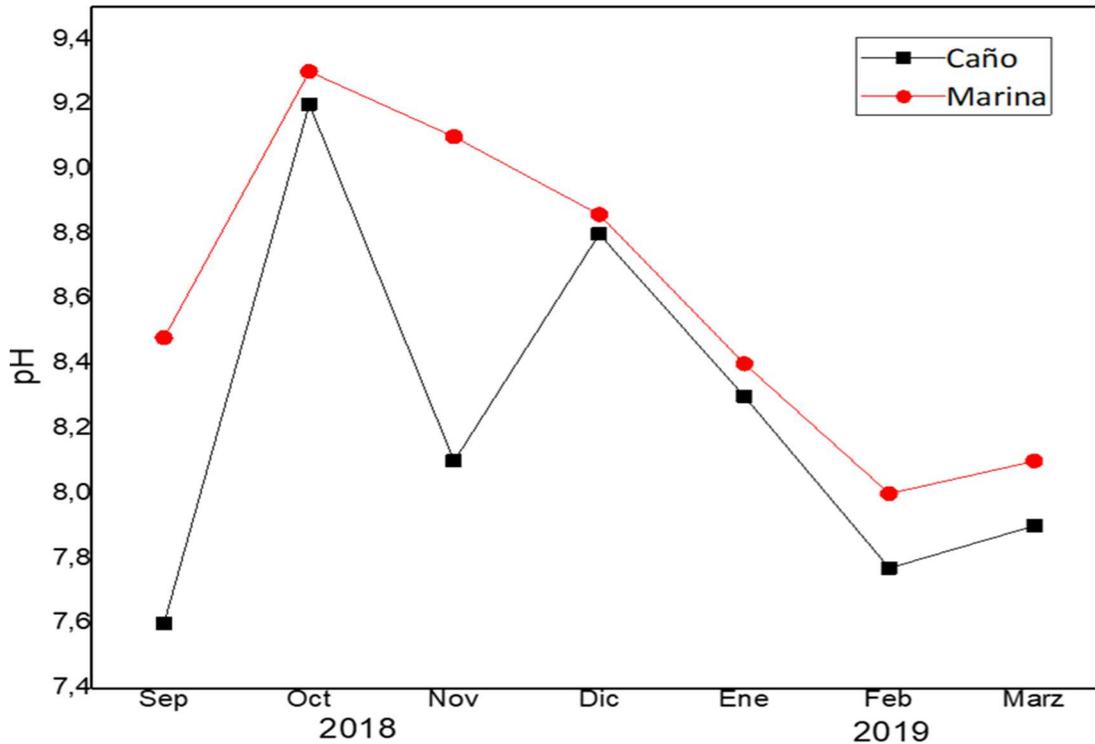


Figura 6. comportamiento del pH, en cada uno de los puntos muestreados.

4.1.4 Oxígeno disuelto (O.D)

El comportamiento que registró el O.D evidenció un pico para el mes de diciembre en el Caño, alcanzando un valor de $7,05 \text{ mg.L}^{-1}$ y una posterior disminución hasta el mes de febrero en el que se registró la concentración más baja con $0,67 \text{ mg.L}^{-1}$; para la Zona marina el mayor registro se obtuvo en el mes de diciembre, con una concentración de $5,79 \text{ mg.L}^{-1}$ mientras que el menor registro se presentó en el mes de octubre, con una concentración de $3,36$ (**Figura 7**).

Entre los sitios muestreados no se presentaron diferencias significativas ($p = 0,128$); tampoco se registraron diferencias entre las concentraciones determinadas en el Caño al comparar las épocas climáticas ($p = 1,000$), comportamiento que también se presentó en la Zona marina ($p = 0,400$).

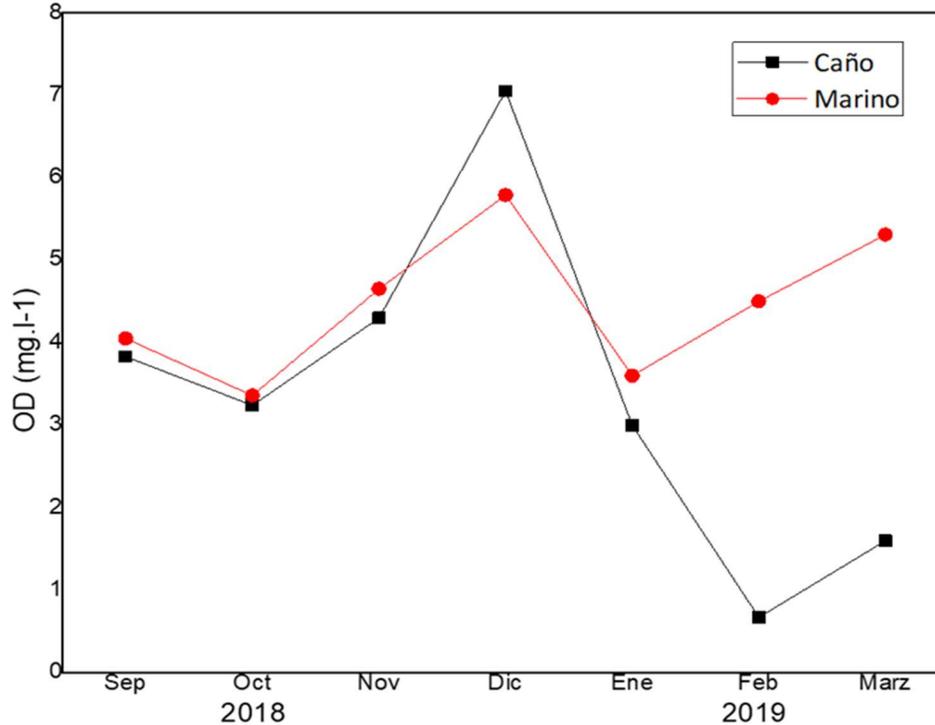


Figura 7. comportamiento del OD en cada uno de los puntos muestreados.

4.2 Clorofila *a*

La concentración de Clorofila *a* registrada en cada uno de los sitios de muestreo se puede observar en la **figura 8**, en la que se evidencia el comportamiento presentado por este parámetro a lo largo del estudio.

Para el Caño la concentración varió entre los 4,62 y 83,30 mg.L⁻¹ para los meses de noviembre y febrero respectivamente, en la Zona marina las concentraciones registraron una variación entre los 3,66 y los 4,71 mg.L⁻¹ correspondientes a los muestreos realizados en los meses de octubre y enero respectivamente. Los mayores registros se presentaron en el punto de muestreo ubicado en el Caño y se determinaron durante el periodo correspondiente a la época climática seca; para la época húmeda, en este punto, el mayor registro se obtuvo en el mes de octubre.

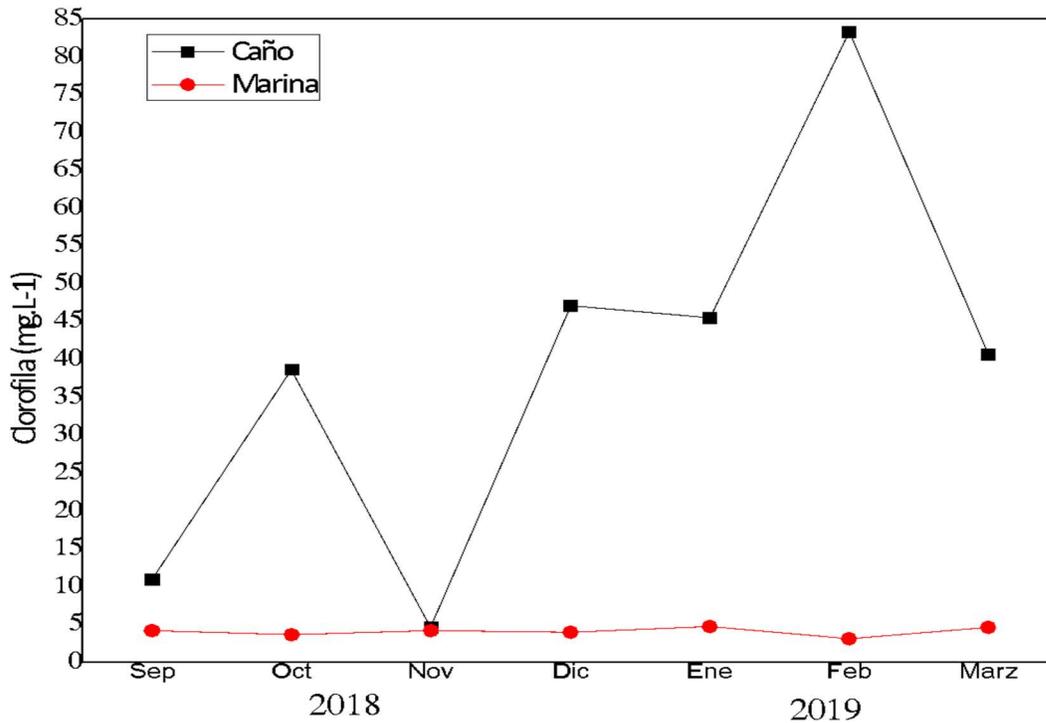


Figura 8. Comportamiento de la Clorofila α , en los sitios de muestreo.

La concentración de Clorofila α registró diferencias significativas al comparar el comportamiento entre los dos sitios de muestreo ($p = 0,004$); mientras que, al interior de cada uno de los sitios no se presentaron diferencias significativas a nivel de comportamiento en la concentración tras evaluarlos entre épocas climáticas, determinando así para el caño un $p = 0,057$, y para la Zona marina un $p = 0,229$.

4.3 Correlaciones

4.3.1 Clorofila α y parámetros fisicoquímicos

Los resultados obtenidos para el coeficiente de correlación de Spearman entre Clorofila α y los parámetros fisicoquímicos se relacionan en la **tabla 4**.

Tabla 4. Correlación de Spearman para la variable Clorofila α con parámetros fisicoquímicos en el Caño Uveros y la Zona marina.

Correlaciones Clorofila α - Parámetros fisicoquímicos (Caño Uveros)					
		Temperatura (°C)	Salinidad (PSU)	pH	OD (mg/L)
Clorofila α	Coeficiente de correlación	-0,45	-0,86	0,13	-0,25
	Sig. (bilateral)	0,31	0,01	0,79	0,59
	N	7	7	7	7
Correlaciones Clorofila α - Parámetros fisicoquímicos (Zona marina)					
		Temperatura (°C)	Salinidad (PSU)	pH	OD (mg/L)
Clorofila α	Coeficiente de correlación	0,50	0,50	-0,11	0,07
	Sig. (bilateral)	0,25	0,25	0,82	0,88
	N	7	7	7	7

El análisis realizado entre la concentración de Clorofila α y la salinidad, temperatura y OD en el Caño mostró como resultado una relación negativa alta, moderada y baja respectivamente, a su vez, la relación presentada con el pH fue positiva muy baja. En la Zona marina las correlaciones fueron positiva moderada para la temperatura y la salinidad, positiva muy baja para OD y para el pH la correlación obtenida fue negativa muy baja.

4.4 Nutrientes

En la **tabla 5** se relacionan los valores de concentración de nutrientes determinados en los puntos de muestreo para el caño Uveros y la Zona marina durante los muestreos realizados en los meses de septiembre 2018 (temporada húmeda), diciembre 2018 y marzo 2019 (temporada seca).

Tabla 5. Concentración de nutrientes en el caño Uveros y la Zona marina. Septiembre 2018 (temporada húmeda), diciembre 2018 y marzo 2019 (temporada seca).

NUTRIENTES					
Estación	Zona	N-AMONICAL	NITRITOS	NITRATOS	ORTOFOSFATOS
		mg(NH ₃).L-1	mg(NO ₂).L-1	mg(NO ₃).L-1	mg(PO ₄).L-1
Sep.	Caño Uveros	1,22	0,024	0,82	0,06
	Zona marina	37,80	0,001	0,04	0,06
Dic.	Caño Uveros	1,00	0,003	0,12	0,10
	Zona marina	21,70	0,0057	0,45	0,10
Marz.	Caño Uveros	1,00	0,003	1,11	0,10
	Zona marina	7,33	0,003	0,15	0,10

En la **figura 6** se puede observar el comportamiento presentado por los nutrientes (Nitratos, Nitritos, Nitrógeno amoniacal y Ortofosfatos) tanto en el caño como en la Zona marina de acuerdo con los resultados obtenidos para cada uno de los muestreos realizados.

La concentración de nitrógeno amoniacal (NH₃) (**figura 6-a**) presentó un comportamiento contrario al registrado por los demás compuestos, con concentraciones de 37,7; 21,7 y 7,33 mg.L⁻¹ para la Zona marina, mientras que para el caño el registro máximo fue de 1.22 mg.L⁻¹, los nitritos (NO₂), (**figura 6-b**), nitratos (NO₃), (**figura 6-c**) y ortofosfatos (PO₄) (**Figura 6-d**), presentaron variación a lo largo del estudio, las concentraciones registradas para estos compuestos en general presentaron valores muy inferiores con respecto al NH₃ con concentraciones inferiores a 1 mg.L⁻¹ en ambos sitios, excepto durante el muestreo realizado en el

mes de marzo, cuando los niveles de NO_3 en el Caño se incrementaron, alcanzando una concentración de $1,11 \text{ mg.L}^{-1}$.

4.3 Estado trófico

4.3.1 Índice de TRIX.

En la **tabla 6** se relacionan los resultados obtenidos para el Índice de TRIX en los dos puntos de muestreo.

Los valores obtenidos fueron similares en cada uno de los sitios de muestreo con registros en la escala de TRIX de 6,0 a 6,1 en el caño y de 5,3 a 5,8 en la zona marina, implicando para ambos sitios un deterioro en la calidad del agua, correspondiendo de acuerdo con la escala a una condición eutrófica para la Zona marina y el Caño (5- <6) y a condiciones hipertróficas en el Caño (6-10).

Tabla 6. Estado trófico del Caño Uveros y la Zona marina

	Mes	Caño uveros	Zona Marina
TRIX	Septiembre	6,1	5,8
	Diciembre	6,0	5,7
	Marzo	6,1	5,3

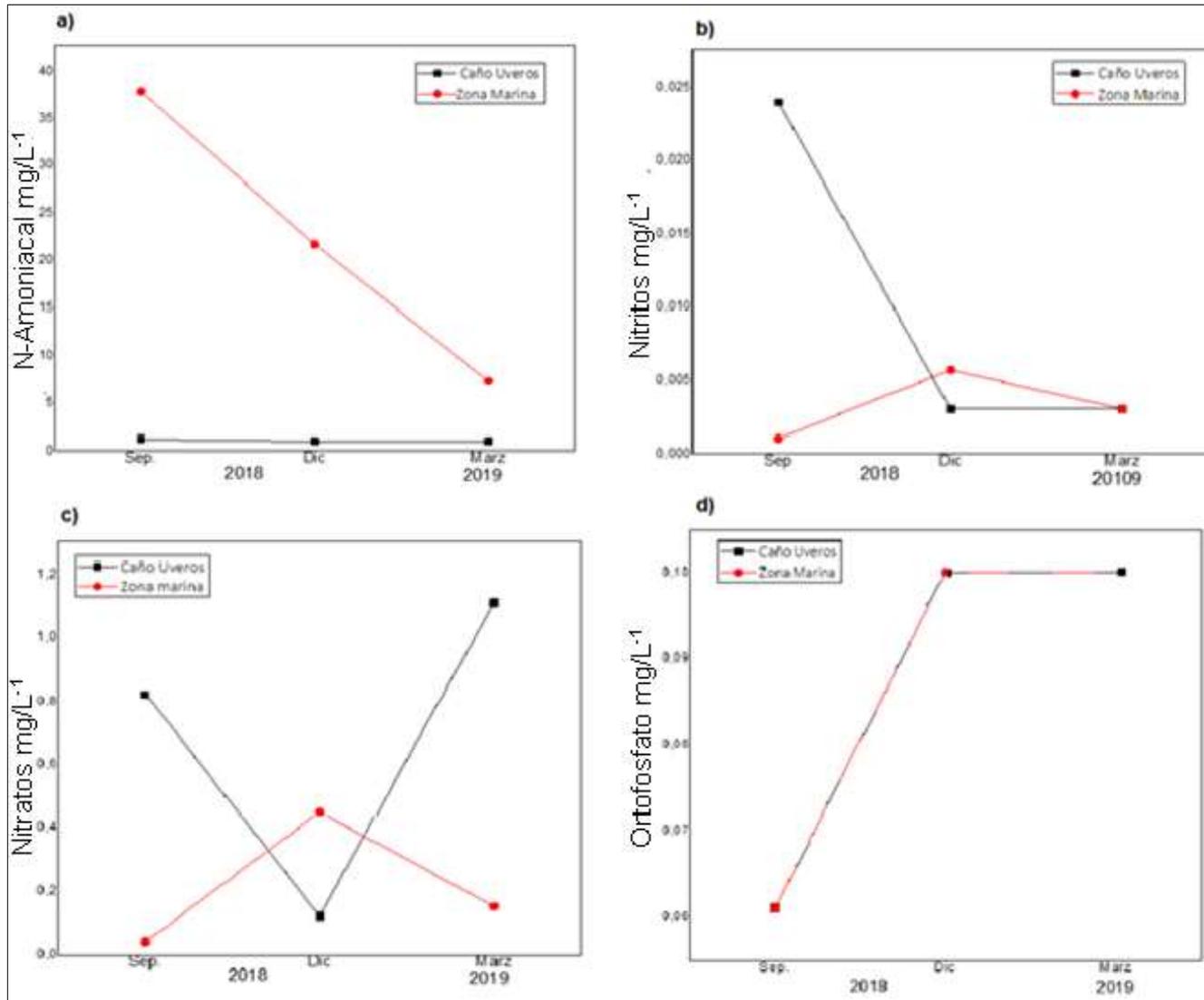


Figura 6. Concentración de nutrientes en el Caño y la Zona Marina en Uveros – San Juan de Urabá: a) N- amoniaca, b) Nitritos, c) Nitratos y d) Ortofosfatos.

5. Discusión

Es de gran significancia que un cuerpo de agua cuente con una buena calidad, pues la misma le permitirá brindar la protección y conservación a la vida soportada por estos ambientes (Casanova et al., 2015), en este sentido la calidad del agua se mide de acuerdo con distintos parámetros mediante los cuales se cuantifica el grado de alteración de las cualidades naturales y se la clasifica para un uso determinado (Castro et al., 2014).

Las variables que permiten evaluar la calidad del agua son diversas, a partir de ellas se pueden estimar índices que reflejan la condición del cuerpo agua, determinado por la naturaleza de este y por la incidencia de factores antrópicos. Es así como los parámetros evaluados en la zona de estudio permitieron establecer la condición de los cuerpos de agua a partir del Índice de TRIX, de este modo se pudo determinar a través del comportamiento de los mismos el deterioro en la calidad que presentan ambos sitios. Los parámetros evaluados en el presente estudio son la temperatura, salinidad, OD, Clorofila *a* y nutrientes.

A nivel de temperatura, la variación registrada estuvo entre los 27°C y 30°C para ambos sitios de muestreo, este parámetro presentó un descenso leve de la época húmeda hacia la época seca, esta disminución se relaciona el hecho de que este periodo se caracteriza por registrar una menor precipitación debido a la reducción en las lluvias y la acción e intensidad de los vientos durante la época seca (Mancera-Pineda, et al., 2013), que aunada al fuerte oleaje característico y propio del sector, generan una dinámica que influye en la disminución de la temperatura para la Zona marina (Zambrano et al., 2018), que a la vez estaría influenciada por procesos de surgencia, relacionados con la intensidad de los vientos (Sarmiento-Devia et al. 2013), situación que se acentúa durante los primeros meses del año.

De otra parte, los altos valores registrados por este parámetro, particularmente en el mes de septiembre y el posterior pico registrado en diciembre en la zona marina y diciembre en el Caño uveros, podrían obedecer a los altos índices de radiación



que inciden en cada uno de estos sectores, y que se acentúan en cuerpos de agua someros (Zambrano et al., 2018).

En relación con los procesos eutróficos, tal y como lo mencionan Vásquez Zapata et al., (2017), estos se manifiestan con mayor probabilidad cuando se presentan ciertas condiciones en los ecosistemas acuáticos localizados a nivel del mar o en los pisos basales, con temperaturas ambientales e hídricas superiores a 24°C, condiciones que se registran en la zona de estudio, en la que la temperatura de ambos cuerpos de agua varió entre 27,2°C y 30,9°C. Sin duda alguna, la ocurrencia de una serie de condiciones particulares determina la calidad del agua del Caño, que tiene una clara repercusión sobre la zona marina aledaña y que, por tanto, incide en su comportamiento en cuanto a calidad.

La temperatura es un parámetro que puede en un momento dado acelerar o disminuir la velocidad de las reacciones químicas, incluyendo los ciclos de degradación de MO que se presentan tanto en la columna de agua como en las zonas bentónicas de los ecosistemas acuáticos, incluyendo en estas últimas los sedimentos (Vásquez Zapata et al., 2017), guardando una importante relación con procesos de degradación en los cuerpos de agua bajo ciertas condiciones que se encuentran asociadas entre otras con la concentración de MO, el pH y la concentración de OD.

En cuanto a la salinidad, durante el mes de noviembre se registró un déficit en la precipitación, lo cual repercutió con un incremento en este parámetro durante para este periodo en ambas estaciones de muestreo, así mismo, noviembre registra mayor influencia del agua marina en la Zona costera debido que se acentúa el oleaje; situación derivada por el predominio de los vientos procedentes del noreste con dirección al sureste, dirigiendo los aportes fluviales hacia al sur en el golfo de Urabá (Thomas et al, 2007). Para el mes de diciembre la concentración de sales en los sitios muestreados mostró un descenso en el Caño, disminución que se relaciona con la interrupción en el flujo de agua marina hacia este cuerpo de agua por el cierre natural de la desembocadura, debido al bajo caudal que se registra a

lo largo del curso de agua debido a las condiciones generadas por la disminución de las lluvias.

El comportamiento registrado en el Caño fue contrario al que se presentó en la Zona marina, en la que los valores más bajos se obtuvieron en los meses de septiembre y marzo, comportamiento que se relaciona con el incremento de la pluviosidad, la cual genera un mayor aporte de aguas continentales a la Zona marina ubicada frente al punto de muestreo (Zambrano et al., 2018), y por ende, un descenso en la salinidad por procesos de mezcla.

Con respecto al pH, este parámetro en condiciones normales para el agua de mar presenta valores que se encuentran generalmente entre 7,5 y 8,4; para ambientes de agua dulce, estos valores se encuentran entre 6,5 y 8,5 (Valles, 2016). Los valores registrados estuvieron dentro de los considerados aptos, de acuerdo con lo establecido en la normativa para la preservación de la fauna y flora marina y estuarina en el Decreto 1076 de 2015 (MinAmbente, 2015), exceptuando los registros obtenidos en el mes de octubre, noviembre y diciembre para ambos sitios, los cuales estuvieron por encima 8,5.

Para la zona marina el incremento en los valores de pH en los meses de octubre, noviembre y diciembre puede estar relacionado con la influencia de las reacciones intermoleculares que coexisten dentro del ecosistema y que definen la concentración de sal y que, a la vez, fluctúan con el comportamiento de la temperatura (Gobernación de Antioquia [Gov.Ant], universidad de Antioquia [UdeA], Universidad nacional [UNAL], Universidad del Norte [UNINORTE], 2021). La disminución del pH para los meses de noviembre en el caño se asocia con incremento en la temperatura y la disolución de dióxido de carbono CO₂.

En relación con el OD, la normativa colombiana establece como referencia valores mayores o iguales a 4,0 mg.L⁻¹ como criterio de calidad para la preservación de la fauna y la flora marina (Decreto 1076 de 2015), siendo este parámetro un indicador de calidad y salud de los medios acuáticos (Antonopoulos & Gianniou, 2003). Dada la dependencia de este gas por parte de una gran variedad de organismos para su

supervivencia (Vega, 2019) las concentraciones de OD aportan información valiosa para interpretar la calidad de los cuerpos de agua.

Las concentraciones registradas en el mes de diciembre en ambos sitios alcanzaron para el OD los $7,05 \text{ mg.L}^{-1}$ en el caño y $5,79 \text{ mg.L}^{-1}$ en la Zona marina, concentraciones que se vieron influenciadas por la actividad de los vientos y corrientes procedentes del norte, las cuales inciden en la dinámica mareal y oleaje influyendo así en la oxigenación de la columna de agua (Gob. ANT, UdeA, UNAL, UNINORTE, 2021).

Los registros inferiores a $4,0 \text{ mg.L}^{-1}$ en el Caño durante la temporada seca se relacionan con una menor dilución de desechos derivados de la actividad antrópica por reducción de las lluvias, acentuada por la falta de intercambio de agua entre el mar y la zona marina que genera un estancamiento en las aguas del Caño y desbalance en el volumen de agua asociado con los procesos evaporación naturales, que a su vez generan pérdida de OD, la cual se incrementa el consumo de oxígeno por parte de los organismos aeróbicos que están asociados a la actividad microbiana, y que requieren de este gas para descomponer la MO en el medio (Gob. ANT, UdeA, UNAL, UNINORTE, 2021); muchas de estas condiciones propician los eventos de Floración algal “Bloom” que se vienen presentado con periodicidad anual en el caño desde el 2016 durante la temporada climática seca.

Con respecto a la Clorofila a , su comportamiento se encuentra influenciado por la dirección de las corrientes de los vientos, que desvían los aportes fluviales en época húmeda al interior de Golfo, enriqueciendo la columna de agua por parte de los diferentes afluentes que aportan MO y nutrientes desde la zona continental, además de servir como energía para la producción primaria (Atencio, 2019), que a su vez es favorecida por el movimiento de las masas de agua y condición de luz (Picado et al., 2013).

Las diferencias en cuanto a concentración de Clorofila a en el Caño con respecto a los obtenidos en la Zona marina, y especialmente los incrementos obtenidos durante

la época climática seca, no solo se relacionan con diversos parámetros ambientales que influyen en la concentración de esta (Soma et al., 2021), sino que las diferencias se acentúan por el incremento en la concentración de nutrientes procedentes de actividades antrópicas en la zona. Los incrementos en concentración de nutrientes no indican un mayor vertimiento de aguas residuales durante la época seca, en realidad reflejan el represamiento de este cuerpo de agua, lo que implica una menor dilución asociada a la reducción de la pluviosidad, generando así condiciones propicias el desarrollo de la comunidad fitoplanctónica, que a expensas de los nutrientes incrementa la biomasa y, por ende, se benefician los procesos fotosintéticos (Espinosa et al., 2001).

Los nutrientes que más influyen en el proceso de eutrofización son el fósforo y el nitrógeno; ambos se destacan por presentar una gran influencia en el desarrollo de los organismos, presentando mayores concentraciones durante la temporada climática seca en ambos puntos de muestreo, en el caso del nitrógeno, este se relaciona en mayor medida con el nitrato.

La disminución en la concentración de Clorofila *a* en la Zona marina durante el mes de febrero evidencia la disminución en el suministro de nutrientes a través del Caño, suministro que favorece la producción primaria (Campos, et al., 2011); dado que el incremento de nutrientes en el Caño se relaciona con eventos de proliferación algal, el "bloom" que se presentó durante el muestreo y que se viene registrando de manera reiterativa durante la época seca en el tramo final del Caño se encuentra relacionado con estas condiciones particulares en el cuerpo de agua que se registran anualmente durante este periodo climático. El aumento en concentración de Clorofila *a* en la Zona marina para el mes de marzo se relaciona con la apertura de un canal para que el Caño circulara hacia el mar y mejorara así las condiciones.

En el análisis de correlación, la Clorofila *a* en el Caño mostró una relación negativa alta (relación inversa) con la salinidad, sin embargo, la concentración no obedece a

una respuesta ante la disminución en la salinidad, la cual se da por el cierre de la comunicación con el mar, siendo esta situación la que propicia las condiciones ambientales que generan procesos de incremento de Clorofila *a*.

Además, los valores de clorofila *a* en el Caño se relacionan con la entrada de nutrientes por aguas de escorrentía y aguas servidas que llegan a este (Orejarena et al., 2004; Hooker, 1999), es así como este parámetro también presentó una relación positiva débil con el pH, la cual se presenta debido al crecimiento y producción de algas, que consumen dióxido de carbono (CO₂) y la reducción de este gas hace que el pH aumente (Gómez, 2009). De otra parte, la relación positiva que presentó con la temperatura y la salinidad en la zona marina estaría influenciada por factores como las corrientes y los vientos (Sechura et al., 2020).

De acuerdo con Camargo y Alonso (2007), como consecuencia de las actividades antrópicas, se han alterado de manera significativa el ciclo global del nitrógeno (y de otros elementos químicos), aumentando su disponibilidad en muchas regiones del planeta como consecuencia de fuentes puntuales y difusas de contaminación generalizada, ocasionando diversas problemáticas ambientales en ecosistemas acuáticos entre las que se encuentran la eutrofización de las aguas y proliferación de algas tóxicas. Esta situación se evidencia en la respuesta en el comportamiento de la concentración de Clorofila *a* en el Caño, asociada a los aportes continentales que ante ciertas condiciones climáticas pueden llegar a propiciar eventos de floraciones algales y procesos eutróficos, particularmente durante la temporada climática seca.

En algunos ecosistemas el factor limitante es el ion fosfato, como sucede en la mayoría de los sistemas lenticos continentales. En los ecosistemas marinos, el factor limitante es el nitrógeno para la mayoría de las especies de plantas (Camargo y Alonso, 2007). En este sentido, los nutrientes orgánicos N-amoniaco (NH₃) Nitritos (N-NO₂), nitratos (N-NO₃) y Ortofosfatos (P) presentaron cambios en concentración de acuerdo con la temporada climática en la zona de estudio, encontrado mayores de niveles de nitrógeno amoniaco en la temporada húmeda, con descensos para la

temporada seca en la parte marina, además de guardar relación con las concentraciones encontradas en estudios realizados en otros puntos monitoreados en la parte norte de las costas de Antioquia por la Gob. ANT, UdeA, UNAL, UNINORTE, (2021).

Los valores altos de nitrógeno amoniacal estarían obedeciendo a los aportes de aguas residuales al mar junto con la descomposición de materia orgánica y el intercambio gaseoso con la atmosfera; las precipitaciones y el aporte fluvial en la época húmeda, transportan de manera más eficiente la carga de aguas residuales que reciben; la disminución en la entrada de estas aguas disminuye conforme se cierra la conexión entre el Caño y el mar, tal disminución en el caudal del caño aporta aguas con menor dilución de compuestos y materia orgánica durante la época seca (Gob. ANT, UdeA, UNAL, UNINORTE, 2021).

Antes de perderse la conexión entre el Caño y la Zona marina, las aguas con alto contenido de nitrógeno amoniacal inciden de manera importante en la calidad del agua del medio marino tal y como lo reflejan las concentraciones determinadas, las cuales registraron descensos a lo largo del estudio, evidenciando para la época seca, el menor impacto sobre el ambiente marino, al presentar la menor concentración.

El nitrógeno amoniacal en el Caño registró valores bajos en comparación a la zona marina, lo cual se relacionaría con el transporte del compuesto hacia el mar, en el Caño, la acción de nitrificación en la época seca se evidencia con el aumento en la concentración de nitrato, siendo mayor al compararse con la zona marina, lo que obedece al represamiento de la carga de aguas residuales y negras debido al cierre natural en la zona de desembocadura. Los niveles presentados por los ortofosfatos se relacionan con la asimilación y producción primaria (Córdoba, 2020).

De otra parte, el fósforo es el elemento que, con mayor frecuencia, limita el desarrollo de la vegetación acuática, y en cantidades superiores a determinados umbrales puede causar eutrofización. La eutrofización puede comenzar a partir de contenidos de fósforo tan bajos como $0,02 \text{ mg/L}^{-1}$, por lo que el lixiviado de fosfatos

desde el suelo a los sistemas acuáticos supone, a menudo, serias consecuencias sobre los parámetros de los que depende la calidad medioambiental (Sande et al., 2005).

Los ortofosfatos corresponden a una especie de fosfatos muy soluble y es la fracción que absorben los autótrofos, estos registraron un incremento equivalente al 37 % durante la época climática seca tanto en el Caño como en la Zona marina ($0,1 \text{ mg/L}^{-1}$), con respecto a la concentración obtenida en época húmeda ($0,061 \text{ mg/L}^{-1}$). Si bien el incremento de estos compuestos incide en los procesos de eutrofización, los compuestos nitrogenados soportan la floración en el Caño Uveros, ya que, el N- amoniacal disminuye en concentración pese al cierre del Caño y se incrementa el Nitrato por procesos de nitrificación, siendo esta la especie aprovechada por los autótrofos como fuente de nitrógeno.

Índice de TRIX

Para la determinación del estado trófico de caño Uveros y la zona marina se llevaron los datos a las unidades requeridas y se aplicó el índice multivariado de estado trófico TRIX propuesto por (Vollenweider et al., 1998).

De acuerdo con la aplicación del índice de TRIX se determinó que el caño Uveros presenta un comportamiento hipertrófico durante los meses abordados durante el periodo de muestreo, la zona marina presentó un comportamiento eutrófico. El estado hipertrófico corresponde a una alta productividad, lo que indica que la calidad del agua es pobre, Alvarez-Cobelas & Jacobsen (1992) retoman el criterio de la (OECD 1982) y señalan que el valor promedio de la Clorofila en la hipertrofia debe ser mayor a 100 mg.L^{-1} y los valores que se registraron en los dos puntos monitoreados sobrepasan este valor.

Dado que el estado trófico de un ecosistema acuático está determinado por la concentración de nutrientes (Vásquez et al., 2012), los resultados obtenidos a partir del Índice de TRIX evidencian la problemática asociada con estos compuestos en

el Caño y la afectación que el mismo tiene sobre la zona marina a la que aporta sus aguas, la cual presenta una condición eutrófica evidenciada en concentraciones altas de nitratos con respecto a las registradas para la Zona marina particularmente en los meses de septiembre y marzo, siendo ese incremento durante el último mes en el que además se presenta mayor cantidad de ortofosfatos con respecto a septiembre, el que puede asociarse con las condiciones particulares que alteran la composición de la comunidad planctónica del Caño en términos de abundancia (Bloom).

El deterioro en la calidad del agua derivado de procesos eutróficos se desencadena a partir de la descomposición de organismos que previamente se incrementaron en número a partir de la disponibilidad de nutrientes; al iniciarse el proceso de descomposición de estos organismos que perecen y aunado al ingreso de MO que se registra en el Caño se presenta un incremento en la demanda de oxígeno que incide en la condición del cuerpo de agua, deterioro acentuado por el estancamiento que se presenta durante la temporada seca.

La disminución en la concentración de OD repercute de manera significativa en la calidad del agua, pues implica una degradación de este en una mayor o menor intensidad de acuerdo con las características de cada ambiente en particular. Bajo condiciones de gran demanda de oxígeno se inician procesos de descomposición anaeróbica que acentúan el deterioro de la calidad del cuerpo de agua, lo que puede llegar a percibirse organolépticamente.

Cuerpos de agua como los del Caño de Uveros y la Zona marina de influencia por este, representan un riesgo para la vida acuática, siendo crítico durante la época climática seca en el Caño, dado que las condiciones que presentan afectan el normal desarrollo de los organismos, alteran su distribución, al igual que el equilibrio del sistema.

Para la Zona marina, el Índice de TRIX evidencia mejores condiciones en el mes de marzo, cuando el Caño ya no incide de manera directa sobre la misma, lo que a la vez se evidencia con la notable disminución en la concentración de nitrógeno

amoniaco. Sin embargo, cabe aclarar que los pobladores de Uveros abren paso a las aguas del Caño para que circulen hacia la Zona marina y ello genera el incremento de los otros nutrientes durante el mes de marzo en este sector.

6. Conclusiones

Los aportes de aguas continentales y aguas residuales que llegan al Caño y son transportados hacia la Zona marina, inciden en el comportamiento de los nutrientes, Clorofila *a* y los diferentes parámetros en ambos sectores, generando efectos negativos en la calidad del agua de ambos sitios.

Las concentraciones de Clorofila *a* obtenidas presentaron diferencias significativas entre los sitios, siendo superiores en el Caño, debido a los aportes de material orgánico y nutrientes que ingresan a través de las aguas residuales sin tratamiento previo, siendo el Nitrógeno el nutriente que soporta el proceso de floración en este cuerpo de agua.

El comportamiento del nitrógeno amoniacal en la Zona marina refleja la influencia de los aportes del Caño sobre el sector, y como dicha influencia decrece con el cambio de condiciones climáticas de la temporada húmeda hacia la seca.

De acuerdo con el índice de TRIX, el Caño presentó condiciones hipertróficas asociadas a concentraciones elevadas de Clorofila *a*, y condiciones eutróficas en la Zona marina, ambas relacionadas con compuestos nitrogenados, indicando para estos sitios una mala calidad de agua.

7. Recomendaciones

Se recomienda implementar un programa de monitoreo al Caño, siguiendo las mediciones de parámetros evaluados en el presente estudio con el fin de dar continuidad a la generación de información relacionada con la condición y dinámica del cuerpo de agua, y sobre el proceso de florecimiento algal que se registra durante la época seca.

Se recomienda que el monitoreo se adelante con periodicidad mensual, particularmente en el periodo de transición y en la época seca para determinar cambios en el índice trófico y así, ampliar la información sobre la calidad del agua (condición trófica) del caño y la zona marina de Uveros.

Es importante adelantar investigaciones tendientes a identificar el organismo asociado al florecimiento algal.

8. Referencias

- Almanza, V., Parra, O., Bicudo, C. E. D. M., González, M. A., López, M., & Urrutia, R. (2016). *Floraciones de fitoplancton y variación de la estructura comunitaria fitoplanctónica en tres lagos someros eutróficos de Chile Central*. *Gayana - Botanica*, 73(2), 191–205. <https://doi.org/10.4067/S0717-66432016000200191>
- Alvarez-Cobelas, M., & Jacobsen, B. A. (1992). *Hypertrophic phytoplankton: an overview*. *Freshwater Forum*, 2, 184–199.
- Antonopoulos, V. Z., & Gianniou, S. K. (2003). *Simulation of water temperature and dissolved oxygen distribution in Lake Vegoritis, Greece*. *Ecological Modelling*, 160(1–2), 39–53. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00286-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00286-7)
- Atencio, J. (2019). *Estado trófico de la costa nororiental de Antioquia, Colombia. Cubriendo la época climática húmeda y seca*. 1–41.
- Blanco-Libreros, J. F., Marín, A., Torres, V., Rincón, A., Estrada, E. A., & Flórez, J. (2013). Deforestación y sedimentación en los manglares del Golfo de Urabá. *Gestión y Ambiente*, 16(2), 19–36.



- 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), 1-13
- Campos-González, M., Castellanos, J. R. V., Franco-Herrera, A., & Calderón, J. H. M. (2011). *Distribución de la clorofila a en las aguas adyacentes a las islas de providencia y santa catalina, caribe colombiano*. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 40(2), 347–360. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2011.40.2.115>
- Carlson, RE (1977). Un índice de estado trófico para lagos 1. *Limnología y oceanografía*, 22 (2), 361-369.
- Casanova Rosero, R. F., Suárez Vargas, N. P., y Zambrano Ortiz, M. M. (2015). Valoración de algunas variables fisicoquímicas indicadoras de la calidad del agua en las principales bahías de la costa Pacífica colombiana-2009. *Boletín Científico CIOH*, 33, 195–214. <https://doi.org/10.26640/22159045.286>
- Castro, M., Almada, J., Ferrer, J., y Díaz, D. (2014). Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global. *Ingeniería Solidaria*, 10 (17), 111-124. <http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.811>
- Chapa-Balcorta, Cecilia. (2010). *Eutrofización: Abundancia que mata*. Como ves. 22-25. recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/236649916>
- Contreras, F., Castañeda, O., Torres-Alvarado, R., & Gutiérrez, F. (1996). Nutrientes en 39 lagunas costeras mexicanas. *Revista de Biología Tropical*, 417-425.
- Córdoba, N. (2020). *Variabilidad espaciotemporal de las microalgas fitoplanctónicas con énfasis en las productoras de biotoxinas y su relación con las concentraciones de nutrientes en el Golfo de Urabá, Caribe colombiano*. <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/16464>
- Corona, J. (2013). *Contaminación Antropogénica en el lago de Maracaibo, Venezuela*. *Biocenosis*, 27 (1-2), 85-92.
- Das Sarkar, S., Kumar Sarkar, U., Naskar, M., Roy, K., Kumar Bose, A., Kumar Nag, S., Karnatak, G. y Kumar Das, B. (2021). *Efecto de los parámetros climáticos ambientales sobre la concentración de clorofila en la cuenca baja del Ganges, India*. *Revista de Biología Tropical*, 69 (1), 60+. <https://link.gale.com/apps/doc/A651906905/IFME?u=anon~84b20152&sid=googleScholar&xid=8f882e88>
- Davis, T. W., Berry, D. L., Boyer, G. L., & Gobler, C. J. (2009). *The effects of temperature and nutrients on the growth and dynamics of toxic and non-toxic*



strains of Microcystis during cyanobacteria blooms. Harmful Algae, 8(5), 715–725. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2009.02.004>

MinAmbiente. (2015). Decreto 1076 del 26 de mayo de 2015. Por el cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Espinoza, L. y Betancourt J, 2011. Residuos de plaguicidas en las zonas marino-costeras de Colombia. En: Augura. Experiencias en BPA y protección del medio ambiente. AUGURA: GEF-REPCar, Medellín.

Espinosa Carreon, T. L., Gaxiola Castro, G., Robles Pacheco, J. M., y Najera Martinez, S. (2001). *Temperatura, salinidad, nutrientes y clorofila a en aguas costeras de la ensenada del sur de California. Temperature, salinity, nutrients and chlorophyll a in coastal waters of the Southern California Bight. Ciencias Marinas, 27(3), 397–422.*

García-Valencia, C. (Ed). (2007). Atlas del golfo de Urabá: una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras –Invemar– y Gobernación de Antioquia. Serie de Publicaciones Especiales de Invemar N° 12. Santa Marta, Colombia. 180p.

GESAMP, Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine pollution .(1988). *Report of the Eighteenth Session, Paris 11-15 April 1988.* GESAMP Reports and Studies No. 33, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris.

Gobernación de Antioquia, Universidad de Antioquia, Universidad Nacional y Universidad del Norte (2021). *Erosión Costera en el Litoral Antioqueño. Compilación de resultados.* (Formatos impreso y digital). © Medellín / Antioquia / Colombia. Litografía Grafiservicios S.A.S

Gómez, L. (2009), *Indicadores de calidad de agua*, Guayaquil, Escuela Superior Politécnica del Litoral.

González, R. (2017). *Implementación de las normas DRIS en el cultivo del plátano (musa aab simmonds) en las regiones de Urabá y suroeste Antioqueño* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

Hinestroza, Y. M., Martínez, Z. Q., y Porras, L. V. (2017). *Evaluación de la calidad fisicoquímica del agua de la bahía de Turbo teniendo en cuenta dos temporalidades.* *Revista Bioetnia, 14(1), 65-79.*

Hooker, E. (septiembre de 1999). *Efecto de las aguas residuales domésticas e industriales sobre la comunidad planctónica del Lago Cocibolca.* In: IX



- INVEMAR, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andrés. (2003). Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros isicoquímicos y contaminantes marinos: aguas, sedimentos y organismos. INVEMAR, Serie de documentos generales No. 13, Santa Marta. 177 p
- Max Martínez-Campo y Ostin Garcés-Ordóñez. (2019). Título. Intervalo de páginas. En: INVEMAR. 2019. Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Luisa F. Espinosa y Ostin Garcés (Ed). 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 2018. Serie de Publicaciones Periódicas No. 4 del INVEMAR, Santa Marta. 212 p
- Justić, D. (1991). A simple oxygen index for trophic state description. *Marine Pollution Bulletin*, 22(4), 201–204. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(91\)90471-4](https://doi.org/10.1016/0025-326X(91)90471-4)
- Jacoby, J. M., Collier, D. C., Welch, E. B., Hardy, F. J., & Crayton, M. (2000). *Environmental factors associated with a toxic bloom of Microcystis aeruginosa*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 57(1), 231–240. <https://doi.org/10.1139/f99-23>
- Karydis, M. y Tsirtsis, G. (1996). Índices ecológicos: un enfoque biométrico para evaluar los niveles de eutrofización en el medio marino. *Ciencia del Medio Ambiente Total*, 186 (3), 209-219.
- Ledesma, C., Bonansea, M., Rodríguez, C. y Sánchez, A. (2013). *Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina)*. Revista Ciência Agronômica, 44(3), pp. 419-425
- Martínez Rebollar, A., & Campos Francisco, W. (2015). *The correlation among social interaction activities registered through new technologies and elderly's social isolation level*. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 36(3), 181–191. <https://doi.org/10.17488/RMIB.36.3.4>



- Mancera-Pineda, José Ernesto, Gerfried Pinto, y Sandra Vildary. 2013. "Patrones de Distribución Estacional de Masas de Agua En La Bahía de Santa Marta, Caribe Colombiano: Importancia Relativa Del Upwelling y Outwelling." *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 42(2):329–60.
- Martínez, L., Portillo, L y Flórez, L. (2017). *Bloom rosado: Uveros (Urabá Antioqueño)*. En *memorias SENALMAR. SEMINARIO NACIONAL DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS DEL MAR XVII*, Medellín, Colombia
- Martini, L., Mattos, D., Barbosa, D. & Rech, A., 2006. *Uso de sensoriamento remoto orbital para avaliação da distribuição espacial de Clorofila_a na Lagoa da Conceição - Florianópolis, SC*. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 11(4), pp. 318-324.
- Montoya, Y. (2008). *Variaciones nictemerales de algunas variables climáticas, físicas y químicas en una laguna somera en Guatapé (Antioquia)*, Colombia. *Actual. Biol.*, 30 (88): 83-96
- Municipio San Juan de Urabá- Antioquia. (2016-2019). *Plan de desarrollo 2016-2019*. San Juan de Urabá.
- Odum EP. 1987. *Ecología*. México, D. F.: Editorial Interamericana. p. 639.
- Orejarena, J. A., Domínguez, J. G., & Andrade, C. A. (2004). *Variaciones de la concentración de la clorofila*. 22, 56–63.
- Orozco, U., López, A., Velásquez, A., Calderón, J., Usuga, J y Mariño, J. (2017). *Potencialidad turística de San Juan de Urabá y viabilidad para su Certificación de Sus Playas*. *Gestión y finanzas*, 1 (1), p 14.
- Ortiz Lozano, L. D., Arceo Briseño, P., Granados Barba, A., Salas Monreal, D., & Jiménez Badillo, M. D. L. (2010). *Zona costera*.
- Paerl, H. W. (1988). *Nuisance phytoplankton blooms in coastal, estuarine, and inland waters*. *Limnology and Oceanography*, 33(4part2), 823–843. <https://doi.org/10.4319/lo.1988.33.4part2.0823>
- Pérez, S., Calderón, M., Reyes, M., Bonell, C., Vargas, S., Camacho, A y Calle, R. (2014). Identificación y análisis del contexto socioecológico regional del Urabá Antioqueño. Camacho, A., y Pérez, S. *Elementos para la construcción de la Visión Urabá, biodiversidad y servicios ecosistémicos como base para el desarrollo, la sostenibilidad y el bienestar*. Informe final de consultoría CPS 164_303PS. Instituto para el Desarrollo de Antioquia, Idea e Instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C. Colombia. p 98.



- Picado, A., Alvarez, I., Vaz, N., & Dias, J. M. (2013). *Chlorophyll concentration along the northwestern coast of the Iberian Peninsula vs. atmosphere-ocean-land conditions*. *Journal of Coastal Research*, 165(65), 2047–2052. <https://doi.org/10.2112/si65-346.1>
- Rathore, S., Chandravanshi, P., Chandravansh, A & Jaiswal, K. (2016). *Eutrophication: Impacts of Excess Nutrien*. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 9 (10), 89-96.
- Robarts, R. D., & Zohary, T. (1987). *Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration, and growth rates of bloom-forming cyanobacteria*. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 21(3), 391–399. <https://doi.org/10.1080/00288330.1987.9516235>
- Richards, F. A., & Thompson, T. G. (1952). *The estimation and characterization of plankton populations by pigment analyses*. *J. mar. Res*, 11(2), 156.
- Ruiz-Vanoye, J y Díaz-Parra, O. (2015). *Cúmulos de zonas muertas en el mar*. *Ciencia*, pp. 73-76.
- Strickland, J.D.H. y T.R. Parsons. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. *Fish. Res. Board of Canada*. Segunda Edición. Ottawa.
- Ruiz, N. E. S., Escobar, Y. C., & Escobar, J. C. (2007). *Revisión de parámetros físicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua*. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181.
- Sande, P., Miras-Avalos, J.M., Vidal, E., & Paz-González, A. (2005). *FORMAS DE FÓSFORO Y SU RELACIÓN CON LA EROSIÓN EN AGUAS SUPERFICIALES BAJO CLIMA ATLÁNTICO*. En: Samper Calvete, J., & Paz González, A. (Ed). (2005). *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Volumen VII Publisher: Universidad de A Coruña*. 371 pp.
- Sarmiento-Devia, Ricardo A., Águeda Vásquez López-Escobar, Miguel Bruno Mejías, Paola M. Dávila, and Andrés Franco-Herrera. 2013. *“Intra-Annual Variation of Climate Regime on Upwelling Zones in the Southeast Caribbean Sea.”* *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 48(3):471–85.
- Sechura, D., Ramírez, G., Rojas, J., & Carbonell, C. (2020). *La concentración de la clorofila-a y su relación con la temperatura superficial del mar, The concentration of chlorophyll-a and its relationship with the sea surface temperature, through satellite images and in-situ data, in the bays of Sechura and Paita*. 23(3).



SIGUEE, D.C. 2005. *Freshwater Microbiology: Biodiversity and dynamic interactions of microorganisms in the aquatic environment*. Wiley & Sons Ltd. Manchester. 525. pp.

Thomas, Y., García Valencia, C., Cesaraccio, M y Rojas Giraldo, X. 2007. *El paisaje en el golfo*. Pp. 96-113 en García-Valencia, C. (Ed). 2007. *Atlas del golfo de Urabá: una mirada al Caribe Antioquia y Chocó*. Instituto de Investigaciones Marinas y Costera–Invemar– y Gobernación de Antioquia. Santa Marta, Colombia. Serie de Publicaciones Especiales de Invemar No 12

Universidad de Antioquia y Gobernación de Antioquia. (2012). *Diagnóstico técnico-municipio de San Juan de Urabá (Antioquia)*. Recuperado de: <http://190.109.167.188:83/imagenes/SIAD/INF SP AGUA POTAB DOC DI AGNOSTICO SAN JUAN DE URABA.PDF>

Valles, L. A. (2016). *Folleto Informativo pH ¿Qué es el pH? 3–7*. https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3140sp.pdf

Vásquez, G., Herrera, L., Cantera, J., Galvis, A., Cardona, D., Hurtado, I. (2012). Metodología para determinar niveles de eutrofización en ecosistemas acuáticos. *Rev. Asoc. Col. Cienc.(Col.)*, 24, 112–128

Vega, N. (2019). *CLASIFICACIÓN Y CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO DE ZIRAHUÉN, MICHOACÁN, A PARTIR DE MEDICIONES DE OXÍGENO DISUELTOS, CLOROFILA-A Y PH*. UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA, 62. <https://riudg.udg.mx/bitstream/20.500.12104/83774/1/MCUCEI10367.pdf>

Vivas-Aguas, L. J. (2011). Formulación del índice de calidad de aguas costeras (ICAM) para los países del Pacífico Sudeste. Documento Metodológico. Proyecto Red de información y datos del Pacífico Sur para el apoyo a la Gestión Integrada del Área Costera-SPINCAM. INVEMAR. Santa Marta.

Vollenweider, RA (1992). Eutrofización marina costera: principios y control. En *Eutrofización costera marina* (págs. 1-20). Elsevier.

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(3), 329–357. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1099-095x\(199805/06\)9:3<329:aid-env308>3.3.co;2-0](https://doi.org/10.1002/(sici)1099-095x(199805/06)9:3<329:aid-env308>3.3.co;2-0)



- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). 2017. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París, UNESCO.
- WWDR. (2018). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019*. Organización de Las Naciones Unidas Para La Educación, La Ciencia y La Cultura, 215 <http://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2019/>
- Withers, P. J. A., Neal, C., Jarvie, H. P., & Doody, D. G. (2014). *Agriculture and eutrophication: Where do we go from here? In Sustainability (Switzerland)* (Vol. 6, Issue 9, pp. 5853–5875). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su6095853>
- Xu, Y., Wang, G., Yang, W., & Li, R. (2010). *Dynamics of the water bloom-forming Microcystis and its relationship with physicochemical factors in Lake Xuanwu (China)*. Environmental Science and Pollution Research, 17(9), 1581–1590. <https://doi.org/10.1007/s11356-010-0345-8>
- Zambrano, M. Leal Flórez, J. Castellón, E. Villalba, N. Álvarez, M. Calderón, Y. Atencio J., (2018), *Investigación para reversión del proceso de erosión en las costas del mar de Antioquia – componente ambiental, sector Uveros municipio de San Juan de Urabá, Antioquia*.
- Vásquez Zapata, G.L., Herrera Orozco, L., Cantera Kintz, J.R., Galvis Castaño, A., Cardona Zea, D.A., & I.C. Hurtado Sánchez. (2012). *Metodología para determinar niveles de eutrofización en ecosistemas acuáticos*. Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas, 24, 112-128.
- Viaroli, P., & Christian, R. R. (2003). Description of trophic status of an eutrophic coastal lagoon through potential oxygen production and consumption: dening hyperautotrophy and dystrophy. *Ecological Indicators*, 3, 237250.